

Zeitschrift: Botanica Helvetica
Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft
Band: 104 (1994)
Heft: 1

Artikel: Rekonstruktion von Bestandesfluktuationen, Bodenmächtigkeit und Feuergeschichte über 7000 Jahre BP mittels Holzkohle-Analysen
Autor: Berli, S. / Cherubini, P. / Schoch, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71613>

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: 21.01.2026

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

Rekonstruktion von Bestandesfluktuationen, Bodenmächtigkeit und Feuergeschichte über 7000 Jahre BP mittels Holzkohle-Analysen

S. Berli¹, P. Cherubini² und W. Schoch³

¹ Botanisches Institut der Universität Basel, Schönbeinstrasse 6, CH-4056 Basel, Schweiz

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf, Schweiz

² Eidg. Technische Hochschule (ETH), Zürich, Schweiz

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf, Schweiz

³ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf, Schweiz

Manuskript angenommen am 8. März 1994

Abstract

Berli S., Cherubini P. and Schoch W. 1994. Reconstruction of stand fluctuations, soil development and fire history over 7000 years BP by means of charcoal analysis. Bot. Helv. 104: 14–30.

Charcoal fragments were found in a podsollic soil profile in a slope above Intragna, canton of Ticino, Switzerland. Through species and genus analysis as well as ¹⁴C dating it was found that soil development amounted to ± 100 cm in about 7000 years. The appearance of chestnut-trees (*Castanea sativa*) since the Roman epoch as revealed by pollen analysis corresponds to the charcoal of this species present in the upper layer down to a depth of 20 cm. This diagnosis suggests that the soil must have developed around 20 cm during approximately the last 2000 years. The coniferous part of the stand (*Abies alba*, *Pinus* sp.) which was continuously present until 7000 BP disappeared before approximately 2000 BP.

The mean fire interval (MFI) amounts to 1800 years disregarding of the last two fires in 1945 and 1987. It is possible that some fire events were overlooked. The human influence of the fire frequency is not apparent on this particular site, though regional traces of human activity have already been detected.

Key words: Charcoal, woodland, fire history, soil development, vegetation patterns, Ticino, Switzerland.

Einleitung

Holzkohleanalysen spielen interdisziplinär eine zentrale Rolle in der Erforschung von Phänomenen, die weltweit in irgend einer Weise mit Feuer in Beziehung stehen. Die Differenzierung verschiedener Arten und Gattungen ermöglicht es, Bestandesfluktuationen vergangener Zeiträume darzulegen. Seit der Möglichkeit von ¹⁴C-Datierungen

sind Holzkohle-Untersuchungen um eine meßbare, zeitliche Dimension erweitert worden. Neumann (1992) vermutet, daß der jagende *Australopithecus* in Äthiopien, Afrika, schon vor 1,8 Mio. Jahren begonnen hatte, die Umwelt durch gezielten Feuereinsatz umzugestalten. Dieser Befund konnte durch feuerinduzierte Verletzungsspuren (traumatic rings) in fossilem Holz belegt werden, wie sie auch an rezenten Baumarten im Gebiet nachweisbar sind (Deschamps 1984).

Durch Altersbestimmungen läßt sich die Waldverteilung in rezent nicht mehr bestockten Flächen definierbarer Zeitabschnitte zurückverfolgen, wie dies Bryson et al. (1965) im südlichen Kanada aufgezeigt hatten. Gabriel und Tande (1983) dokumentierten in Alaska, daß die Zeitachse durch die vornehmlich in den USA und Kanada entwickelten dendrochronologischen Methoden zur Bestimmung von Feuerintervallen und zur Ermittlung der Feuergeschichte durch Holzkohleanalysen in Seeablagerungen und Trockensedimenten zeitlich um Jahrtausende erweitert werden kann.

Im Mittel- und Südeuropäischen Raum wurden pollenanalytische Datierungen mit ^{14}C -Daten von Holzkohlen verglichen und gegebenenfalls korrigiert (Oeschger und Taute 1978); so ließ sich die Vegetations- und Klimageschichte vergangener Epochen rekonstruieren (Zoller 1968, van Zeist und Bakker 1982, Schneider und Tobolski 1985). In Ergänzung zur Pollenanalyse konnten dank Holzkohleanalysen sowohl die postglaziale Wiederbewaldung, als auch die Waldnutzungsgeschichte nachvollzogen werden (Castelletti 1988).

Pollen- und holzkohleanalytische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze in den Alpen belegen, daß ca. 5000 BP, gleichzeitig mit dem Einsetzen der Weidewirtschaft, auch vermehrt Holzkohlen eingelagert wurden. Dieser Befund läßt vermuten, daß der neolithische Mensch Feuer gezielt zur Weidegewinnung eingesetzt hatte (Vorren et al. 1993). Studien in England lassen vermuten, daß die Brandrodung (ev. Wiesendüngung) bereits bei den Menschen des Mesolithikums bekannt waren (Caseldine and Hatton 1992, Moore and Webb 1992). Auch in der Leventina konnte Hantke (1983) durch Datieren von Material aus Brandhorizonten und durch pollenanalytische Belege von gleichzeitig aufgetretenen Schlag- und Nutzpflanzen nachweisen, daß der Mensch bereits im ausgehenden Boreal (± 8000 BP) Brände aktiv entzündet hatte.

Die vorliegende Studie entstand im Rahmen von bodenkundlichen Untersuchungen gebrannter Flächen im Kanton Tessin. In einem Bodenprofil fanden sich gut erhaltene Holzkohlen. Die verkohlten Holzreste traten in mehreren Bodenhorizonten unterschiedlicher Tiefe in kleinräumigen Konzentrationen und in Bändern auf. Da im geneigten Gelände in der weiteren Umgebung überall verstreut Kohlenfragmente anzutreffen waren, konnte die Möglichkeit einer lokalen Feuerstelle ausgeschlossen werden. Somit richtete sich unser Interesse auf folgende Fragestellungen: Um welche Gehölzarten und Taxa handelt es sich, wie alt sind die Proben? Sind Aussagen über Änderungen des Artengefüges und der Pflanzengesellschaft im Bestand dieses Standorts möglich, wie dies bei pollenanalytischen Untersuchungen schon mehrfach aufgezeigt wurde (Zoller 1960, Zoller und Kleiber 1971, Schneider 1978, Schneider und Tobolski 1985)? Inwieweit beeinflussten menschliche Aktivitäten das Feuerregime und die Artenzusammensetzung des Bestands in den letzten 7000 Jahren und wie interagieren diese mit klimatischen Änderungen? In welchen Zeiträumen bildeten sich die unterschiedlich mächtigen Bodenhorizonte aus; lassen sich Rückschlüsse auf die Bodenbildung ziehen?

Diese Untersuchung zeigt durch die Analyse und Interpretation eines Bodenprofils erste Ansätze auf, wie Vegetationsgeschichte, Bodenentwicklung und Feuerregime rekonstruiert werden können. Einerseits besteht die Möglichkeit, pollenanalytische und ^{14}C -Datierungen mit Holzkohleanalysen zu synchronisieren und gegenseitig zu kalibrie-

ren, andererseits erweitert sich das Untersuchungsgebiet beträchtlich, indem auch Trockenstandorte außerhalb von Mooren und Seeablagerungen selbst in Hanglagen in vergleichende Studien miteinbezogen werden können. Schließlich besteht die Möglichkeit, unter Einbezug auch anderer Forschungszweige (Etnobotanik, Archaeologie, Ur- und Frühgeschichte) interdisziplinär umfassendere Resultate zu erarbeiten, als dies durch z.T. auch hypothetische Befunde anhand der Daten eines einzelnen Profils möglich ist.

Material und Methoden

Der Standort befindet sich oberhalb Intragna, Tessin, Schweiz in einem N-NW-exponierten Hang auf 530 m ü.M. mit einer trigonometrisch ermittelten Neigung von 24° in einer ehemaligen Kastanienselve, die seit einem Brand im August 1945 brach liegt. In der Zwischenzeit hat sich ein weitgehend ungestörter Initialwald mit vornehmlich Hängebirke (*Betula pendula*), Zitterpappel (*Populus tremula*) und Mehlbeere (*Sorbus aria*) entwickelt, der mit einigen wenigen Edelkastanien (*Castanea sativa*) durchsetzt ist. Im Januar 1987 ereignete sich ein weiterer Brand. Die pflanzensoziologische Charakterisierung erfolgte auf Grund der Steten-Kombination der Arten in der Krautschicht (Ellenberg und Klötzli 1972). Die verwendeten Zeigerwerte richten sich nach der fünfstelligen Skala von Landolt (1977).

Das Bodenprofil wurde auf eine Tiefe von 145 cm ausgehoben (s. Abb. 1).

Zur Bestimmung des Bodentyps erfolgte a) die morphologische Beschreibung des Profils und b) wurden Proben (je ca. 1 kg) aus allen Horizonten sowie alle 10 cm entnommen, in Plastiksäcke luftdicht verpackt und bei 3°C bis zur Weiterbearbeitung im Kühlraum gelagert. Nach der Ofentrocknung (60°C, 48 h) wurden die Proben gesiebt (Maschenweite 2 mm) und pH, Kationen-Austausch-Kapazität und C/N-Verhältnis bestimmt (Richard et al. 1978). Beim Sieben fanden sich Holzkohlepartikel. Deshalb wurde das Profil in einer erneuten Feldbegehung nach weiteren Kohlenfragmenten abgesucht.

Die Holzkohleentnahme erfolgte durch Aussortieren in den Horizonten von unten nach oben. Die Holzkohlepartikel mit Volumina von 1 mm³ bis 0,5 cm³ wurden in Plastiksäckchen luftdicht verpackt. Dabei galt es zu beachten, daß keine weitere mechanische Beanspruchung die Holzkohlen zusätzlich fragmentierte. Da es während und vor der Probennahme lang und ausgiebig geregnet hatte, war das Profil durchgehend wassergetränkt, weshalb die Proben von einem adhäsiven, aus Bodenpartikeln bestehenden Mantel umgeben waren. Bei der anschließenden Trocknung unter Raumbedingungen (NTP, 5 Tage) blieb diese schützende Schicht erhalten und wurde erst im getrockneten Zustand unmittelbar vor der Bestimmung mit einem Pinsel entfernt. So konnte überprüft werden, daß die Kohlepartikeln während des Transports und der Trocknung nicht weiter aufgeteilt worden waren. Die in Tab. 1 angegebenen Stückzahlen entsprechen daher den effektiv aufgefundenen Proben im Profil.

Die Holzkohlen-Taxa-Bestimmung erfolgte nach vorhergehender Spaltung unter der Binokularlupe mit Hilfe eines Auflichtmikroskops (Leica Metallux 3). Die anatomischen Differenzierungsmerkmale von Quer-, Radial- und Tangentialbruchfläche wurden nach der gebräuchlichen Methode (Schoch 1985, Schweingruber 1990) verglichen und den Arten resp., wo dies nicht eindeutig möglich war, den Gattungen zugeordnet.

Die meisten Holzkohlen waren in gutem Zustand und optimal verkohlt. Dadurch ist die Bestimmung in der Regel problemlos möglich. In einigen Fällen sind allerdings nur noch die dichten, harten Spätholzanteile erhalten geblieben (*Quercus* sp.) oder Reaktionsholz (Druckholz) bei Nadelhölzern, das meist durch im Stammholz eingewachsene Äste hervorgerufen wird. In solchen Fällen können diagnostisch wichtige Merkmale nicht mehr einwandfrei interpretiert werden. So ist z. B. eine Unterscheidung zwischen Föhre (*Pinus* sp.) und Weißtanne (*Abies alba*) nicht möglich, wenn keine Harzkanäle mehr erkennbar sind. Auch das Auseinanderhalten verschiedener Leguminosen ist oft recht schwierig. Im vorliegenden Material deutet die Größe der Frühholzzellen (deutlich ringporig) auf *Labrunum* sp. hin; es kann jedoch bei einigen Proben nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, daß sie nicht von *Cystisus scoparius* stammen, da die Kohlenfragmente zu klein sind.



Abb. 1. Bodenprofil. Aufgrund von Charakterisierungsmerkmalen und chemischen Analysen als Kryptopodsol zu bezeichnen (Blaser 1973). Die Markierungen auf dem Doppelmeter betragen jeweils 10 cm. Weitere Angaben im Text.

Ob die Holzkohlen in Stamm, Borke, Zweigen oder Wurzeln lokalisiert waren, lässt sich in genügend großen Fragmenten auf Grund anatomischer Differenzierungsmerkmale in den verschiedenen Pflanzenorganen nachweisen. Stamm- und Astholz ist holzanatomisch in den wenigsten Fällen mit absoluter Sicherheit unterscheidbar: Der Krümmungsradius von Jahrringen kann Hinweise liefern, da dieser in den meist dünneren Ästen größer ist als in dickeren Stämmen. In kernnahen Stammregionen und bei jungen Bäumen jedoch versagt dieses Vorgehen. Wo in Tab. 1 nicht anders vermerkt, kann es sich sowohl um Stamm- wie auch um Astholz handeln (s. Diskussion).

Die Altersbestimmung der Holzkohlen erfolgte mit Hilfe der ^{14}C -Atommassenspektrometrie (AMS) Datierungsmethode. Die kalibrierten (dendrokorrigierten) Alter bewegen sich innerhalb des

95%-Vertrauensintervalls und wurden mit dem Programm CalibETH berechnet (Niklaus et al. 1992). Aus Kostengründen wurden nur Proben aus vier unteren Schichten (0,6 m–1,0 m) datiert. Die Proben der oberen Schichten ließen sich mit pollenanalytischen Untersuchungen synchronisieren (Zoller 1960, Schneider und Tobolski 1985).

Resultate

Bestandesfluktuationen der Gehölzarten während der letzten 7000 Jahre BP auf Grund der Lokalisierung von Holzkohlen im Bodenprofil.

(Die folgenden Resultate beziehen sich auf Tab. 1 und Abb. 2, 3.)

Ausgehend von dem auf einem *Kryptopodsol* (Blaser 1973) stockenden, rezenten Bestand, pflanzensoziologisch der Assoziation des *Phyteumo betonicifoliae*-*Quercetum castanosum* s.l. zugeordnet (Ellenberg und Klötzli 1972), wird die Änderung des Artenmosaiks von den hauptsächlich vorkommenden Gehölzarten und -gattungen über die Zeit bis ca. 7000 BP aufgezeigt. Die Daten werden mit Pollenanalysen verglichen, die Zoller (1960) und Schneider und Tobolski (1985) an verschiedenen Standorten des Tessins und des angrenzenden Italiens, u. a. in der benachbarten Region Losone-Arcegnò erstellt hatten.

Der heutige *Initialwald* mit vorwiegend Hängebirke (*Betula pendula*), Zitterpappel (*Populus tremula*) und Mehlsbeere (*Sorbus aria*), mit einigen wenigen Edelkastanien (*Castanea sativa*) durchsetzt, wird durch die Holzkohlen auf der Oberfläche repräsentiert, die von einem Brand im Januar 1987 stammen. Es fanden sich vorwiegend Kohlen von Zitterpappel; solche von Mehlsbeere und Hängebirke waren lokal nicht auffindbar, was darauf hinweist, daß Proben eines einzigen Profils eine statistische Absicherung nicht zulassen (s. Diskussion).

Der darunter anschließende Horizont bis 0,2 m ist von der Edelkastanie geprägt, was mit der Landnutzungsform zusammenhängt, da das Gebiet vor einem Brand im August 1945 als Selve bewirtschaftet wurde. Das Vorkommen der standortfremden Rebe (*Vitis* sp.) ist auf menschliche Einflüsse zurückzuführen; es befindet sich ein verfallener Stall oberhalb des Standorts, dessen vorgelagerte Pergola einige rezent nicht mehr vorhandene Rebstöcke vermuten läßt.

In 0,4–0,6 m treten Tanne (*Albies alba*), Grünerle (*Alnus viridis*), sowie Kohlenfragmente von nicht näher definierbaren *Alnus* sp. hinzu. Beide Taxa sind heute in dieser Höhenlage nicht mehr anzutreffen. Die Hasel (*Corylus avellana*), rezent nicht mehr im Bestand vertreten, sowie die Tanne sind in den unteren Schichten durchwegs bis ± 7000 BP vertreten, was sich mit den pollenanalytischen Erhebungen deckt.

In 0,7 m kommen Kohlen von Eiche (*Quercus* sp.) und Föhre vom *silvestris*-Typ (*Pinus* sp.) hinzu, die seit ± 7000 BP lückenlos über die Bodenhorizonte aufgetreten waren, was zeitlich auch mit den pollenanalytischen Befunden korreliert. Da der Goldregen (*Laburnum* sp.) holzanatomisch in einigen Fällen nicht eindeutig vom Besenginster (*Cytisus scoparius*) unterschieden werden konnte, wird diese Art im weiteren nicht mehr erwähnt.

Die ^{14}C -Altersbestimmung der Proben in 0,6 und 0,7 m ergab eine mittlere Abweichung von ± 240 Jahren. Da nicht ermittelt werden konnte, ob sich die Holzkohlen einst im Kern- oder im Splintbereich der Stämme, allenfalls in dickeren Ästen befunden hatten, kann ebenso mit zeitlichen Abweichungen in dieser Größenordnung gerechnet werden. Unter Mitberücksichtigung der zeitlichen Unschärfe der ^{14}C -Methode kann

Tab. 1. Verteilung und Häufigkeit der im Bodenprofil in verschiedenen Tiefen gefundenen, nach Arten und Gattungen unterschiedenen Holzkohlen.

Tiefe	Art	Stück	Bemerkungen
Oberfläche	Salix sp.	4	Alle Stücke nur angekohlt
	Populus sp.	11	
0 bis 0,1 m	Castanea sativa	9	ø < 1mm
	Vitis sp.	2	
	indet.	1	
0,2 m	Quercus sp.	1	
0,4 m	Alnus sp.	1	nicht A. viridis
	Salix sp.	5	
	Abies alba	8	
	Corylus avellana	1	
0,45 m	Alnus viridis	2	dünne Zweige oder Wurzeln
	Salix sp.	2	
	Rinde indet.	1	
0,6 m	Abies alba	12	Druckholz mit Pilzhypen
	Quercus sp.	7	
	Laburnum sp.	2	
	Salix sp.	1	
	Betula sp.	1	
0,7 m	Abies alba	13	dünne Wurzel
	Quercus sp.	6	
	Pinus silvestris - Typ	3	
	Betula sp.	7	
	Alnus sp.	1	
	Laburnum sp.	1	
	Corylus avellana	1	
	Nadelholz indet.	1	
0,8 m	Abies alba	14	Quercus oder Castanea (?) oder ev. Cytisus scoparius (?) Schalenfragmente!
	Salix sp.	4	
	Quercus sp.	9	
	Pinus sp.	4	
	Betula sp.	5	
	Laburnum sp.	3	
	Corylus avellana	2	
0,9 m	Abies alba	2	
	Salix sp.	2	
	Ulmus sp.	2	
	Laburnum sp.	6	
1,0 m	Abies alba	8	Ast, Druckholz
	Laburnum sp.	5	
	Pinus sp.	4	
	Quercus sp.	3	
	Salix sp.	2	
	Tilia sp.	1	
	Acer sp.	2	
1,1 m	Laburnum sp.	7	
	Abies alba	3	
	Pinus silvestris-Typ	2	
	Quercus sp.	2	
	Corylus cf.	1	

nicht rekonstruiert werden, ob es sich um ein, zwei oder sogar mehrere Brandereignisse um 4300 BP gehandelt hat.

In 0,8 m zeigen sich bezüglich Artenspektrum keine wesentlichen Unterschiede zum darüberliegenden Horizont in 0,7 m. Die ^{14}C -Daten ergeben ein mittleres Alter von 5900 BP, was zeitlich mit der wärmeren Interphase zwischen der Misoxer und der Piora-Kaltphase im jüngeren Atlantikum zusammenfällt (Zoller 1968).

Erwähnenswert ist das Auftreten der wärmeliebenden Ulme (*Ulmus sp.*) in 0,9 m Tiefe, was zeitlich gut mit der oben erwähnten, wärmeren Interphase korreliert.

In der Schicht von 1,0 m, die auf ± 7000 BP datiert wurde, sowie in der Schicht von 1,1 m änderte sich in der Artengarnitur wenig.

Die Gattung der lichtbedürftigen Weiden (*Salix sp.*) ist mit Ausnahme des obersten Horizonts über die ganze Profiltiefe vertreten, was auf eine zumindest lokal aufgelockerte Bestandesstruktur schließen läßt.

Obwohl die Birke (*Betula sp.*) nur in wenigen Horizonten auffindbar war, ist dennoch anzunehmen, daß sie an offeneren Stellen, wie sie z. B. nach Bränden entstehen, über die ganze Zeitspanne von ± 7000 Jahren aufgetreten ist.

In welchem Maße der Mensch Einfluß auf die zeitlich-lokale Waldzusammensetzung ausübte, entzieht sich unseren Kenntnissen. Pollendiagramme von Zoller (1960, 1968) und Schneider und Tobolski (1985) sowie im alpinen Gebiet von Vorren (1993) zeigen aber, daß der Mensch seit dem Mesolithikum zunehmend auf die Waldzusammensetzung einwirkte.

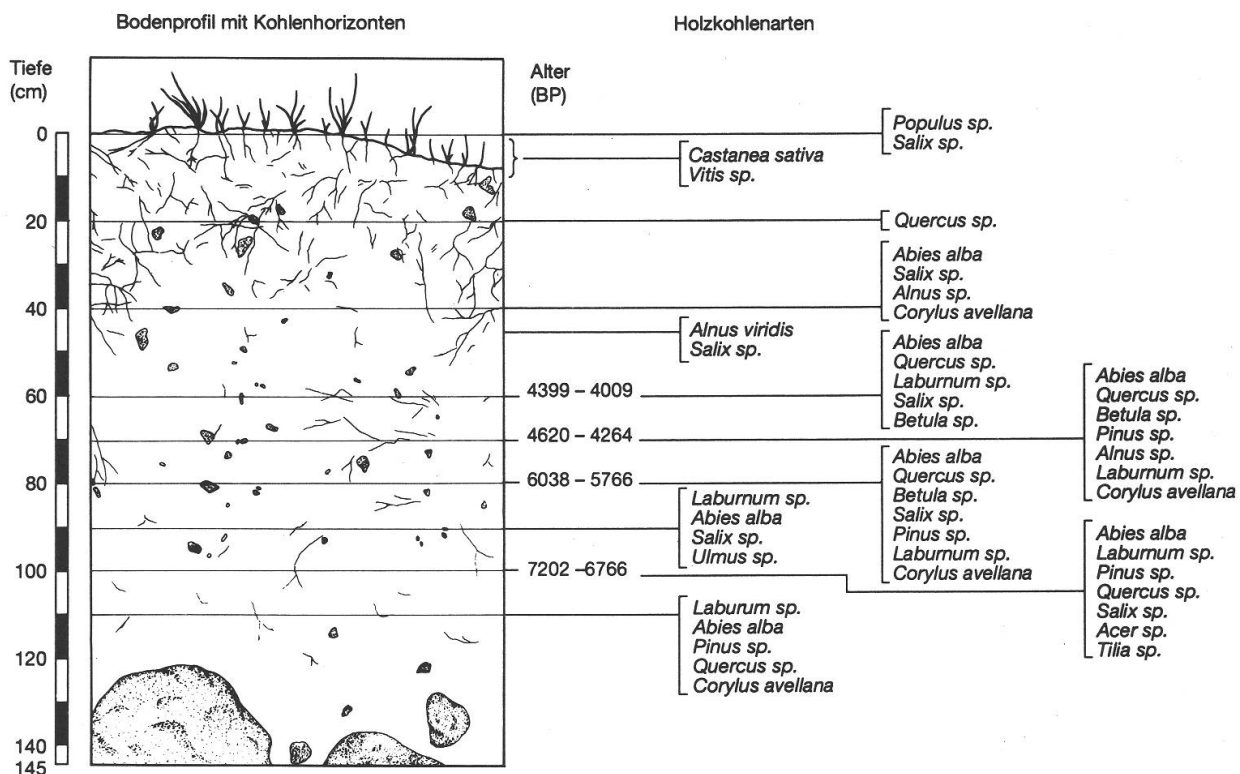


Abb. 2. Schematische Darstellung des Bodenprofils mit den Holzkohlen-führenden Horizonten. Den verschiedenen Profiltiefen wurden die Arten und Gattungen zugeordnet. Wo ^{14}C -Daten erhoben wurden, sind diese in Jahren Before Present angeführt. Da keine absoluten Zeitpunkte ermittelt werden können, ist die dendrokorrigierte Intervallbreite angegeben (95% confidence limit). Mit zunehmender Tiefe nimmt auch das Alter der Proben gleichsinnig kontinuierlich bis ± 7000 BP zu. Weitere Angaben im Text.

Schicht	Holzart	Oberfläche	0 bis 0.2 m	0.4 m	0.45 m	0.6 bis 0.7 m	0.8 m	0.9 m	1.0 bis 1.1 m
	<i>Abies alba</i>								
	<i>Acer sp.</i>								
	<i>Alnus sp./A. viridis</i>								
	<i>Betula sp.</i>								
	<i>Castanea sativa</i>								
	<i>Corylus avellana</i>								
	<i>Laburnum sp.</i>								
	<i>Pinus sp.</i>								
	<i>Populus sp.</i>								
	<i>Quercus sp.</i>								
	<i>Salix sp.</i>								
	<i>Tilia sp.</i>								
	<i>Ulmus sp.</i>								
	<i>Vitis sp.</i>								

Abb. 3. Stetigkeit des Vorkommens der Arten und Gattungen im Profil. *Castanea sativa* ist nur in den obersten 20 cm auffindbar. Die lichtbedürftige Gattung *Salix sp.* ist mit Ausnahme des obersten Horizonts durchwegs im Profil vertreten. Die auf feuchtere klimatische Bedingungen hinweisende *Abies alba* sowie *Alnus sp.* sind nur unterhalb 20 cm anzutreffen, was zeitlich durch Synchronisation mit pollenanalytischen Methoden ± 2000 BP entspricht. Der Zeigerwert F4 für *Abies alba* und die Verteilung im Profil lassen auf eine Feuchtperiode von mind. 7000–ca. 2300 BP schließen. Der Nadelmischwald wurde vor ± 2000 Jahren von reinem Laubwald abgelöst. Das örtlich wie zeitlich begrenzte Auftreten von *Ulmus sp.* fällt mit der wärmeren Interphase zwischen Misoxer und Piora-Kaltphase im jüngeren Atlantikum zusammen. Weitere Angaben im Text.

Zeitliche Abfolge der Bodenentwicklung: Eine Hypothese

Auf Grund der Lage der Holzkohlen im Profil wird der Terminus „Bodenentwicklung“ im folgenden nicht im bodenkundlich herkömmlichen Sinne verwendet, sondern bezieht sich ausschließlich auf die Entwicklung der Bodenmächtigkeit, welche vorwiegend durch Humusakkumulation und geomorphologische Prozesse wie Solifluktion und Akkumulation durch Erosion bewirkt wird. Die Verwitterung des Muttergesteins konnte quantitativ nicht erfaßt werden.

In Übereinstimmung mit den Pollenuntersuchungen, in welchen das Auftreten der Edelkastanie (*Castanea sativa*) im insubrischen Raum mit der Römerzeit (± 2000 BP) zusammenfällt, kann davon ausgegangen werden, daß sich die obersten 20 cm des Bo-

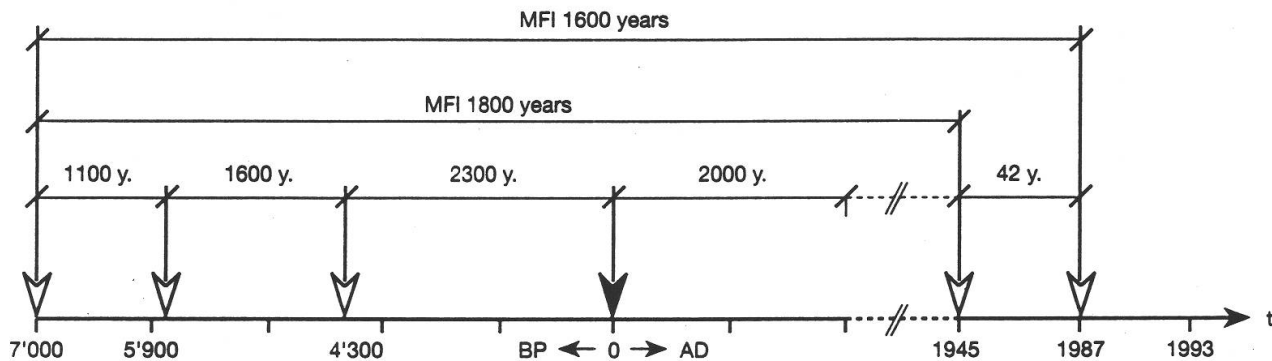


Abb. 4. Brandzeitpunkte, Feuerintervall und Hauptfeuerintervall (Mean Fire Interval) der letzten 7000 Jahre. Die Jahreszahlen wurden ermittelt, indem jeweils der Median der ^{14}C -Zeitintervalle berechnet wurde. Zeitfehler im Bereich weniger Jahrhunderte sind aus methodischen Gründen möglich. Unter Einbezug der letzten zwei Brandereignisse von 1945 und 1989 beträgt das Hauptfeuerintervall 1600 Jahre, unter Vernachlässigung derselben 1800 Jahre. Weitere Angaben im Text.

dens in den letzten 2000 Jahren entwickelt haben, zumal die Edelkastanie einzig in diesem Horizont auffindbar war.

Da in 0,6 m Tiefe die Holzkohlen auf ± 4200 BP datiert wurden, ist anzunehmen, daß sich der Boden zwischen 0,2 (± 2000 BP) und 0,6 m Tiefe in ± 2200 Jahren ca. 40 cm mächtig entwickelt hat.

Das ^{14}C -Alter der Proben in 0,6 und 0,7 m beträgt ± 4300 BP mit einer mittleren Abweichung von ± 240 Jahren. Aus methodischen Gründen kann über die Bodenentwicklung zwischen diesen beiden Horizontgrenzen nichts ausgesagt werden.

Unter der Annahme ungestörter Verhältnisse ist zu erwarten, daß sich der Boden zwischen 0,6 m (± 4200 BP) und 0,9 m (± 5900 BP) in ± 1700 Jahren ca. 30 cm mächtig entwickelt hat.

Zwischen den Kohleschichten in 0,9 und 1,0 m Tiefe ist während ± 1100 Jahren ca. 10 cm Bodenmaterial eingelagert worden.

Rekonstruktion der Feuergeschichte: Ein methodischer Ansatz

Angaben zu *Feuerfrequenz* und *Feuerintervall*, wie sie z.B. in den USA und Nord-europa für die Brandrisiko-Abschätzung in Korrelation mit Klimadaten, aber auch für pflanzensoziologische und historische Untersuchungen seit geraumer Zeit zur Anwendung kommen, wurden in der Regel an rezenten Bäumen vorgenommen: Die von verschiedenen Bränden stammenden Verletzungen konnten absolut datiert werden (Arno 1980, Arno und Peterson 1983, Swetnam 1989). Durch die Methode des Cross-Dating rezenten und toter Stämme verlängerte sich die Zeitachse um Jahrtausende (Zackrisson 1977, Swetnam und Dieterich 1983).

Trotz der geringen Datenmenge, allein von subfossilen Proben mit nur ungefähren Altersangaben können die ^{14}C -Daten zu einer (unvollständigen) Brandchronologie zusammengefaßt werden, die auf den Mittelwerten der ^{14}C -Zeitintervalle basiert. Das Hauptfeuerintervall (MFI) beträgt unter Einbezug der zwei letzten, absolut datierten Brände 1600 Jahre (Median), ohne deren Berücksichtigung 1800 Jahre (Abb. 4). Es erscheint sinnvoll, die letzten zwei Brandereignisse nicht mitzurechnen, da die Feuerfrequenz seit der Industrialisierung und in einem weiteren Schritt seit der Nachkriegszeit im Kanton Tessin schlagartig zugenommen hat (Ceschi 1977).

Diskussion

In Übereinstimmung mit den pollenanalytischen Untersuchungen von Zoller (1960, 1963, 1968, Schneider und Tobolski 1985) über das späte Auftreten der Edelkastanie (*Castanea sativa*) zu Beginn der Römerzeit im insubrischen Raum waren Holzkohlen dieser Kulturbaumart nur in der Schicht bis 20 cm Bodentiefe auffindbar, was auf die ungestörte Stratigraphie der obersten Bodenhorizonte und den gleichsinnig zeitlichen Verlauf der Bodenentwicklung hinweist. Auch der Umstand, daß die Proben mit zunehmender Tiefe im Profil kontinuierlich älter datiert werden konnten, wie es auch Payette und Morneau (1993) aufgezeigt hatten, erhärtet diese These. Für die Interpretation erschwerend wirkt sich jedoch aus, daß über das quantitative Verhältnis von Mineralisierung organischer Substanz, Humusakkumulation und Verwitterung des Muttergesteins, Bodenakkumulation und -erosion in Hanglagen bisher keine allgemein zutreffenden Aussagen gemacht werden können, wie dies beispielsweise in einem ebenen Moor sehr viel besser möglich ist (Schweingruber 1978). Es existieren allerdings Untersuchungen, in welchen die Mineralisierungsrate u. a. durch ^{14}C -Datierungen organischer Substanz auch mengenmäßig quantifiziert werden konnte (Martel und Paul 1974, Kaurichev und Yashin 1989). Eine weitere Komplikation zur quantitativen Beurteilung der Bodenmächtigkeits-Entwicklung ergibt sich durch Bodenorganismen hervorgerufene Infiltrationseffekte, nach Jongerius (1970) Faunapedoturbation genannt.

Podsolartige Böden entwickeln sich gemäß Buol et al. (1980) in relativ kurzen Zeiträumen von 3000–8000 Jahren, was zeitlich mit vorliegendem Bodenprofil übereinstimmt.

Abschließende Betrachtungen zum *Ablauf der Bodenentwicklung*. Wie die *Verteilung der Holzkohlen* zustande gekommen ist, kann auf Grund der Komplexität und Dynamik des Systems „Boden“ nicht abschließend beurteilt werden. Sicher ist, daß die Holzkohlen mit einer Ausnahme nicht von Wurzeln, sondern von Stämmen, Ästen und Zweigen stammen. Das Material muß somit einmal an der Bodenoberfläche gelegen haben. Auf Grund welcher effektiven Mechanismen es von dort in die tieferen Bodenhorizonte gelangte, entzieht sich unseren Kenntnissen: Transport mit dem Bodenwasser ist unwahrscheinlich, da die Fragmente wesentlich größer sind als die Grobporen des Bodens, den wir heute vorfinden. Auch durch Bodenlebewesen verursachte Umschichtungsprozesse und Einmischungen sind unwahrscheinlich, weil saure, podsoliierte Böden von Würmern und anderen größeren Bodenbewohnern kaum besiedelt werden, und dadurch die chronologisch gleichläufige Verteilung nicht erklärbar ist. Es stellt sich die Frage, ob die Kohlefragmente durch langsame, stetige Übersättigung mit mineralischem Hangerosionsmaterial in die Tiefe gelangten. Mit bodenchemischen und -mineralischen Befunden läßt sich aber auch diese auf den ersten Blick einleuchtende Annahme nicht untermauern. Zudem findet man auch in Böden auf ebenen Standorten chronologisch gleichsinnig datierbare Holzkohlen in beträchtlichen Tiefen (mündl. Mitteilung Blaser und Zimmermann).

Um auf Grund von Zeigerwerten Aussagen über vergangene *Klimaschwankungen* machen zu können, wie dies dank umfangreicher Pollenanalysen möglich ist (Zoller 1963, 1968, Schneider und Tobolski 1985), sind die *Zeigerwertänderungen* der über die Zeit variierenden, im Profil gefundenen Arten und Artengruppen zu wenig aussagekräftig. Überdies hat sich herausgestellt, daß klimatische Schwankungen oft nur regional begrenzt auftreten, so daß die Synchronisation mit datierten, postglazialen Klimaschwankungen nicht immer einfach ist (Schweingruber 1989).

Immerhin ist bemerkenswert, daß in den tieferen, älteren Bodenhorizonten die größten Stückzahlen der Holzkohlen von Tanne (*Abies alba*) mit dem Zeigerwert F4 gefunden wurden, was, zumindest lokal, auf feuchte Verhältnisse von mindestens 7000 bis ca. 2300 BP schließen läßt. Dieses Resultat deckt sich mit den Erhebungen von Ammann (1988) und Oppizzi (1988), welche beide Holzkohlen von Tanne ähnlichen Alters in der planar-kollinen Stufe des Tessins gefunden hatten.

Das Auftreten der wärmeliebenden Ulme (*Ulmus sp.*), das sich recht gut in die Warmphase zwischen Misoxer und Piora-Kaltzeit im jüngeren Atlantikum einreihen läßt, deckt sich mit pollenanalytischen Befunden. Auch das Auftreten der anderen Baumarten stimmt zeitlich mit den Pollenanalysen überein; zumindest haben sich keine Widersprüche ergeben, was auf die Richtigkeit der Thesen hinweist. Wie auch Payette (1980) bemerkte, sollte man sich dennoch bewußt sein, daß zeitliche Fehler in der Größenordnung von wenigen hundert Jahren aus methodischen Gründen bei der Datierung von subfossilem Material nicht auszuschließen sind; einerseits war nicht festzustellen, aus welcher Region des Stammes die Proben herkommen, andererseits resultieren aus dendrokorrigen ^{14}C -Daten Zeitintervalle und keine absoluten Zeitwerte.

Obwohl sich Zeigerwerte nach Ellenberg zur *Rekonstruktion früherer Vegetationszustände* eignen (Willerding 1983), was in jüngster Zeit umstritten ist, können nur mit umfangreichem Datenmaterial aus der Krautschicht Rückschlüsse auf ehemalige *Pflanzengesellschaften* gezogen werden (Ellenberg und Klötzli 1972, Landolt 1977). Wegen der geringen Artenanzahl, und da für pflanzensoziologische Rekonstruktionen nur wenig geeignete Baumarten in die Untersuchung miteinbezogen werden konnten, sind keine Angaben über einstige Pflanzengesellschaften möglich. Immerhin läßt sich feststellen, daß der Nadelmischwald seit ungefähr 2000 BP von reinem Laubwald abgelöst worden war.

Ein weiteres Problem zur *Rekonstruktion des Artenmosaiks* auf Grund von Holzkohleanalysen stellt sich durch die unterschiedliche Abbauresistenz von Holzkohlen einzelner Arten und Gattungen: Nadelhölzer, die in Hanglagen oft dichtes Druckholz ausbilden, werden partiell weniger schnell abgebaut als laubwerfende Weichholzarten, die anatomisch kaum feststellbares Zugholz ausbilden. Dieser Umstand führt dazu, daß Nadelhölzer möglicherweise übervertreten sind und/oder daß Weichholzarten schon zer setzt wurden und somit keiner Analyse mehr zugänglich sind (Schweingruber 1978).

Es ist jedoch festzuhalten, daß die ausschließlich aus Weichhölzern bestehende Gattung der Weiden (*Salix sp.*) mit Ausnahme des obersten Horizonts im ganzen Profil nachweisbar war, was die Vermutung nahelegt, daß trotz der geringen Probenmenge die effektiv gefundenen Stückzahlen in Tabelle 1 das Auftreten der Arten und Gattungen repräsentieren.

Der Faktor „*Mensch*“ hat das Artengefüge des Waldes auch nachhaltig mitgestaltet: Brandrodungen zur Weidegewinnung und für den Ackerbau in historischer Zeit (Zoller 1960, Moore und Webb 1992, Vorren et al. 1993), Förderung von Nutzholzarten und in den letzten Jahrzehnten, Aufforstungsprojekte mit Exoten und standortfremden Baumarten. Inwieweit menschliche Aktivitäten die Brandereignisse in der vorliegenden Brandchronologie beeinflußt haben, entzieht sich unseren Kenntnissen, obwohl im unmittelbar benachbarten Val Maggia Kulturspuren seit dem Neolithikum ($\pm 6000-4000$ BP) nachgewiesen werden konnten, beim Dorf Maggia Silex-Geräte und ein Steinbeil (Tatarinoff 1928 in Handke 1983) und bei Cevio ein Steinhammer (Signorelli 1972). Diese Geräte lassen auf seßhafte Lebensweise schließen. In vielen Fällen gingen dieser Siedlungsphase Perioden der Jäger- und Sammler-Lebensweise voran, die ins postglaziale Mesolithikum

fallen (Hantke 1983). Die Funde legen den Schluß nahe, daß der Mensch über den Zeitraum der letzten 7000 Jahre im Gebiet vertreten war.

Die Angaben über Feuerfrequenz und Hauptfeuerintervall, MFI (Mean Fire Interval) verstehen sich als methodischer Ansatz, sind jedoch auf Grund der geringen Probenmenge eines einzelnen Profils nicht repräsentativ; es muß davon ausgegangen werden, daß nicht alle Brandereignisse erfaßt werden konnten. Erst das Zusammenführen und die Analyse von Daten mehrerer Profile in definierten Standorten einer größeren Region (z.B. das untere Centovalli) mit umfangreichem Probenmaterial erbringt verlässliche Daten, die statistisch abgesicherte Resultate zulassen.

Zusammenfassung

In einem Bodenprofil eines Kryptopodsols an einem N-NW-exponierten Hang auf 530 m ü.M. oberhalb Intragna, Tessin, konnten auf Grund von verschiedenen Profiltiefen auffindbaren Holzkohlen Aussagen über Bodenentwicklung, Vegetationsveränderungen und über das Feuerregime der letzten ± 7000 Jahre gemacht werden.

Die Kohlenfragmente wurden den verschiedenen Profiltiefen zugeordnet, nach Arten und Gattungen bestimmt, ^{14}C -datiert und mit pollenanalytischen Resultaten verglichen. Im weiteren dienten Zeigerwerte nach Landolt (1977) zur Charakterisierung der ökologischen Standortsansprüche der einst und rezent lebenden Gehölzarten.

Trotz der geringen Probenmenge in einem einzelnen Bodenprofil und der Unsicherheit über die effektiven Mechanismen, wie die Kohlepartikel in ihre jetzige Lage im Profil gekommen sind, läßt die mit zunehmender Tiefe zeitlich gleichläufige Verteilung folgende Schlüsse zu:

Die ältesten Kohlefragmente in 100–110 cm Tiefe und die jüngsten, effektiv auf 1987 datierten Holzkohlen an der Oberfläche deuten darauf hin, daß sich der Boden in ± 7000 Jahren rund 100 cm mächtig entwickelt hat.

Daß die Edelkastanie (*Castanea sativa*) nur im obersten Horizont bis 20 cm auffindbar war, erhärtet einerseits die Untersuchungen von Zoller (1960), daß diese Baumart sich erst seit der Römerzeit ausgebreitet hatte, andererseits ist dadurch anzunehmen, daß sich der Boden seit dieser Epoche rund 20 cm mächtig entwickelt hat.

Weißtanne (*Abies alba*) und Föhre (*Pinus sp.*), rezent im Bestand nicht mehr vertreten, prägten die Waldgesellschaft, bis vor rund 2000 Jahren der Nadelmischwald von reinem Laubwald abgelöst wurde. Welchen Einfluß die von den Menschen jener Zeit begünstigte Ausbreitung der Edelkastanie im Standort auf das Artengefüge genommen hatte, entzieht sich unseren Kenntnissen.

Auf Grund des Feuchtigkeits-Zeigerwerts F4 für Weißtanne und Grünerle (*Alnus viridis*), sowie F4-F5 für nicht weiter definierbare Arten der Gattung *Ulmus sp.*, ist anzunehmen, daß seit mindestens 7000 bis ca. 2300 BP zumindest lokal feuchtere Bedingungen vorherrschten als heute.

Das zeitlich begrenzte Auftreten der wärmeliebenden Gattung der Ulmen (*Ulmus sp.*), (T4-T5) fällt in die pollenanalytisch ermittelte wärmere Interphase zwischen der Misoxer und der Piora-Kaltphase im jüngeren Atlantikum (6000–5200 BP).

Da über das ganze Profil mit Ausnahme des obersten Horizonts Kohlenfragmente aus der Gattung der lichtbedürftigen Weiden (*Salix sp.*) auftraten, muß der Bestand dauernd, zumindest fleckenweise, aufgelichtet gewesen sein.

Wenigstens sechs Brände haben sich in den letzten 7000 Jahren ereignet. Das mittlere Feuerintervall (MFI) unter Ausschluß der zwei letzten, absolut datierten Brände von

1945 und 1987 beträgt 1800 Jahre; es ist jedoch möglich, daß nicht alle Brandereignisse erfaßt werden konnten. Da Kulturspuren in der näheren Umgebung belegt sind (Tatarnoff 1928 in Handke 1983, Zoller 1960, Signorelli 1972, Schneider und Tobolski 1985), ist menschlicher Einfluß auf das Feuerregime denkbar (Brandrodung, unkontrollierte Feuerstellen), aber nicht nachzuweisen.

Wir danken allen, die zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben. Namentlich Dr. G. Bonani, Institut für Mittelenergiephysik, ETH Zürich, der die Altersbestimmung der Proben vorgenommen hat, Dr. P. Blaser und Herr S. Zimmermann, WSL, Birmensdorf, die uns wichtige Hinweise zur morphologischen Bodencharakterisierung und weitere Anregungen gegeben haben, sowie Prof. Dr. F. H. Schweingruber, WSL, Birmensdorf, der uns vermittelnd und organisatorisch unterstützt hat. Im weiteren Dr. S. Fossati und Dr. M. Felber, Museo cantonale di storia naturale, Lugano, die uns bei der Literaturrecherche behilflich waren, wie auch Frau D. Pichler, WSL, Birmensdorf, die uns die graphische Darstellung des Bodenprofils angefertigt hat.

Literatur

- Ammann P. 1988. Ritrovamento di antichi legni nel sottosuolo di Tenero. Boll. Soc. tic. sci. nat. 76:47–50.
- Arno S. F. 1980. Forest fire history in the Northern Rockies. J. for. 78 (8):23–45.
- Arno S. F. and Petersen T. D. 1983. Variations in estimates of fire intervals: A closer look at fire history on the Bitterroot National Forest. USDA for. serv. res pap. INT-301. 8 S.
- Blaser P. 1973. Die Bodenbildung auf Silikatgestein im südlichen Tessin. Mittg. schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen 49:251–340.
- Bryson R. A., Irving W. N. and Larsen J. A. 1965. Radiocarbon and soil evidence of former forest in the southern Canadian tundra. Science 147:46–48.
- Buol S. W., Hole F. D. and McCracken R. J. 1980. Soil genesis and classification. Iowa State Univ. Press, Ames: 268–280.
- Caseldine C. and Hatton J. 1992. Impact of Mesolithic communities on Blanket peat development, Dartmoor, U. K. Unpubl., presented at the 8th International Palynological Congress, Aix-en-Provence, September 6–12. Program and Abstracts.
- Castelletti L. 1988. Archaeology and forest history. In: Human influence on forest ecosystems development in Europe. Salbitano F. (ed.) 1988. ESF-FERN-CNR, Pitagora Editrice, Bologna: 3–11.
- Ceschi I. 1977. Gli incendi boschivi nel Ticino. Boll. Soc. tic. sci. nat. 65:63–102.
- Deschamps R. 1984. Evidence of bush fires during the Plio-Pleistocene in Africa (Omo and Sahabi) with the aid of fossil wood. Palaeoecology of Africa 16:291–294.
- Ellenberg H. and Klötzli F. 1972. Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mittg. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen 48:589–930.
- Gabriel H. W. and Tande G. F. 1983. A regional approach to fire history in Alaska. U.S. Dep. of interior, tech. rep. 9. 34 S.
- Hantke R. 1983. Eiszeitalter 3. Ott Verlag, Thun. 730 S.
- Jongerijs A. 1970. Some morphological aspects of regrouping phenomena in Dutch soils. Geoderma 4:311–331.
- Kaurichev I. S. and Yashin I. M. 1989. Formation of water-soluble organic substances in soils as a stage in the transformation of plant residues. IZV Timiryazev S-KH Akad. 0(1):47–57.
- Landolt E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Zürich 64. 208 S.
- Martel Y. A. and Paul E. A. 1974. The use of radiocarbon dating of organic matter in the study of soil genesis. Soil sci. soc. Am., proc. 38:501–506.
- Moore P. D. and Webb J. A. 1992. Early Mesolithic on vegetation and environments in Wales. Unpubl., presented at the 8th International Palynological Congress, Aix-en-Provence, September 6–12, 1992, Program and Abstracts.

- Neumann K. 1992. The contribution of anthracology to the study of the late Quaternary vegetation history of the Mediterranean region and Africa. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 139, Actual. bot. (2/3/4): 421–440.
- Niklaus Th., Bonani G., Simonius M., Suter M. and Wölfli W. 1992. CalibETH: An interactive computer program for the calibration of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 34:483–492.
- Oppizzi P. 1988. Ritrovamento di frammenti di legno in una perforazione sul territorio del comune di Gudo. *Boll. Soc. tic. sci. nat.* 76: 51–53.
- Payette S. and Lajeunesse R. 1980. Les combes à neige de la rivière aux feuilles (Nouveau-Québec): Indicateurs paléoclimatiques Holocènes. *Géogr. phys. Quat.* XXXIV (2): 209–220.
- Payette S. and Morneau C. 1993. Holocene relict woodlands at the eastern Canadian treeline. *Quaternary research* 39: 84–89.
- Richard F., Lüscher P. and Strobel T. 1978. *Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz*. Bd. 1. Eidgenöss. Anst. forstl. Versuchswesen: 2–34.
- Schneider R. E. 1978. Pollenanalytische Untersuchungen zur Kenntnis der spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte am Südrand der Alpen zwischen Turin und Varese (Italien). *Bot. Jahrb. Syst.* 100: 26–109.
- Schneider R. and Tobolski K. 1985. Lago di Ganna – Late-glacial and holocene environments of a lake in the Southern Alps. *Diss. Bot.* 87. In: *Swiss Lake and Mire Environments During the Last 15 000 Years*. Lang G. (ed.): 229–271.
- Schoch W. 1986. Wood and charcoal analysis. In: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Berglund B. E. (ed.). Wiley & Sons Ltd.: 619–626.
- Schweingruber F. H. 1978. Das Mesolithicum in Süddeutschland. *Tübinger Monographien zur Urgeschichte* 5: 33–46.
- Schweingruber F. H. 1988. *Tree Rings*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 276 S.
- Schweingruber F. H. 1989. *Methoden zur Erhaltung von Kulturgütern*. Haupt, Bern, Stuttgart: 155–161.
- Schweingruber F. H. 1990. *Anatomie europäischer Hölzer*. Haupt, Bern, Stuttgart. 800 S.
- Signorelli M. 1972. *Storia della Valmaggia*. Tipografia Stazione S.A., Locarno. 496 S.
- Swetnam T. and Dieterich J. H. 1983. Fire history of Ponderosa pine forests in the Gila wilderness, New Mexico. Paper presented at the Wilderness Fire Symposium, Missoula, Montana, November 15–19.
- Swetnam T. 1989. Fire history and climate change in a Giant Sequoia grove since A.D. 500. *Lab. tree-ring res.*, Arizona, 18 S.
- Vorren K. D., Mørkved B. and Bortenschlager S. 1993. Holocene tree-line vegetation and man's impact in the Central Alps. *Vegetation History and Archaeobotany* 2: 145–156.
- Willerding U. 1983. Paläo-Ethnobotanik und Ökologie. *Verhandl. Ges. for Ökologie* IX: 489–503.
- Zackrisson O. 1977. Influence of forest fires in the North Swedish boreal forest. *Oikos* 29: 22–32.
- van Zeist W. and Bakker-Heeres J. A. H. 1982. Archaeobotanical studies in the levant. 1. Neolithic sites in the Damascus Basin: Aswad, Ghoraifé, Ramad. *Palaeohistorica* 24: 165–256.
- Zoller H. 1960. Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. *Denkschr. der Schweiz. Naturf. Ges.* LXXXIII (2). 156 S.
- Zoller H. 1963. Zur Chronologie der insubrischen Vegetationsgeschichte. *Ber. Geobot. Inst. Rübel, Zürich* 34: 77–80.
- Zoller H. 1968. Die Vegetation vom ausgehenden Miozän bis ins Holozän. *Archäol. Schweiz* I, Ältere und Mittlere Steinzeit, Zürich: 27–42.
- Zoller H. and Kleiber H. 1971. Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in der montanen und subalpinen Stufe der Tessintäler. *Verhandl. Naturf. Ges. Basel* 81: 90–153.