

# **Rekonstruktion der Vegetationsgeschichte im Valle Onsernone (Tessin/CH) mittels Holzkohleanalyse der Holzköhlereien**

GEO 511 – Masterarbeit

Betreuung: Prof. Dr. Markus Egli

Dr. Paolo Cherubini  
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
paolo.cherubini@wsl.ch

Fakultätsvertreter: Prof. Dr. Markus Egli  
Abteilung Geochronologie  
Geographisches Institut der Universität Zürich  
Winterthurerstrasse 190  
CH-8057 Zürich

Abgabe: 30. April 2013

Autor: Judith Maurer  
07-914-666

## Zusammenfassung

Die zurückgebliebenen Holzkohlestücke der Holzköhlereien im Valle Onsernone bieten sich für Holzkohleanalysen an. Die Ergebnisse der Holzkohlen-Taxa-Bestimmung und der <sup>14</sup>C-Altersbestimmung rekonstruieren die Vegetationsgeschichte. Hinweise gibt die Holzkohleuntersuchung über die Bestandesfluktuation der Baumarten, die Vegetationsänderung und die Vegetationszusammensetzung während eines bestimmten Zeitraumes im Valle Onsernone. Die holzkohlereichen Bodenhorizonte der Holzkohleplätze sind Archive der Vegetationsgeschichte und der Holzköhlereien seit dem Mittelalter (1'200 – 500 BP) bis in die Neuzeit (500 BP – heute).

Holzkohle eignet sich für die Analysen gut, weil die Holzmerkmale beinahe unverändert bleiben. Der Abbau, der in den Boden eingebetteten Holzkohle, ist so langsam, dass Jahrtausende später noch die Baumart und das Alter bestimmt werden können. In allen Profilen ist unterhalb des Oberbodens der Kohlenstoffgehalt abnehmend: oberhalb dieser Grenze stammt die Holzkohle vorwiegend und zahlreich von den Holzköhlereien, unterhalb dieser Trennlinie sind die wenigen Holzkohlestücke von anderen Verbrennungsprozessen. In den Horizonten wurde mehr Laubholz - vorwiegend Buche (*Fagus sylvatica*) - als Nadelholz gefunden. Diese Holzart ist rezent vorhanden und bildet in montanen Lagen zusammen mit Tanne (*Abies alba*) eine Waldgesellschaft. Buche (*Fagus sylvatica*) und Tanne (*Abies alba*) kamen im Untersuchungsgebiet in der Vergangenheit ebenfalls vor. Im Laufe der Jahrhunderte hat sich die Vegetationszusammensetzung nicht geändert. Die Alter der Holzkohlestücke der Kohleschichten entsprechen dem Alter der Holzköhlereien und sind ab dem Mittelalter (ab 1035 AD) bis in die Neuzeit (bis 1954 AD) datiert. Das Holzkohlestück mit einem Alter von 2435 – 2711 cal BP (Eisenzeit) stammt am ehesten von einem Waldbrand und wurde als Waldföhre/Arve (*Pinus*) bestimmt.

Aussagen über die Bodenentwicklung anhand der datierten Holzkohle zu machen, ist schwierig, weil unterschiedliche Bodenprozesse eine Umschichtung des Bodens bewirkt haben. Die chemischen und physikalischen Analysen der untersuchten Böden ergaben für drei Böden Podsole und für zwei Böden (saure) Braunerden. Dies bestätigt die Standortbeschreibung des Valle Onsernone.

## Inhalt

Zusammenfassung.....	1
Abbildungen .....	4
Tabellen .....	5
Botanische Namen .....	6
1. Einleitung.....	7
1.1 Holzkühlereien im Tessin.....	7
1.2 Fragestellungen .....	11
1.3 Hypothesen.....	11
2. Material und Methoden.....	12
2.1 Untersuchungsgebiet.....	12
2.1.1 Lage .....	12
2.1.2 Klima.....	14
2.1.3 Geologie .....	14
2.1.4 Vegetation .....	15
2.2 Vegetationsgeschichte.....	16
2.3 Waldbrände .....	20
2.4 Feldarbeit.....	22
2.4.1 Profil 1 .....	23
2.4.2 Profil 2 .....	24
2.4.3 Profil 3 .....	26
2.4.4 Profil 4 .....	27
2.4.5 Profil 5 .....	28
2.4.6 Farbbestimmung (feucht).....	29
2.4.7 pH-Wert.....	29
2.4.8 Karbonatbestimmung.....	29
2.4.9 Skelettgehalt.....	29
2.5 Probenaufbereitung .....	30
2.6 Physikalische Analysen .....	30
2.6.1 Skelettgehalt.....	30
2.6.2 Lagerungsdichte .....	31
2.7 Chemische Analyse .....	31
2.7.1 Karbonatbestimmung.....	31
2.7.2 pH-Wert.....	31
2.7.3 C/N-Elementaranalyse .....	32
2.8 Holzkohle .....	32
2.9 Holzkohleanalyse .....	33
2.9.1 Holzkohlen-Taxa-Bestimmung .....	33
2.9.2 <sup>14</sup> C-Altersbestimmung.....	37

---

3.	Resultate.....	39
3.1	Feldarbeit.....	39
3.1.1	Profil 1 .....	39
3.1.2	Profil 2 .....	39
3.1.3	Profil 3 .....	40
3.1.4	Profil 4 .....	41
3.1.5	Profil 5 .....	42
3.2	Physikalische Analysen .....	43
3.2.1	Skelettgehalt.....	43
3.2.2	Lagerungsdichte .....	44
3.3	Chemische Analysen .....	45
3.3.1	Karbonatbestimmung.....	45
3.3.2	pH-Wert.....	45
3.3.3	Totaler Kohlenstoffgehalt.....	46
3.3.4	C/N-Verhältnis.....	47
3.4	Holzkohlenanalyse .....	49
3.4.1	Holzkohlen-Taxa-Bestimmung .....	49
3.4.2	<sup>14</sup> C-Altersbestimmung .....	51
4.	Diskussion.....	55
4.1	Probenahme .....	55
4.2	Kohlenstoff im Boden .....	56
4.3	Holzkohleanalysen .....	58
4.3.1	Holzkohlen-Taxa-Bestimmung .....	58
4.3.2	<sup>14</sup> C-Altersbestimmung .....	58
4.4	Vegetationsgeschichte.....	58
5.	Schlussfolgerung .....	62
6.	Literatur.....	63
	Dank.....	68
	Persönliche Erklärung.....	69

## Abbildungen

Abb. 1 Präparierter Platz einer Holzköhlerei .....	8
Abb. 2: Herstellung von Holzkohle .....	9
Abb. 3: Lage des Untersuchungsgebietes .....	12
Abb. 4: Lage der fünf Profilstandorte.....	13
Abb. 5: Geologisch-tektonische Karte der südlichen Schweiz. ....	14
Abb. 6: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 1 .....	24
Abb. 7: Profil 1 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizontenteilung.....	24
Abb. 8: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 2 .....	25
Abb. 9: Profil 2 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizontenteilung.....	25
Abb. 10: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 3 .....	26
Abb. 11: Profil 3 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizontenteilung.....	26
Abb. 12: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 4 .....	27
Abb. 13: Profil 4 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizontenteilung.....	27
Abb. 14: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 5 .....	28
Abb. 15: Profil 5 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizontenteilung.....	28
Abb. 16: Black carbon Kontinuum und Struktur .....	32
Abb. 17: Charakteristische Merkmale von Nadel- und Laubholz.....	34
Abb. 18: Querschnittaufnahmen von Holzkohle.....	36
Abb. 19: Skelettmaterial.....	43
Abb. 20: Lagerungsdichte.....	44
Abb. 21: pH-Wert .....	45
Abb. 22: Totalkohlenstoffgehalt.....	46
Abb. 23: Totalkohlenstoffgehalt und Totalstickstoffgehalt .....	47
Abb. 24: C/N-Verhältnis .....	48
Abb. 25: Verhältnis Holzkohle zum Gesamtprobengewicht .....	49
Abb. 26: Querschnitt, Tangentialschnitt und Radialschnitt der Buche.....	50
Abb. 27: Holzarten der Holzkohlestücke zum Gesamtprobengewicht .....	50
Abb. 28: Zeitintervalle der Kalenderjahre der Holzkohlestücke für Profil 2.....	54
Abb. 29: Zeitintervalle der Kalenderjahre der Holzkohlestücke für Profil 5.....	54

## Tabellen

Tab. 1: Baumarten der Profilstandorte mit Standorteigenschaften und Höhenstufen.....	16
Tab. 2: Zeitlich Einteilung der Pollenfunde der Baumarten mit Refugialgebieten. ....	18
Tab. 3: Verbreitung der Baumarten in den Südalpen nach Zeit und Höhenstufen .....	19
Tab. 4: Angaben zum Profil 1 – Comologno .....	23
Tab. 5: Angaben zum Profil 2 – Comologno .....	24
Tab. 6: Angaben zum Profil 3 – Spruga .....	26
Tab. 7: Angaben zum Profil 4 – Spruga .....	27
Tab. 8: Angaben zum Profil 5 – Spruga .....	28
Tab. 9: Unterscheidung der Baumarten.....	35
Tab. 10: Differenzierte Unterscheidungsmerkmale der Baumarten .....	36
Tab. 11: Parameter des Profils 1 .....	39
Tab. 12: Parameter des Profils 2 .....	40
Tab. 13: Parameter des Profils 3 .....	41
Tab. 14: Parameter des Profils 4 .....	42
Tab. 15: Parameter des Profils 5. ....	42
Tab. 16: Resultate der analysierten Holzkohlestück von Profil 2.....	52
Tab. 17: Resultate der analysierten Holzkohlestück von Profil 5.....	53

## Botanische Namen

Die zweiteilige alphabetische Aufzählung beinhaltet die botanischen Namen der Baumarten und der Waldgesellschaften in deutscher und lateinischer Sprache. Es wurde für die Baumarten die botanische Nomenklatur von Burga und Perret (1998) übernommen, die ihrerseits den Schlüssel der Schul- und Exkursionsflora der Schweiz von Binz und Heitz (1990) verwendet haben. Die vorkommenden Waldgesellschaften sind danach aufgelistet und folgen der Namensgebung nach Ellenberg und Klötzli (1972).

<i>Abies alba</i>	Tanne
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Berg-Ahorn
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarz-Erle
<i>Alnus viridis</i>	Grün-Erle
<i>Betula pendula</i>	Hänge-Birke
<i>Castanea sativa</i>	Edelkastanie
<i>Corylus avellana</i>	Hasel
<i>Fagus sylvatica</i>	Buche
<i>Fraxinus excelsior</i>	Esche
<i>Hippophaë rhamnoides</i>	Sanddorn
<i>Juniperus communis</i>	Gemeiner Wacholder
<i>Larix decidua</i>	Lärche
<i>Picea abies</i>	Fichte
<i>Pinus cembra</i>	Arve
<i>Pinus mugo</i>	Aufrechte Berg-Föhre
<i>Pinus sylvestris</i>	Wald-Föhre
<i>Quercus petraea</i>	Trauben-Eiche
<i>Quercus pubescens</i>	Flaum-Eiche
<i>Quercus robur</i>	Stiel-Eiche
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	Rostblättrige Alpenrose
<i>Sorbus aucuparia</i>	Vogelbeerbaum
<i>Tilia cordata</i>	Winter-Linde
<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Heidelbeere
Abieti-Fagetum typicum	Typischer Tannen-Buchenwald
„Quercetum mixtum“	Sammelbegriff: „Eichenmischwald“
Rhododendro-Abietetum	Alpenrosen-Lärchen-Tannenwald
Vaccinio myrtilli-Abieti-Piceetum typicum	Typischer Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald

# 1. Einleitung

## 1.1 Holzköhlereien im Tessin

Bereits in der Altsteinzeit (ungefähr 1.5 Millionen Jahre vor heute) begann der Mensch das Feuer zu seinen Zwecken zu nutzen. Die menschliche Zivilisation entwickelte sich auch Dank der Nutzung des Feuers (WSL(c), 2013). Der Wald diente der Landwirtschaft als Nutzungsfläche und den Menschen als verschiedenartiger Rohstofflieferant. Waldfrüchte konnten zur Ernährung verwendet werden. Die sogenannte Brandwaldfeldwirtschaft vereinte die Forst- und Landwirtschaft seit dem Mittelalter. Rohstoffe des Waldes in Form von Energielieferanten wurden landwirtschaftlich und gewerblich genutzt. Feuer und Wald vereint in der Produktion von Holzkohle in Holzköhlereien betrifft diese Schnittstelle. Die Bauern unterhielten die gewerblich betriebenen Holzköhlereien (Bürgi und Stuber, 2003). Aus dem Feuerungsprozess hergestellte Holzkohle, wurde verwendet um Kalk, Keramik, Glas, Metalle oder Ziegel herzustellen (WSL(c), 2013).

Im Tessin gehören seit dem 12. Jahrhundert bis in die Neuzeit (Cherubini, 2010) - historischen Quellen zufolge (WSL(c), 2013) – Holzköhlereien zur Geschichte (Cherubini, 2010). Seit dem Mittelalter (1'200 – 500 BP) wurde Holzkohle im Tessin gefördert und ab dem 16. Jahrhundert nach Norditalien exportiert (WSL(a), 2013). Damit trug Holzkohle aus den Tessiner Wäldern zur Stadt-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung in Locarno oder Brissago, aber auch in Norditalien, beispielsweise in Mailand, bei. Es ist nicht gesichert (jedoch wahrscheinlich), dass auch Holzkohle vom Valle Onsernone nach Norditalien geliefert wurde (Cherubini, 2010). Auf Wasserwegen wurde die Holzkohle vom Wald in die Stadt transportiert (WSL(c), 2013). Ausgenutzt wurde, dass Holzkohle lagerfähig und transportgünstig ist (Wienhaus, 2005). Die Nachfrage war derart gross, dass die Wälder stark abgeholzt wurden (WSL(c), 2013). Bis zur Umsetzung des Eidgenössischen Forstgesetzes 1876 und der Erschliessung des deutschen Raumes durch den Gotthardtunnel 1882, wurde in den Wäldern des Tessins Holzkohle in Holzköhlereien hergestellt. Danach nahm die Nachfrage stark ab, die Holzköhlereien wurden eingestellt und der Wald konnte sich wieder erholen (WSL(a), 2013).

Die WSL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) hat sich im Tessin der Thematik der Holzköhlereien angenommen. In sechs Regionen um Bellinzona ist



ein Inventar dieser Holzkohleplätze entstanden. Im Val Morobbia, in der Nähe von Bellinzona, sind beispielsweise 347 ehemalige Holzköhlereien auf einem Gebiet von 6.1 km<sup>2</sup> durch die WSL kartographiert worden. Bis zu den heute sichtbaren Resten einer Holzköhlerei – nämlich ein ovaler, ebener Platz mit vielleicht noch einer Steinmauer (WSL(a), 2013), der Fund der Holzkohlestücke im Bodenprofil und die durch den feinen Kohlestaub schwarz gefärbte Erde (Ludemann, 2002b) – ist in Abb. 1 skizzenhaft dargestellt, wie eine Holzköhlerei entstanden ist.

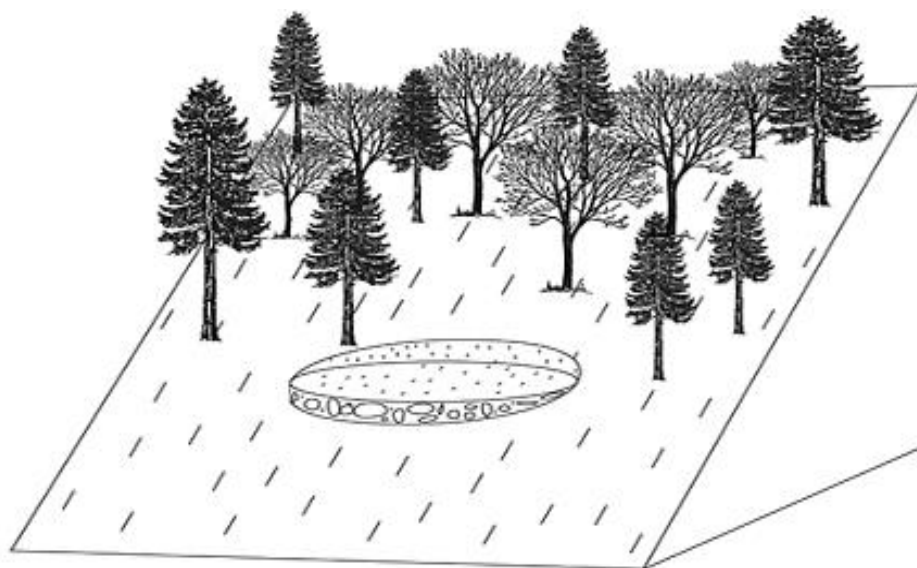


Abb. 1 Präparierter Platz für eine Holzköhlerei im Wald mit elliptischer Form und hangabwärts errichteter Steinmauer zur Abstützung der Ebene ([http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai\\_ticino/riconoscere\\_piazza\\_IT](http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai_ticino/riconoscere_piazza_IT); Zugriff: 8.3.2013).

Die Holzköhlereien sind gekennzeichnet durch eine kleine Terrasse, welche etwa fünf bis zehn Meter im Durchmesser ist und eine elliptische Form aufweist. Meist wurde gegen den Hang aufwärts abgegraben und nach unten aufgeschüttet, um die Oberfläche ebenerdig zu präparieren. Eine rudimentär errichtete Steinmauer stützt die kleine Ebene hangabwärts. In den Tessiner Tälern, wie dem Val Morobbia oder auch dem Valle Onsernone, wurden solche Holzköhlereien errichtet. (WSL(b), 2013).

Auf diesen Holzköhlereiplätzen wurde die Holzkohle hergestellt. In Abb. 2 ist die Abfolge von der Präparierung des Platzes bis zur Bestückung, Abdichtung und Verbrennung der Holzkohle aufgezeigt (WSL(d), 2013). Im Valle Onsernone ist das Platzangebot weniger grosszügig. Es konnten nicht mehrere Holzköhlereien nebeneinander gestellt werden.



Abb. 2: Herstellung von Holzkohle. Das vorbereitete Holz wird aufgeschichtet, abgedichtet und verkohlt (Duhamel du Monceau, Henry-Louis; 1761. *L'Art du Charbonnier ou manière de faire le charbon de bois*. Paris: Jean Desaint & Charles Saillant, Planche I. [http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai\\_ticino/galleria\\_immagini\\_1](http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai_ticino/galleria_immagini_1); Zugriff: 10.3.2013).

Als Nebenprodukt der Holzkohleproduktion fiel in Holzkohlemeilern Holzteer an, der aufgefangen wurde. Dieses Produkt wurde im Schiffsbau gebraucht und entstand bei der Verbrennung von harzreichen Nadelholzarten wie der Wald-Föhre (*Pinus sylvestris*), Lärche (*Larix decidua*), Arve (*Pinus cembra*) und Fichte (*Picea abies*) (Bürgi und Stuber, 2003).

Holzköhlereien waren von Menschen errichtet und mit Holz der Bäume der Umgebung bestückt worden. Dieser Eingriff in die Waldlandschaft beeinflusste die Entwicklung des Waldbestandes (Cherubini et al., 1994). Es ist nun die Frage, ob die Vegetationsgeschichte der Tessiner Wälder und vor allem des Valle Onsernone, durch Holzkohleanalysen der Holzkohle von ehemaligen Holzköhlereien aufgezeichnet werden kann. In diesem Zusammenhang liesse sich vielleicht klären, wie die Vegetation im Mittelalter ausgesehen hat und wie sie sich zur heutigen Vegetation verändert hat (Cherubini, 2010). Mit der Analyse der Holzkohle der Holzköhlereien - einerseits mit der Holzkohlen-Taxa-Bestimmung und andererseits mittels  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung - können ehemalige und rezente Zusammensetzungen der Vegetationsbestände und deren Wechsel erforscht werden (Cherubini et al., 1994). Die Wissenschaft und Analyse von verkohltem Holz wird Anthrakologie genannt (Ludemann, 2006). Die ehemaligen Holzköhlereien eignen sich für

diesen Wissenschaftszweig gut, weil sie holzreiche Horizonte zurücklassen und die Holzkohle umfangreich ist (Ludemann, 2002b). Im Gegensatz dazu vermag die Pollenanalyse zwar auch Vegetationsveränderungen aufzeigen (Burga und Perret, 1998), ist jedoch besser geeignet für lange Zeiträume und grossflächige Gebiete (Nölken, 2005). Die Analyse von Holzkohle aus Holzköhlereien lässt zudem eine Altersangabe über die Holzköhlerei zu und gibt eventuell Hinweise auf die Wirtschafts- und Entwicklungsgeschichte der Menschen (Nölken, 2005).

Mit der  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung der lokalisierten Holzkohlestücke in den Horizonten, wäre zu vermuten, dass Rückschlüsse auf die Bodenentwicklung, die Bodenmächtigkeit (Favilli et al., 2009) und das Bodenalter gezogen werden könnten (Favilli et al., 2010). Dieser Zusammenhang besteht aber nur bei ungestörtem Boden (Carcaillet, 2001). Dahinter steht die Idee, dass der zeitliche Ablauf der Bodenentwicklung abgelesen und eingeordnet werden kann (Favilli et al., 2009). Dies gilt nicht, wenn Bioturbation oder dynamische Bodenprozesse im Boden gewirkt haben (Carcaillet, 2001), was im Falle der Holzköhlereien gegeben ist (Ludemann, 2002b). Es ist möglich, dass die Holzkohle dadurch in Bodentiefen gelangt ist, die nicht desselben Alters wie dem Boden entsprechen (Carcaillet, 2001). Vielleicht kann zusammen mit bestimmten Pflanzenarten und deren zeitlichem Vorkommen im Gebiet des Bodenprofils weitere Schlüsse bezüglich des Bodenalters gewagt werden (Cherubini et al., 1994). Die Mächtigkeit des Bodens anhand der datierten Holzkohlestücke zu einem Entwicklungsalter zuzuordnen, ist durch die ablaufenden Bodenprozesse nicht sicher festzulegen (Cherubini et al., 1994). Die Entwicklung der Bodenmächtigkeit in Abhängigkeit der zugeordneten Zeit ist demzufolge nur möglich wenn der Boden nicht umgeschichtet wurde (Carcaillet, 2000).

## 1.2 Fragestellungen

Für die Holzkohleanalysen der Holzköhlereien des Valle Onsernone ergeben sich folgende Fragen, wobei die ersten vier Fragen direkt mit der Vegetation zu tun haben und die letzten beiden eventuell aus deren Antworten abgeleitet werden können.

- Kann die Vegetationsgeschichte mittels Holzkohlefunden aus Holzköhlereien rekonstruiert werden?
- Können Aussagen über die Entwicklung der Vegetation in diesem Zeitraum gemacht werden?
- Wie waren die ehemalige und die rezente Vegetation zusammengesetzt?
- Lässt sich der menschliche oder der umweltbedingte Einfluss anhand von Holzkohlestücken der Holzköhlereien auf die Vegetation zeigen?
- Können die Holzköhlereien zeitlich eingeordnet werden?
- Können indirekt durch die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung Aussagen über das Bodenalter, die Bodenmächtigkeit oder die Bodenentwicklung gemacht werden?

## 1.3 Hypothesen

Die Hypothesen sind aus den in Kapitel 1.1 gestellten Fragen abgeleitet worden:

- Die Vegetation hat sich in letzten Jahrhunderten teilweise verändert.
- Die vergangene und rezente Vegetationszusammensetzung kann aufgezeigt werden.
- Der Betrieb der Holzköhlereien kann zeitlich eingeordnet werden.
- Die Vegetation hat sich durch menschliche und umweltbedingte Einflüsse angepasst.
- Die lokalisierten Holzkohlestücke mit der Bodentiefe geben Hinweise auf das Bodenalter, die Bodenmächtigkeit und die Bodenentwicklung.

## 2. Material und Methoden

In diesem Kapitel wird der Untersuchungsstandort durch Lage, Klima, Geologie und Vegetation beschrieben. Die bisher bekannte Vegetationsgeschichte wird erläutert. Dazu gehört auch die Auswirkung von Waldbränden auf die Vegetation. Die Feldarbeit wird erläutert und die chemischen und physikalischen Analysen, die mit dem Bodenmaterial im Feld und im Labor gemacht wurden, werden vorgestellt. Zudem wird auf die Entstehung und die Eigenschaften der Holzkohle eingegangen. Die zwei Methoden, mit welcher die Holzkohle genauer untersucht wurde, werden erklärt.

### 2.1 Untersuchungsgebiet

#### 2.1.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Tessin (Schweiz), genauer im Valle Onsernone mit Comologno als einer der Ausgangsorte (Abb. 3). Dieses durch den Isorno tief eingeschnittene V-Tal, führt von Locarno aus in Ost-West-Richtung weg vom Maggiatal (map.geo.admin, 2013).



Abb. 3: Lage des Untersuchungsgebietes  
(<http://map.geo.admin.ch>, Zugriff: 13.1.2013).

Am Südhang, welcher Weideland, Busch- und Grasvegetation aufweist, sind die Dörfer angesiedelt. Der Nordhang weist fast durchgehend dichten Wald bis zur Waldgrenze auf etwa 1900 m ü. M. auf (Buffi, 2012). Comologno (46°12'13" N, 8°34'36" O, 1085 m ü. M.) und Spruga (46°12'04" N, 8°34'06" O, 1113 m ü. M.) am Ende des Tales, sind die Orte für die Feldarbeit. Die beiden Ortschaften und die fünf Profilstandorte sind in Abb. 4 markiert. Sie befinden sich am Nordhang des Waldreservates Onsernone (Riserva forestale dell' Onsernone) zwischen 915 m ü. M. und 1505 m ü. M. (map.geo.admin, 2013). Seit 2002 wurde im Valle Onsernone ein Gebiet von 781 Hektaren zu einem Waldreservat ausgeschieden (Buffi, 2012). Das bedeutet, dass auf die forstliche und landwirtschaftliche Bewirtschaftung verzichtet wird, damit die biologische Vielfalt gefördert wird und die natürlichen Abläufe in einem Wald wieder zugelassen werden (news.admin.ch, 2013).

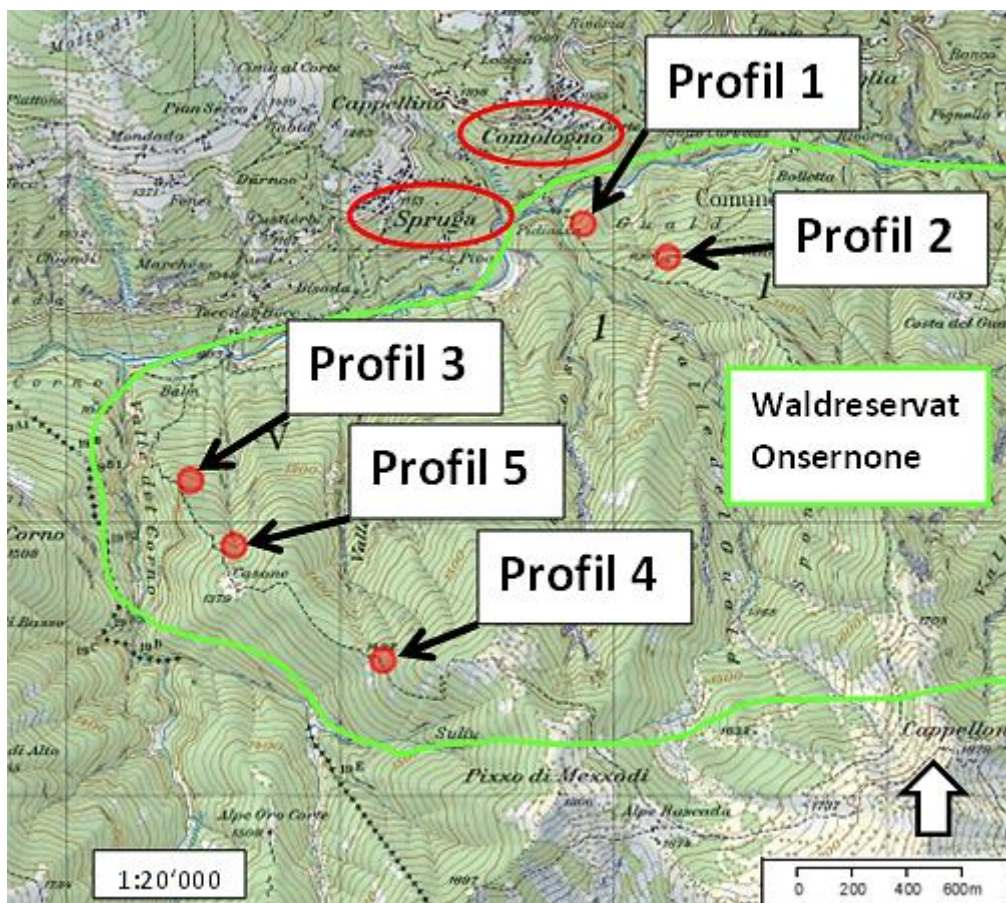


Abb. 4: Lage der fünf Profilstandorte (rot) im Waldreservat (grün) des Valle Onsernone mit den Ausgangsorten Spruga und Comologno (rot umkreist) (<http://map.geo.admin.ch>, Zugriff: 13.1.2013).

## 2.1.2 Klima

Die Alpen teilen die Schweiz in die Nord- und die Südschweiz und bewirken unterschiedliche klimatische Eigenheiten. Das Klima der Südschweiz kann als insubrisches Klima bezeichnet werden. Der Einfluss des Mittelmeeres bewirkt milde Winter. Die Jahresmitteltemperaturen sind in Abhängigkeit von der Höhenlage zwischen 5°C und 12°C. Die Jahresmittelniederschläge liegen bei 2000 mm, welche auch in der Südschweiz als Schnee fallen können. Der Föhn - vor allem der Südföhn, von Süden nach Norden wehend - bringt im Frühling und Herbst im Tessin starke Niederschläge (meteoschweiz.admin, 2013).

## 2.1.3 Geologie

Die insubrische Linie (IL) teilt in der Südschweiz die nördliche geologische Einheit - Penninikum genannt, von der südlichen geologischen Einheit, welche als Südalpin bezeichnet wird. Das Valle Onsernone, in Abb. 5 rot eingekreist, liegt nördlich der insubrischen Linie. Das Gebiet ist mit Graniten bestückt, welche teilweise als grosse Gesteinsblöcke im Gelände oberflächlich sichtbar sind (Hantke, 1991).

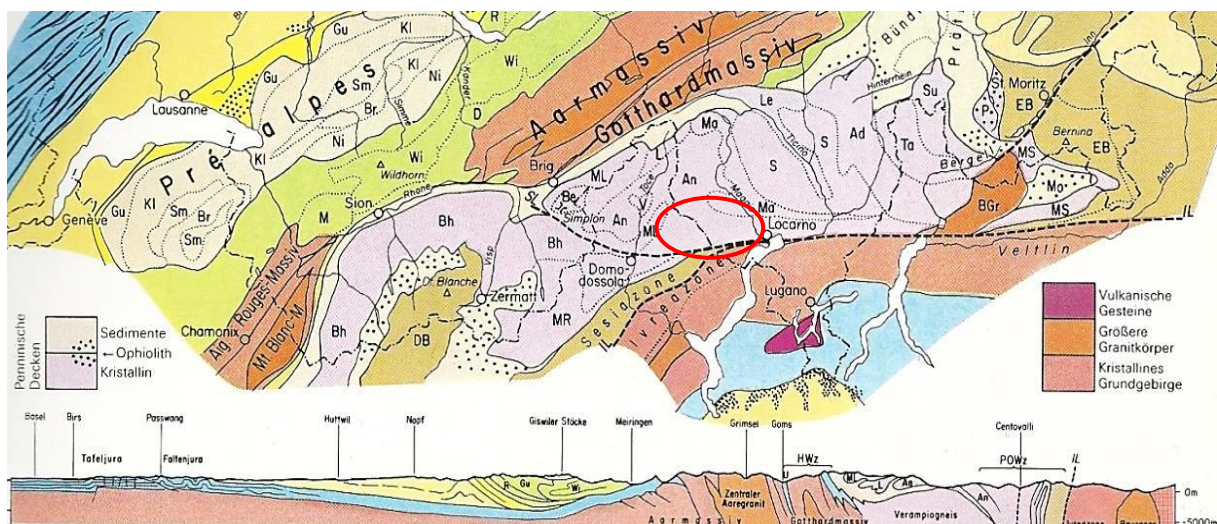


Abb. 5: Geologisch-tektonische Karte der südlichen Schweiz mit zugehörigem Profilschnitt entlang der Linie Basel-Grimsel-Domodossola. Die insubrische Linie (IL) ist als unterbrochene, schwarze Linie eingezeichnet und das Untersuchungsgebiet – das Valle Onsernone, bezeichnet durch den roten Kreis (Hantke, 1991).

#### 2.1.4 Vegetation

Die Laubmischwälder der Südschweiz werden in der kollinen Stufe (700 – 800 m ü. M.) von der Edelkastanie (*Castanea sativa*) geprägt. Ansonsten weisen sie Buche (*Fagus sylvatica*), Stiel-Eiche (*Quercus robur*), Flaum-Eiche (*Quercus pubescens*), Trauben-Eiche (*Quercus petraea*), Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Hänge-Birke (*Betula pendula*) oder Winter-Linde (*Tilia cordata*) auf (Zoller, 1960).

Das Valle Onsernone und die Standorte für die fünf Bodenprofile, liegt in der montanen Stufe (600 – 1700 m ü. M.). Die Wälder mit Edelkastanie (*Castanea sativa*) werden durch den Typischen Tannen-Buchenwald (Abieti-Fagetum typicum) abgelöst. Die Edelkastanie (*Castanea sativa*) fällt weiter ins Tal hinein aus den vorkommenden Baumarten heraus, da sie in nördlichen Expositionen bis 900 m ü. M. und in südlich exponierten Lagen bis 1050 m ü. M. vorkommt. Die vorherrschenden Arten sind Buche (*Fagus sylvatica*), Tanne (*Abies alba*), Fichte (*Picea abies*) oder auch Vogelbeerbaum (*Sorbus aucuparia*). In der darauf folgenden subalpinen Stufe (bis 1900 m ü. M.) kommen immer mehr Lärchen (*Larix decidua*), Wald-Föhre (*Pinus sylvestris*) und Arve (*Pinus cembra*) dazu (Bär, 1918). Die Arve (*Pinus cembra*) beispielsweise breitet sich in niederschlagsreichen Regionen gut aus, was in den Tälern des Tessins der Fall ist. Die Einteilung der Höhenstufen ist im Tessin etwas tiefer als in anderen alpinen Zonen der Schweiz, so dass der sonst limitierende Faktor der Temperatur erst in höheren Lagen zum Tragen kommt. So kommt die Arve (*Pinus cembra*) montan bis subalpin vor (Keller, 2004). Die Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*) und die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) sind die vorherrschenden Sträucher der montanen und subalpinen Höhenstufe (Bär, 1918).

Im Valle Onsernone ist vor allem der Nordhang des Tales, wie beschrieben, bewaldet. Der Südhang hat viele Weide- und Graslandschaften, teilweise landwirtschaftlich genutzt, aufzuweisen (Bär, 1918). Die Buschvegetation ist beispielsweise durch den Hasel (*Corylus avellana*) gekennzeichnet (Zoller, 1960). Die Waldgrenze liegt bei ungefähr 1900 m ü. M. (Bär, 1918). In Tab. 1 sind die wichtigsten Baumarten, die heute um die Profilstandorte vorkommen mit den typischen Standorten und Höhenstufen aufgelistet.



Tab. 1: Rezent vorkommende Baumarten der Profilstandorte mit ihren Standorteigenschaften und der Höhenstufen (zusammengestellt nach Burga und Perret, 1998; Bär, 1918 und Ott et al., 1997).

	Baumart	Standort	Höhenstufe
<b>NADELHOLZ</b>	<i>Abies alba</i> (Tanne)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schattenbaumart</li> <li>• Kühl-feuchtes Klima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kollin - montan - subalpin</li> </ul>
	<i>Picea abies</i> (Fichte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• winterkaltes Klima</li> <li>• jahreszeitlich verteilte Niederschläge</li> <li>• Halbschatten-Holzart, Lichtkeimer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kollin bis subalpin</li> <li>• Waldgrenze bildend</li> </ul>
	<i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Föhre)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weites Spektrum</li> <li>• Lichtbaumart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kollin - montan - subalpin</li> </ul>
	<i>Pinus cembra</i> (Arve)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontinentales Gebirgsklima</li> <li>• Bildet Waldgrenze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• montan bis subalpin</li> </ul>
	<i>Larix decidua</i> (Lärche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebirgsklima</li> <li>• Weites Spektrum</li> <li>• Pionierbaum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• montan bis alpin</li> </ul>
<b>LAUBHOLZ</b>	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schattenbaumart</li> <li>• Subatlantisches Klima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kollin bis montan</li> </ul>
	<i>Castanea sativa</i> (Edelkastanie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Submediterranes Klima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kollin</li> </ul>

Die aufgeführten Baumarten in Tab. 1 sind allenfalls bei der Holzkohlen-Taxa-Bestimmung der Holzkohlestücke zu erwarten. Die mit jungem <sup>14</sup>C-Alter angegebenen Holzkohlestücke sollten zu diesen Baumarten zugeordnet werden können. Die älter datierten Holzkohlestücke sind eventuell vereinbar mit der Vegetationsgeschichte, die im Kapitel 2.2 erläutert wird und können auch anderen Baumarten zugewiesen werden, die früher vorgekommen sind.

## 2.2 Vegetationsgeschichte

Nach dem Maximum der letzten Eiszeit (24'000 – 21'000 BP) wurde durch den Gletscherrückzug die Alpenlandschaft geformt. Die spätglazialen klimatischen Veränderungen (13'000 - 10'000 BP) beeinflussten die Vegetationszusammensetzung (Favilli et al., 2010). Im Val Piora (Tessin), welches in Höhen von 1800 - 2000 m ü. M. liegt, beobachtete Zoller (1960) mittels Pollenanalysen bereits, dass die Vegetationsentwicklung ab 9'000 BP mit der Enteisung einhergeht (Stapfer, 1991). Lärche (*Larix decidua*), Wald-Föhre (*Pinus sylvestris*), Tanne (*Abies alba*) und Hänge-Birke (*Betula pendula*) besiedelten die südlichen Alpenräume nach den Pionierpflanzen der Steppen- und Tundravegetation, die gleich nach der Eiszeit auftraten (Burga, 1988). Die Vorwaldphase im Tessin ist

charakterisiert von Gemeinem Wacholder (*Juniperus communis*) und Sanddorn (*Hippophaë rhamnoides*) im Postglazial (Burga und Perret, 1998).

Die Vegetationsentwicklung kann anhand von Pollenfunden rekonstruiert und in Pollendiagrammen (Burga und Perret, 1998), welches nach Hantke (1991): „profilmässig aufgesammelte und statistisch ausgewertete Abfolgen sind“ (Hantke, 1991), dargestellt werden (Burga und Perret, 1998). Verschiedene Vegetationsentwicklungsphasen konnten dank Pollendiagrammen mit klimatischen Veränderungen zusammengesetzt werden (Stapfer, 1991).

Als nacheiszeitliche (ab 10'000 BP bis heute) Refugialgebiete für den Alpenraum und die europäischen Baumarten galten bislang Italien, Iberien und der Balkan. Die nahen Gebiete zum Alpenbogen sind ebenso für die Wiederbesiedlung verantwortlich (Gugerli und Sperisen, 2010). In der südlichen Schweiz sind ab dem Holozän (ab 10'000 BP bis heute), höhere Mitteltemperaturen und geringere Temperaturschwankungen verantwortlich für das Auftreten von „Eichenmischwäldern“ („*Quercetum mixtum*“) im Präboreal (10'000 – 9'000 BP). Hasel (*Corylus avellana*) konnte sich während des Boreals (9'000 – 8'000 BP) dank zunehmenden Niederschlägen etablieren. Die Buche (*Fagus sylvatica*), Flaum-Eiche (*Quercus pubescens*), Trauben-Eiche (*Quercus petraea*), Winter-Linde (*Tilia cordata*) und Bergulme (*Ulmus glabra*) folgten im Älteren Atlantikum (8'000 – 6'000 BP). Im Jüngeren Atlantikum (6'000 – 5'000 BP) wurden erstmals Pollen von Tannen (*Abies alba*) und Fichte (*Picea abies*) gefunden (Burga, 1988).

Wichtige Baumarten für das Valle Onsernone mit ihren Refugialgebieten sind in Tab. 2 aufgelistet und sind für die Holzkohleanalyse von Bedeutung. Sie kommen an den Profilstandorten im Valle Onsernone vor (siehe Kapitel 2.4) und haben sich in den beschriebenen Zeiträumen, vom Boreal bis zum Jüngeren Subatlantikum (9'000 – 500 BP) im Tessin ausgebreitet. Durch die Altersangabe der ersten Pollenfunde und durch die maximale Ausbreitung ist die Einführung und Ausbreitung dieser Baumarten zeitlich zugeordnet.

Tab. 2: Ausgewählte Baumarten nach erstmaligem und häufigstem Vorkommen in den Südalpen, rekonstruiert anhand von Pollenfunden (zusammengestellt nach Burga und Perret, 1998) wie auch der Refugialgebiete (Gugerli und Sperisen, 2010).

Baumart	Erste Pollenfunde	Häufigste Pollenfunde	Refugialgebiete
<i>Abies alba</i> (Tanne)	9'000 BP	9'000 – 5'000 BP	Nordapennin, südwestliche Seealpen, Balkan
<i>Picea abies</i> (Fichte)	8'000 BP	6'000 – 1'000 BP	Karpaten, östlicher und nördlicher Alpenraum
<i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Föhre)	9'000 BP	9'000 – 6'000 BP	Italien, Ostalpen
<i>Pinus cembra</i> (Arve)	9'000 BP	9'000 – 5'000 BP	Südalpen
<i>Larix decidua</i> (Lärche)	8'000 BP	Kein deutliches Maximum	Gesamter Alpenraum
<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	6'000 BP	5'000 – 1'000 BP	Ostalpen, Westalpen
<i>Castanea sativa</i> (Edelkastanie)	3'000 BP	2'500 – 500 BP	Spanien, Italien

Die Buche (*Fagus sylvatica*) breitete sich im Subboreal (5'000 – 2'500 BP) aus. Edellaubhölzer bildeten ausgedehnte Laubmischwälder. Buche (*Fagus sylvatica*), Tanne (*Abies alba*), Fichte (*Picea abies*) oder Lärche (*Larix decidua*) bildeten je nach Höhenstufe miteinander Mischwälder (Burga und Perret, 1998). Der menschliche Einfluss auf die Vegetation nahm in dieser Zeit zu (Burga, 1988). Die archäologischen Zeitabschnitte der Bronze- und der Eisenzeit (3'800 – 2'000 BP) fiel mit dem Subboreal (5'000 – 2'500 BP) zusammen (Burga und Perret, 1998). In dieser Phase wurde die Bevölkerung sesshaft und der Druck auf den Wald immer grösser (Gugerli und Sperisen, 2010). Die Landwirtschaft nutzte Produkte der Wälder und prägte dadurch die nächsten Zeitperioden (Tinner et al., 1999). So kann die Verbreitung der Edelkastanie (*Castanea sativa*) während der Römerzeit (2'000 – 1'600 BP) als Beispiel angesehen werden, wie sich eine Baumart im Tessin während des Subatlantikums (2'500 BP - heute) durch anthropogenen Einfluss verbreiten kann (Conedera et al., 2009). Die Edelkastanie (*Castanea sativa*) wurde aus den Wäldern des Tessins seit mehr als zwei Jahrtausenden als Nahrungs- und Holzquelle genutzt (Hajdas et al., 2007). Valsecchi et al. (2010) rekonstruierten an zwei Standorten in der Südschweiz die Vegetationsgeschichte im späten Holozän (5'000 BP bis heute). Segna im Centovalli auf 1162 m ü. M. und Piano im Maggialtal auf 1439 m ü. M. sind Untersuchungsorte, die vergleichbar mit dem Valle Onsernone sind. Die Buche ging 1'600 – 1'700 AD zurück und die Vegetation wechselte 450 AD in Segna und 1'500 AD in Piano von einem Mischwald mit Tanne (*Abies alba*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Fichte (*Picea abies*) zu einem Typischen Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*). Beide Vegetationsveränderungen wurden durch den Menschen

begünstigt (Valsecchi et al., 2010). Die Nutzung der Wälder ging auch im Mittelalter (1'200 – 500 BP) weiter (Burga, 1988). Die fortlaufende Geschichte des Menschen ist im Wechsel mit den Umweltbedingungen zu sehen. Die anthropogene Zunahme der Landnutzung geht einher mit warmen klimatischen Bedingungen (Tinner et al., 2004). Die Artenvielfalt des Waldes ist durch menschlichen Einfluss abnehmend. Die Tanne (*Abies alba*) beispielsweise ist sehr empfindlich auf anthropogene Störungen. Die Biodiversität nach genutztem Land, kann hingegen zunehmen (Valsecchi et al., 2010). Mitte des 20. Jahrhundert folgten wieder die natürlichen Waldgesellschaften mit Winter-Linde (*Tilia cordata*), Flaum-Eiche (*Quercus pubescens*), Trauben-Eiche (*Quercus petraea*), Hänge-Birke (*Betula pendula*) oder Bergulme (*Ulmus glabra*), weil die landwirtschaftliche Nutzung zurückging (Tinner et al., 1999). Die sekundäre Bewaldung geschah auch wenn die Klimabedingungen schlecht waren und landwirtschaftlich genutzte Flächen aufgegeben werden mussten (Tinner et al., 2004). Da die Vegetationsgeschichte im Hinblick auf die Holzkohlefunde in den Köhlereien wichtig ist, gibt die zusammenfassende Darstellung der Tab. 3 ab dem Subboreal (5'000 – 2'500 BP), einen Überblick zur Verbreitung der Gehölze in den Südalpen. In dieser Auflistung sind die wichtigsten Baumarten zusätzlich nach der Höhenstufe eingeteilt (Burga und Perret, 1998).

Tab. 3: Verbreitung der Baumarten in den Südalpen nach zeitlichen Aspekten und nach Höhenstufen (zusammengestellt nach Burga und Perret, 1998).

Zeit [Jahre BP]	Höhenstufe	Baumart
Älteres/Jüngerer Subatlantikum 2'500 BP - heute	kollin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Quercus pubescens</i> (Flaum-Eiche), <i>Quercus petraea</i> (Trauben-Eiche), <i>Betula pendula</i> (Hänge-Birke), <i>Fagus sylvatica</i> (Buche), <i>Alnus glutinosa</i> (Schwarz-Erle), <i>Castanea sativa</i> (Edelkastanie)</li> </ul>
	montan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Betula pendula</i> (Hänge-Birke), <i>Fagus sylvatica</i> (Buche), <i>Alnus glutinosa</i> (Schwarz-Erle), <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>• Teilweise: <i>Ulmus glabra</i> (Bergulme), <i>Tilia cordata</i> (Winter-Linde), <i>Acer pseudoplatanus</i> (Berg-Ahorn)</li> </ul>
	subalpin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Picea abies</i> (Fichte), <i>Larix decidua</i> (Lärche), <i>Pinus mugo</i> (Aufrechte Berg-Föhre), <i>Alnus viridi</i> (Grünerle)</li> <li>• Teilweise: <i>Abies alba</i> (Tanne), <i>Pinus cembra</i> (Arve)</li> </ul>
Subboreal 5'000 - 2'500 BP	kollin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Quercus pubescens</i> (Flaum-Eiche), <i>Quercus petraea</i> (Trauben-Eiche), <i>Betula pendula</i> (Hänge-Birke), <i>Fagus sylvatica</i> (Buche)</li> </ul>
	montan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Betula pendula</i> (Hänge-Birke), <i>Fagus sylvatica</i> (Buche), <i>Alnus glutinosa</i> (Schwarz-Erle), <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>• Teilweise: <i>Ulmus glabra</i> (Bergulme), <i>Tilia cordata</i> (Winter-Linde), <i>Acer pseudoplatanus</i> (Berg-Ahorn)</li> </ul>
	subalpin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Picea abies</i> (Fichte), <i>Larix decidua</i> (Lärche), <i>Pinus mugo</i> (Aufrechte Berg-Föhre), <i>Alnus viridi</i> (Grünerle)</li> <li>• Teilweise: <i>Abies alba</i> (Tanne), <i>Pinus cembra</i> (Arve)</li> </ul>

Die Ausgangsorte zu den Profilen im Valle Onsernone befinden sich in der kollinen Stufe und die ehemaligen Holzköhlereien, die begraben wurden, sind in der montanen Stufe. Die subalpine Stufe ist ebenfalls eingefügt, da der höchste Standort nicht unweit tiefer ist. Die wichtigen Baumarten für diese Arbeit sind in Kapitel 2.1.4 und in diesem Kapitel erwähnt. In Tab. 1 bis Tab. 3 ist dargestellt, was diese Arten ausmacht und wie sie bezüglich der Vegetationsentwicklung in den Südalpen einzuordnen sind. Der Zeitrahmen kann durch die Suche nach Holzkohlestücken in Holzköhlereien und den daraus gewonnen Altern aus  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung ab dem Subboreal (ab 5000 BP) bis heute eingegrenzt werden.

### 2.3 Waldbrände

In der Schweiz ist die Alpensüdseite am meisten von Feuerereignissen betroffen (Tinner et al., 2005). Die klimatischen Bedingungen dieser Region ermöglichen dies: Feuer sind in Gebieten mit saisonaler Trockenheit häufiger. Die Topografie spielt bezüglich der Ausbreitungsgeschwindigkeit und der betroffenen Flächengrösse eine Rolle. Montane, steile und zerfurchte Gebiete, wie das Valle Onsernone, sind kleinräumiger betroffen. Nadelholzwälder mit viel Streuauflage bergen zudem grösseres Feuerrisiko (Schweingruber, 1996). Nicht nur in der südlichen Schweiz, sondern weltweit veränderte das Feuer die Vegetationsdecke (Berli, 1996) durch natürliche Ursachen wie Blitzschlag (Burga, 1979) oder anthropogene Beeinflussungen (Tinner et al., 2005) wie Rodungen oder landwirtschaftliche Nutzungen (Burga, 1979). Hajdas et al. (2007) fanden durch  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen von Holzkohle in den Südalpen heraus, dass Feuer im Spätglazial (13'000 - 10'000 BP) und im Holozän (ab 10'000 BP bis heute) durch menschliche und natürliche Ursachen, Auswirkungen auf den Wald hatten (Hajdas et al., 2007). In der Schweiz begannen die menschlichen Eingriffe auf die Vegetation in tieferen Lagen ab 7'000 BP (Neolithikum) und in höheren Lagen ab 4'500 BP (Spätneolithikum) durch Waldrodungen, Herrichten von Weideland oder mit dem Beginn von Ackerbau (Burga und Perret, 1998). Im Tessin konnte nachgewiesen werden, dass durch massive Waldnutzung, die Arve (*Pinus cembra*) fast ganz verschwand (Keller, 2004). Mit zunehmender Bevölkerung wurde die Nutzung des Waldes und der Weiden forciert. Der Waldbestand veränderte sich nicht nur durch die Holznutzung, sondern auch durch die Landwirtschaft (Burga und Perret, 1998). Die Häufigkeit der Waldbrände und die Fläche, die durch Waldbrände betroffen war, nahmen zu. (Tinner et al., 2005).

Pollen- und Holzkohleanalysen dienen zum Nachweis menschlicher und natürlicher Beeinflussungen (Burga und Perret, 1998). Tinner et al. (1999) konnten durch Holzkohleuntersuchungen am Lago di Origlio nachweisen, dass Waldbrände mit dem Rückgang von Pollen einhergehen und zeigen, dass die Vegetation beeinflusst wird. Die Holzkohlefunde nehmen mit kaltem, feuchtem Klima ab, wenn der Wald nicht mehr von so vielen Waldbränden bedroht ist (Tinner et al., 1999). Die paläoökologischen Untersuchungen einer Region über lange Zeiträume, welche die Rekonstruktion der Feuer- und Ökologiegeschichte in erwähntem Gebiet beinhalten, wurden weitergeführt und zeigen, dass die anthropogenen Feuer Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Vegetation haben (Conedera und Tinner, 2010). Die natürliche und ursprüngliche Vegetationszusammensetzung verändert sich (Tinner et al., 2005). Bestände von feuerempfindliche Baumarten wie Tanne (*Abies alba*) oder Arve (*Pinus cembra*) gingen vor 4'400 v. Chr. zurück (Conedera und Tinner, 2010) und andere Arten wie Hasel (*Corylus avellana*) oder Schwarz-Erle (*Alnus glutinos*) nahmen zu. Allgemein nimmt die Biodiversität durch Waldbrände ab, wie die Pollenuntersuchungen am Lago di Origlio zeigten (Tinner et al., 1999). Mit der Kastanie (*Castanea sativa*) als Holz- und Früchtelieferant, gingen die Brandrodungen zum Schutz dieser Baumart um 150 n. Chr. im Tessin zurück (Tinner et al., 2005). Bei der Aufarbeitung der Feuergeschichte muss beachtet werden, dass die Holzkohleproduktion durch Feuer keine zeitliche Regelmässigkeit hat, aber grosse Holzkohlemengen hervorgehen (Patterson et al., 1987).

Die Auswirkungen von Waldbränden auf die Vegetation haben auch positive Seiten. Die Veränderung der Vegetation durch Lichtungen ermöglichen, dass sich neue oder verdrängte Pflanzenarten etablieren können (Berli, 1996). Innerhalb von 20 Jahren ist ein von Waldbrand betroffenes Gebiet wieder aufgeforstet (Schweingruber, 1996). Im Tessin zeigen allerdings Untersuchungen von Delarze et al. (1992) eine längerfristige Abnahme der Artenvielfalt (Berli, 1996). Die Verarmung der Baumarten der Wälder der Südschweiz geht über Jahrtausende (Conedera und Tinner, 2010). Eine zusätzlich positive Begleiterscheinung durch Feuer ist die Bekämpfung von Schädlingen wie Pilzen, Insekten oder Misteln (Schweingruber, 1996).

## 2.4 Feldarbeit

Vorgängig wurden auf einer Rundwanderung von Comologno - Alpe Lombardone - Alpe Ruscada - Casone - Spruga die Holzköhlereien entlang des Wanderweges gesucht (Abb. 4). Es ist nur eine Holzköhlerei des Waldreservates Onsernone kartiert und zwar diejenige auf dem Weg von Comologno zur Schutzhütte Pianone (Profil 2). Nach den beschriebenen Eigenschaften der Holzköhlereien konnten diese auf der Besichtigung gefunden und markiert werden. Zur Sicherheit wurde mit dem Spaten in der Mitte der Holzköhlerei jeweils eine oberflächliche Probe genommen und nach Holzkohle untersucht. Es ist nicht auszuschliessen, dass es weiter vom Weg abgelegen noch Holzköhlereien gibt. In einem Waldreservat ist es aber untersagt, den Weg zu verlassen. Zudem ist das Gebiet neben dem Weg sehr steil, unwegsam und gefährlich.

Die Feldarbeit im Valle Onsernone wurde in zwei Wochen im August 2012 durchgeführt. Es sind fünf Profile ausgehoben worden (Abb. 4). Zwei Profile wurden gegenüber Comologno (Profil 1 und 2) und drei am Gegenhang von Spruga (Profil 3 - 5) aus gegraben. Das Profil wurde in der Mitte der Holzköhlerei gegraben. Die Profiltiefe zeigt die Tiefe des Ausgangsgesteins und ist bei jedem Profil unterschiedlich. Die ungefähre Profilfläche beträgt  $1 \text{ m}^2$ . Teilweise war die Durchwurzelung sehr stark und der Skelettanteil sehr gross. Durch den anthropogenen Einfluss, sind die Bodenprofile alle gestört und entsprechen keiner gängigen Horizontabfolge. Die Beschreibung der Bodenprofile dient zur Standortbeschreibung. Die Einteilung der Böden wurde nach dem internationalen Standard der World Reference Base (WRB) vorgenommen.

Die standortkundliche Ansprache der Vegetation wurde nach Ott et al., 1997 gemacht. Das Valle Onsernone gehört in der geografischen Gliederung zu den südlichen Randalpen mit Fichte (*Picea abies*). Die Fichtenverbreitung nach Süden endet ungefähr beim Valle Onsernone. In der montanen Höhenstufe herrscht die Buche (*Fagus sylvatica*) vor, begleitet von Tanne (*Abies alba*) und Lärche (*Larix decidua*). Edelkastanie (*Castanea sativa*) und Niederwald dominieren die montane und vor allem die kolline Stufe und zeigen den anthropogenen Einfluss. In der montanen Höhenstufe gibt es Typischen Tannen-Buchenwald (Abieti-Fagetum typicum) und hochmontan den Typischen Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald (Vaccinio myrtilli-Abieti-Piceetum typicum) mit Lärche (*Larix decidua*). Das Silikatgestein als Ausgangsgestein macht den Boden sauer. Typische Zeigerpflanze ist zum

Beispiel die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*). Der Standortstyp im Valle Onsernone ist ein alpenrosenreicher Lärchen-Tannenwald (*Rhododendro-Abietetum*) mit wenig Fichte (*Picea abies*) (Ott et al., 1997). Im Feld wurde das Profil mit dem Pinsel gereinigt und von Wurzeln befreit. Die Horizontabfolge wurde eingeteilt, ausgemessen und zusammen mit der Ansprache auf einem Profilblatt eingetragen. Direkt im Feld wurden die ersten Analysen (Farbbestimmung, pH-Wert, Karbonatbestimmung und Skelettgehalt) für jeden Horizont der Profile vorgenommen. Für die Lagerungsdichte (scheinbare Dichte) wurden pro Horizont und Profil zwei Proben mit dem Stechzylinder herausgestochen und in beschriftete Plastiksäcke gefüllt. Die Proben für das C/N-Verhältnis, den pH-Wert und die Holzkohlebestimmung wurden für die weiteren Analysen im Labor herausgeholt, in Plastiksäcke verpackt und beschriftet. Die Durchführung der Feldarbeit und der Bodenanalysen wurde nach der dritten Auflage der „Klassifikation der Böden der Schweiz“ der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS) gemacht (Brunner et al., 2008). Bereits im Feld wurden gut erhaltene und eindeutig erkennbare Holzkohlestücke herausgelesen und separat verpackt.

#### 2.4.1 Profil 1

Das Profil 1 liegt unweit des Dorfes Comologno, ist das tiefst gelegene der fünf Profile und ist am nordwestlich ausgerichteten Hang, sehr nahe am Isorno. Es ist stark anthropogen geprägt. In Tab. 4 ist die Ansprache zu Profil 1 zusammengefasst.

Tab. 4: Angaben zum Profil 1 – Comologno

Flurbezeichnung	Comologno/Pianone	Koordinaten	687860/117087
Höhe	915 m ü. M.	Neigung/Exposition	30°/NW
Jahresmitteltemperatur	7°C	Jahresmittelniederschlag	2000 mm
Ausgangsgestein	Granit, silikatisch	Wasserhaushalt	Ungehinderte Sickerung
Lagebeziehung	Holzköhlerei im Wald	Waldtyp	Mischwald
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>○ <i>Fagus sylvatica</i> (Buche)</li> <li>○ <i>Corylus avellana</i> (Hasel)</li> <li>○ <i>Betula pendula</i> (Hänge-Birke)</li> </ul>	Deckungsgrad	70 %

Die Funde der Holzkohlestücke in den verschiedenen Horizonten weisen auf eine Holzköhlerei hin. Die aktuelle Vegetation ist ein Typischer Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*) mit vereinzelt Hänge-Birke (*Betula pendula*). Die Buschvegetation ist vorwiegend Hasel (*Corylus avellana*). Der Deckungsgrad beträgt 70 %. Die Bodenvegetation besteht weitgehend aus Gräsern.



Die Umgebung von Profil 1 ist in Abb. 6 zu erkennen. Die typische Mauer auf der Hangseite zur Abstützung gibt äusserlich den Hinweis auf eine Holzköhlerei. Die Abb. 7 zeigt das Profil 1 mit der Horizontenteilung, wie sie im Feld vorgenommen wurde. In der obersten Schicht ist die Schwarzfärbung auszumachen, die auf grossen Anteil an Holzkohle hinweist. Die Profiltiefe geht bis 90 cm.



Abb. 6: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 1 (Foto: Judith Maurer, 11.8.2012).

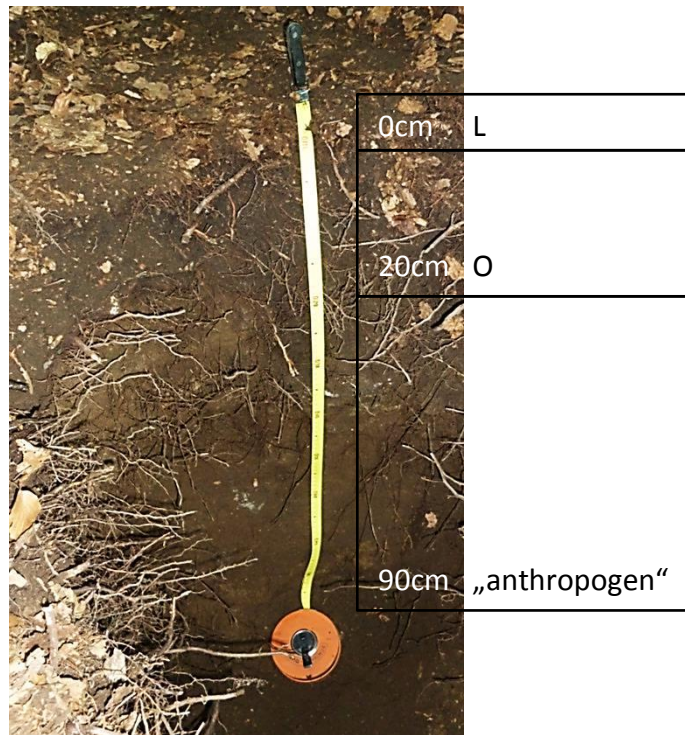


Abb. 7: Profil 1 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizontenteilung (Foto: Judith Maurer, 11.8.2012).

## 2.4.2 Profil 2

Die Lage vom nächsten Profil ist wiederum am Nordhang gegenüber Comologno. Das Profil 2 liegt höher und ist ebenfalls anthropogen geprägt. Tab. 5 zeigt die Zusammenfassung der Ansprache zu Profil 2.

Tab. 5: Angaben zum Profil 2 – Comologno

Flurbezeichnung	Comologno/Pianone	Koordinaten	688181/116957
Höhe	1060 m ü. M.	Neigung/Exposition	37°/N
Jahresmitteltemperatur	6°C	Jahresmittelniederschlag	1900 mm
Ausgangsgestein	Granit, silikatisch	Wasserhaushalt	Ungehinderte Sickerung
Lagebeziehung	Holzköhlerei im Wald, am Wanderweg	Waldtyp	Mischwald
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>○ <i>Fagus sylvatica</i> (Buche)</li> </ul>	Deckungsgrad	70 %

Die Holzkohlefunde sprechen für eine Holzköhlerei. Rezent kommt ein Typischer Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*) mit Deckungsgrad von 70 % vor. Eine Bodenbedeckung ist nicht vorhanden.

Diese ehemalige Holzköhlerei (Abb. 8) liegt direkt neben einem Wanderweg. Die Steinmauer ist schon ziemlich zerfallen. Die Ansicht lässt nicht eindeutig eine Holzköhlerei vermuten. Mit der Spatenprobe konnte die Holzköhlerei eindeutig als solche identifiziert werden. In Abb. 9 ist das Profil 2 mit der Horizontabfolge zu sehen. Die Profiltiefe beträgt 85 cm. Die Holzkohlefunde sind in den obersten Horizonten zahlreich.



Abb. 8: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 2 (Foto: Judith Maurer, 10.8.2012).

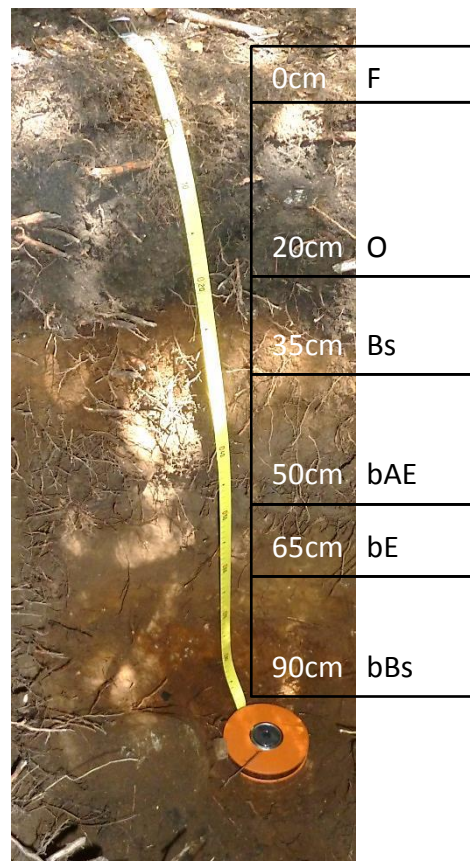


Abb. 9: Profil 2 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizonteinteilung (Foto: Judith Maurer, 10.8.2012).

### 2.4.3 Profil 3

Der Ausgangspunkt zu Profil 3 ist Spruga und die Angaben zum Profil 3 sind in Tab. 6 zusammengefasst.

Tab. 6: Angaben zum Profil 3 – Spruga

Flurbezeichnung	Spruga/Casone	Koordinaten	686424/116150
Höhe	1195 m ü. M.	Neigung/Exposition	25°/N
Jahresmitteltemperatur	5°C	Jahresmittelniederschlag	1800 mm
Ausgangsgestein	Granit, silikatisch	Wasserhaushalt	Ungehinderte Sickerung
Lagebeziehung	Holzköhlerei im Wald, Hanglage, Terrasse am Wanderweg	Waldtyp	Nadelwald
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>○ <i>Rhododendron ferrugineum</i> (Rostblättrige Alpenrose)</li> <li>○ <i>Vaccinium myrtillus</i> (Heidelbeere)</li> </ul>	Deckungsgrad	50 %

Diese ehemalige Holzköhlerei weist in jedem, vor allem im obersten Horizont des Profils, Holzkohle auf. Die Vegetation ist vor allem durch Tanne (*Abies alba*) geprägt. Der Deckungsgrad liegt bei 50 %. Die Buschvegetation wird durch Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*) und Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) gebildet. Die Holzköhlerei (Abb. 10) ist ein Beispiel für einen gut erhaltenen Köhlerplatz mit hangseitiger Mauer. Profil 3 wird in Abb. 11 gezeigt. Die Profiltiefe ist 85 cm bis zum Ausgangsgestein.



Abb. 10: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 3 (Foto: Judith Maurer, 16.8.2012).

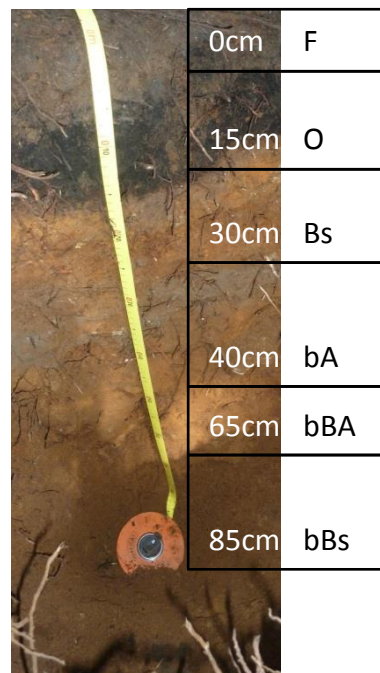


Abb. 11: Profil 3 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizonteinteilung (Foto: Judith Maurer, 16.8.2012).

#### 2.4.4 Profil 4

Die Ansprache für Profil 4 ist in Tab. 7 dargestellt. Spruga ist wiederum Ausgangspunkt zu diesem Profilstandort. Es ist das höchst gelegene Profil am nordwestlich ausgerichteten Hang gegenüber Spruga.

Tab. 7: Angaben zum Profil 4 – Spruga

Flurbezeichnung	Spruga/Casone	Koordinaten	687126/115496
Höhe	1505 m ü. M.	Neigung/Exposition	32°/W
Jahresmitteltemperatur	4°C	Jahresmittelniederschlag	1600 mm
Ausgangsgestein	Granit, silikatisch	Wasserhaushalt	Ungehinderte Sickerung
Lagebeziehung	Holzköhlerei auf Terrasse im Wald, Hanglage, am Wanderweg	Waldtyp	Mischwald
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>○ <i>Fagus sylvatica</i> (Buche)</li> </ul>	Deckungsgrad	50 %

Holzkohle wurde vor allem im obersten Horizont gefunden. Somit ist der Standort sicher eine Holzköhlerei. Der Typische Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*) mit einem Deckungsgrad von 50 %, ist ohne eigentliche Busch- oder Bodenvegetation, vorhanden. Die Holzköhlerei, in Abb. 12 gezeigt, weist eine Terrasse auf. Die Abstützung mittels Steinmauer fehlt jedoch gänzlich. Die Abb. 13 zeigt das Profil 4. Die starke Durchwurzelung behindert die Probeentnahme. Die Holzkohle ist farblich gut zu erkennen. Das Profil konnte bis 80 cm gegraben werden.



Abb. 12: Ansicht auf die Holzköhlerei zu Profil 4 (Foto: Judith Maurer, 16.8.2012).

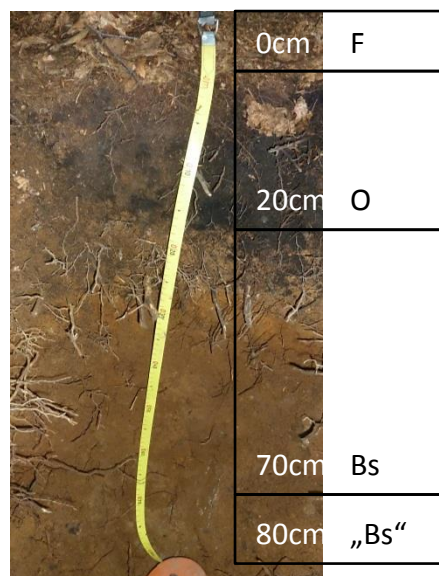


Abb. 13: Profil 4 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizonteinteilung (Foto: Judith Maurer, 16.8.2012).

### 2.4.5 Profil 5

Das Profil 5 ist bezüglich der Höhenlage in der Mitte der beiden vorherig beschriebenen Profile. Es ist von Spruga aus erreichbar und in Tab. 8 zusammenfassend erläutert.

Tab. 8: Angaben zum Profil 5 – Spruga

Flurbezeichnung	Spruga/Casone	Koordinaten	686582/115912
Höhe	1310 m ü. M.	Neigung/Exposition	10°/N
Jahresmitteltemperatur	4.5°C	Jahresmittelniederschlag	1700 mm
Ausgangsgestein	Granit, silikatisch	Wasserhaushalt	Ungehinderte Sickerung
Lagebeziehung	Holzköhlerei auf Terrasse im Wald, leichte Hanglage, am Wanderweg	Waldtyp	Mischwald
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Abies alba</i> (Tanne)</li> <li>○ <i>Fagus sylvatica</i> (Buche)</li> </ul>	Deckungsgrad	70 %

Klarheit, dass es eine Holzköhlerei ist, gibt die gefundene Holzkohle pro Horizont. Der Typische Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*) ist ohne viel Busch- oder Bodenvegetation rezent zu sehen. Der Deckungsgrad ist mit 70 % recht hoch. Die Umgebung von Standort 5 ist in Abb. 14 zu sehen und zeigt, dass die Holzköhlerei schon stark zerfallen ist. Profil 5 ist in Abb. 15 gezeigt und bis zu einer Tiefe von 80 cm gegraben worden. Die oberste Horizontschicht weist Holzkohle auf, jedoch nicht ganz so deutlich.



Abb. 14: Ansicht auf die Köhlerei zu Profil 5 (Foto: Judith Maurer, 17.8.2012).

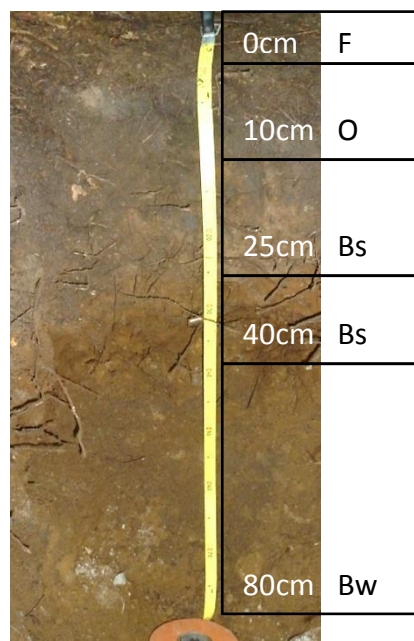


Abb. 15: Profil 5 mit Angaben zur Profiltiefe und zur Horizonteinteilung (Foto: Judith Maurer, 17.8.2012).

#### **2.4.6 Farbbestimmung (feucht)**

Im Feld wurde die Bodenfarbe mittels Munsell-Farbtafel bestimmt. Für jeden Horizont wurde mit dem Spachtel eine fingerspitzengrosse Portion Erde genommen, befeuchtet und anhand der drei Farbkomponenten Farbton, Grauwert und Farbtintensität mit der Farbtafel verglichen und eingeteilt. Gesamthaft geben die drei Werte Auskunft über die Bodenentwicklung (Brunner et al., 2008).

#### **2.4.7 pH-Wert**

Der pH-Wert zeigt den Säuregrad des Bodens auf. Eine Abschätzung des pH-Wertes zur Profilbeschreibungen im Feld wurde mit einem Farbindikatoren durchgeführt und zwar mit dem Hellige-pH-Meter (Brunner et al., 2008).

#### **2.4.8 Karbonatbestimmung**

Während der Feldarbeit wurde der Karbonatgehalt mit verdünnter Salzsäure (HCl) annähernd bestimmt. Die 10 %ige Salzsäure wurde dabei bei jedem Horizont auf eine kleine Probe getropft. Schäumt die Probe, so entweicht  $\text{CO}_2$  bei der Reaktion des Bodens mit der Salzsäure und der Karbonatgehalt kann abgeschätzt werden. Die Bodenentwicklung wird durch den Karbonatgehalt geprägt. Das Muttergestein beeinflusst den Karbonatgehalt. Über den Karbonatgehalt können umgekehrt Aussagen über das Ausgangsgestein gemacht werden. Mit negativem Befund kann geschlossen werden, dass der totale Kohlenstoffgehalt ausschliesslich auf organischen Kohlenstoff zurückzuführen ist (Brunner et al., 2008).

#### **2.4.9 Skelettgehalt**

Die Abschätzung des Skelettgehaltes pro Horizont im Feld geschah mit Vergleichstafeln zur Volumenbestimmung. Die Angaben des Skelettes stehen in Prozent zur restlichen Bodensubstanz zur Verfügung (Brunner et al., 2008).

## 2.5 Probenaufbereitung

Im Labor am Geographischen Institut der Universität Zürich wurden die Proben aus den beschrifteten Plastiksäcken in feuchtem Zustand in angeschriebene und gewogene Porzallenschalen (Tara) eingefüllt, gewogen (Bruttogewicht) und bei 40°C während 48 Stunden im Heissluftofen getrocknet. Die Temperatur wurde so gewählt, dass keine weiteren Prozesse ausgelöst werden und die bereits geschehenen Abläufe unterbrochen werden. Das Gewicht der Proben (Nettogewicht) wurde erneut bestimmt (Egli et al., 2012).

Bei allen trockenen Proben wurde mit einem Sieb der Maschenweite 2 mm der Skelettanteil ( $\geq 2$  mm) von der Feinerde ( $< 2$  mm) getrennt. Aus dem Skelettanteil wurden die Holzkohlestücke mit der Pinzette von Hand herausgelesen. Diese Holzkohle  $\geq 2$  mm wurde gewogen und für die beiden Holzkohleanalysen beschriftet. Die Feinerde wurde mittels Probenteiler in Portionen von ungefähr 20 - 25 g geteilt, einerseits für die pH-Messung und andererseits für die Bestimmung des C/N-Verhältnisses. Von der Probe für die C/N-Analyse wurden 10 g in Achatschalen der Kugelmühle verteilt und während 15 Minuten durch Achatkugeln gemahlen. Davon wurden 5 - 10 mg der Probe für die C,H,N-Elementaranalyse in Silberschiffchen eingewogen. Die Lagerungsdichte wurde nach dem Trocknungsprozess gravimetrisch bestimmt. Die pH-Messung erfordert 20 g des trockenen Feinerdematerials (Egli et al., 2012).

## 2.6 Physikalische Analysen

Bestimmung von Skelettgehalt und Lagerungsdichte (scheinbare Dichte) gehören zu den physikalischen Analysen. Der Skelettgehalt wurde nebst der Abschätzung im Feld (siehe Kapitel 2.4.9) auch noch im Labor gemessen.

### 2.6.1 Skelettgehalt

Im Labor wurde nach dem Vorschlag von Atterberg der Grobboden ( $\geq 2$  mm) vom Feinboden ( $< 2$  mm) durch Siebung getrennt und der Anteil an Bodenskelett ( $\geq 2$  mm) gewogen. Dies kann als Skelettgehalt pro Horizont und Profil angesehen werden (Horn, 2010). Der Anteil an Feinerde und Poren nimmt mit der Bodentiefe ab. Der Boden ist damit weniger gut zu bearbeiten und beispielsweise weniger gut für Wurzeln zu durchdringen (Brunner et al., 2008). Das Skelettmaterial wurde für keine weiteren morphologischen oder

petrographischen Untersuchungen verwendet. Hingegen wurde aus diesem Material die Holzkohle von Hand herausgelesen und für die Holzkohleanalysen gebraucht.

### **2.6.2 Lagerungsdichte**

Die zwei getrockneten Proben für jeden Horizont wurden gewogen. Das Probenvolumen ist durch das vorgegebene Volumen des Stechzylinders gegeben. Mit diesen Angaben kann die Lagerungsdichte - auch scheinbare Dichte genannt - berechnet werden (FAL, 1996). Die Formel für die Berechnung der Lagerungsdichte  $\rho_a$  ist das Verhältnis zwischen der Trockenmasse  $M$  und dem Lagerungsvolumen  $V$ :  $\rho_a = M / V$  (Gisi, 1997). Die Werte der Lagerungsdichte sind meist zwischen  $0.5 - 1.8 \text{ g/cm}^3$  (FAL, 1996). Die scheinbare Dichte nimmt mit der Bodentiefe normalerweise zu, denn unverdichtete Böden gibt es schon deshalb nicht, weil jeder Horizont auf den nächsten drückt (Gisi, 1997).

## **2.7 Chemische Analyse**

Zu den chemischen Analysen, welche im Labor durchgeführt wurden, zählen die Bestimmung des Karbonats, des pH-Wertes und des C/N-Verhältnisses.

### **2.7.1 Karbonatbestimmung**

Bevor die Proben zur weiteren Analyse gehen, wurden sie noch einmal mit verdünnter Salzsäure, wie unter Kapitel 2.4.8 beschrieben, getestet.

### **2.7.2 pH-Wert**

Für die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert) wurden exakt 20 g der Proben abgewogen und mit 50 ml einer 0.01 molaren  $\text{CaCl}_2$ -Lösung in ein Becherglas von 100 ml gegeben. Diese Lösung wurde 30 Minuten lang mit Magnetstäbchen mehrmals umgerührt und anschliessend während 30 Minuten stehen gelassen. Die Elektroden des kalibrierten pH-Meters wurden in die Suspension eingetaucht und der pH-Wert wurde abgelesen (Egli et al., 2012). Im typischen pH-Tiefenprofil ist der Oberboden saurer als der Untergrund, weil die Verwitterung und Auswaschung von oben nach unten abläuft. Waldstandorte weisen einen breiten lateralen pH-Wertebereich auf (Gisi, 1997). Der pH-Bereich zwischen 3.3 und 4.3 ( $\text{CaCl}_2$ ) wird als stark sauer bezeichnet, zwischen 4.4 und 5.0 ( $\text{CaCl}_2$ ) als sauer und zwischen 5.1 und 6.1 ( $\text{CaCl}_2$ ) als schwach sauer (Brunner et al., 2008).



### 2.7.3 C/N-Elementaranalyse

Die Proben wurden mit dem C,H,N-Elementaranalysator gemessen. Dabei wurden die Proben verbrannt. Die gasförmigen Entweichungen an Kohlenstoff und Stickstoff wurden im Verhältnis zur Probe volumetrisch gemessen. Der daraus erhaltene Totalkohlenstoffgehalt  $C_{\text{tot}}$  entspricht dem Gehalt an organischem Kohlenstoff  $C_{\text{org}}$ , da kein Karbonat nachgewiesen werden konnte. Der totale Stickstoffgehalt  $N_{\text{tot}}$  wird ebenfalls angegeben. Diese beiden Werte verrechnet, ergeben den dimensionslosen Quotienten des C/N-Verhältnisses (Egli et al., 2012).

## 2.8 Holzkohle

Eine Definition von Black carbon (BC) ist nach Goldberg (1985) das verbleibende Material nach der unvollständigen Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Holz oder Biomasse (Goldberg, 1985). Holzkohle (Charcoal) ist nach Patterson et al. (1987) eine amorphe Kohlenstoffverbindung, die nach unvollständiger Verbrennung von Pflanzenmaterial entstanden ist (Patterson et al. 1987). Die entstehende Menge und Art der Holzkohle ist abhängig von der Pflanzenart (Fréjaville et al., 2012), die sich durch Kompaktheit, Härte und Feuchteanteil unterscheiden kann (Patterson et al., 1987). In Abb. 16 ist der Bereich des Black carbon Kontinuums und dessen Struktur aufgezeigt (Hammes et al., 2007).



Abb. 16: Black carbon Kontinuum (BC Continuum) aufgezeigt von Russ (Soot) über Holzkohle (Charcoal) zu Biomasse mit dessen Struktur (BC Formation) je nach Zustand des Black carbon (Hammes et al., 2007).

Die thermische Veredlung von Holz läuft in zwei Schritten ab. Der erste Schritt zur Produktion von Holzkohle ist die Holzverbrennung, welche einer Gasphasenverbrennung entspricht, denn ein Grossteil des Holzes besteht aus flüchtigen Bestandteilen, die bei der Verbrennung entweichen. Der zweite Schritt ist der Verkohlungsprozess (Pyrolyse des Holzes) zu Holzkohle. Die Holzverkohlung in Holzköhlereien früherer Zeiten brachte etwa 25 % Holzkohle der Masse an zugeführtem Holz hervor (Wienhaus, 2005). Die Art des Feuers beeinflusst die Produktion von Holzkohle. Faktoren, die sich verändern können und auf die

Holzkohleproduktion wirken sind Dauer, Temperatur und Intensität. Ein kräftiges Feuer produziert die feinste Holzkohle (Patterson et al., 1987). Bei höherer Temperatur werden die chemischen Veränderungen auf das Holz grösser (Wienhaus, 2005). Zudem ist es wichtig, welche hydrologischen Konditionen am Brandplatz herrschen (Patterson et al., 1987). Im Falle der Holzköhlereien sind die Bedingungen teilweise anthropogen vorgegeben.

Die holzanatomischen Merkmale bleiben in der Holzkohle bestehen (Ludemann, 2002b). Im Gegensatz dazu verändert sich die Dimension der Zellwände durch den Verkohlungsprozess. Die Dicke der Zellwände nimmt gesamthaft um etwa 75 % ab, was in der Länge 7-13 %, radial und tangential 12-25 %, ausmacht. Risse und Gewebedeformationen, die sich durch die Pyrolyse ergeben können, führen zu Fehlinterpretationen. Schlackige Rückstände bei feuchten Verbrennungsbedingungen geben keine schöne Holzstruktur wider. Holzkohle ist gegen biologischen Abbau eher unempfindlich, dagegen eher empfindlich gegen mechanische Einflüsse (Schweingruber, 1990b).

## **2.9 Holzkohleanalyse**

Die Analyse von Holzkohle kann angewandt werden, wenn Feuerereignisse Holz zu Holzkohle verkohlt haben (Cherubini et al., 1994). Mit der Holzkohleanalyse – der Anthrakologie – kann historische Holzkohle für Informationen bezüglich der Vegetationszusammensetzung und deren Veränderung verwendet werden (Ludemann, 2006). Die beiden Methoden, mit denen die Analyse der gefundenen Holzkohlestücke durchgeführt wurde, sind die Holzkohlen-Taxa-Bestimmung und die <sup>14</sup>C-Altersbestimmung.

### **2.9.1 Holzkohlen-Taxa-Bestimmung**

Die mikroskopische Holzkohleanalyse von Holzkohlestücken  $\geq 2$  mm (Figueiral und Mosbrugger, 2000) dient in der paläoökologischen Forschung zur Rekonstruktion der Feuer- und Vegetationsgeschichte (Patterson et al., 1987). Die Bestimmung der Holzart kann aufzeigen, wie der Vegetationsbestand in der Vergangenheit war (Cherubini et al., 1994). Der Wechsel einer Vegetationszusammensetzung zu einer anderen ist mit der Holzkohlen-Taxa-Bestimmung (Figueiral und Mosbrugger, 2000) mit Einbezug der Standortansprüche der Bäume und den Umweltgegebenheiten, möglich (Ludemann, 2008). Der anthropogene Einfluss auf die Vegetation ist Gegenstand dieser Analysemethode. Es ist daraus eventuell

möglich, auf die Entwicklung der Bevölkerung zu schliessen (Figueiral und Mosbrugger, 2000).

Die Artenbestimmung, der von Hand herausgelesenen Holzkohlestücke  $\geq 2$  mm erfolgt über die charakteristische Anatomie der Holzkohlestücke (Schweingruber, 1990b) und wird mit Referenzstücken verglichen (Figueiral und Mosbrugger, 2000). Unter dem Auflichtmikroskop mit 50facher Vergrößerung kann erkannt werden, ob es sich bei dem Holzstück um ein Laub- oder Nadelholz handelt. Dies ist am besten an der Querschnittbruchfläche zu erkennen. Zur Verifizierung und um weitere Bestimmungsmerkmale zu suchen, werden mit dem Skalpell die beiden weiteren Schnittflächen, die Radial- und Tangentialbruchfläche, geschaffen (Schweingruber, 1990b; Schoch, 1986). Die Identifikation der Holzkohlestücke mittels Auflichtmikroskop ist schnell und es können viele Holzkohlestücke angeschaut werden. Dieselben Holzkohlestücke können zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung verwendet werden (Figueiral und Mosbrugger, 2000). Die Einteilung in Laub- oder Nadelholz erfolgt über deren eindeutige Unterscheidung (Wolman, 2013), wie Abb. 17 zeigt.

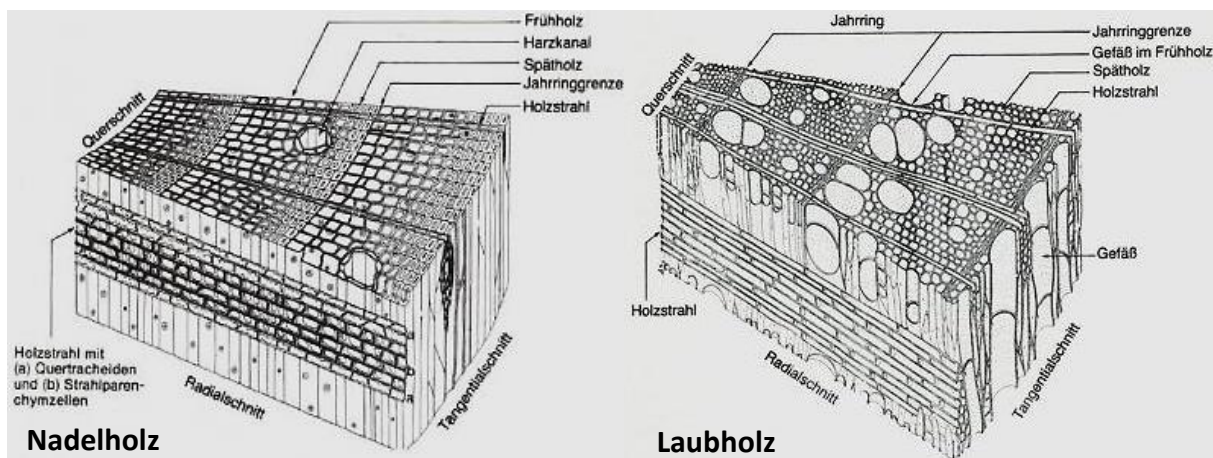


Abb. 17: Charakteristische Merkmale von Nadel- und Laubholz aufgezeichnet an den drei möglichen Bruchflächen ([http://www.wolman.de/de/infocenter/baum\\_zum\\_holz/holzeigenschaften/index.php?thisID=55](http://www.wolman.de/de/infocenter/baum_zum_holz/holzeigenschaften/index.php?thisID=55), Zugriff: 3.3.2013).

Eine Gemeinsamkeit von Nadel- und Laubholz sind die Markstrahlen oder Holzstrahlen. Sie ziehen senkrecht zu den Jahrringen. Das auffälligste Merkmal im Querschnitt zur Unterscheidung der beiden Holzarten ist, dass Nadelholz Markstrahlen mit Tracheiden und Harzkanäle - eine Ausnahme bildet die Tanne (*Abies alba*) - besitzt und Laubholz Gefässe = Tracheen hat. Die Zellen von Nadelholz sind regelmässig angeordnet. Die Harzkanäle

ergänzen das Bild. Die Jahrringe sind ersichtlich durch die verschiedenen grossen Zellen, die im Spätholz kleiner sind als im Frühholz. Die Jahrringe lassen sich auch im Laubholz gut erkennen. Dazwischen sind die Gefässe teilweise sehr unregelmässig angeordnet, was charakteristisch ist für die Artunterscheidung der Laubhölzer. Im Radial- und Tangentialschnitt sind die Harzkanäle und Gefässe ebenfalls zu sehen. Sie werden entweder quer oder längs getroffen wie Tab. 9 für Arten, die im Valle Onsernone vorkommen können, zeigt (Schweingruber, 1990a).

Die Zusammenstellung zeigt nicht nur die Einteilung in Nadel- oder Laubholz, sondern auch Merkmale, die innerhalb der Nadel- und der Laubhölzer charakteristisch sind. So ist beispielsweise die Unterscheidung innerhalb der Laubhölzer über die Porenanordnung möglich: entweder besitzen die Laubhölzer zerstreutporiges oder ringporiges Holz (Wagenführ, 2007).

Tab. 9: Unterscheidung der Baumarten anhand der charakteristischen Merkmale für die drei Bruchflächen (verändert nach Schweingruber, 1990a; Schoch, 1986).

	Baumart	Markstrahl	Harzkanal	Gefässe	Querschnitt	Tangentialschnitt	Radialschnitt
NADELHOLZ	<i>Abies alba</i> (Tanne)	mit	ohne				
	<i>Picea abies</i> (Fichte)	mit	mit			○	
	<i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Föhre)	mit	mit			○	
	<i>Pinus cembra</i> (Arve)	mit	mit			○	
	<i>Larix decidua</i> (Lärche)	mit	mit			○	
LAUBHOLZ	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	mit		Zerstreutporig, ca. 30 Zellreihen	○		
	<i>Castanea sativa</i> (Edelkastanie)	mit		Ringporig, 2-3 Zellreihen	○		

Die weiteren Unterscheidungsmerkmale sind sehr differenziert, teilweise unter dem 50fachen Auflichtmikroskop nicht mehr zu sehen und bedürfen guten holzanatomischen Kenntnissen. Sie sind in Tab. 10 wiederum für die möglichen Holzarten des Valle Onsernone aufgelistet. Der Hinweis auf die Fichte (*Picea abies*) beziehungsweise die Lärche (*Larix decidua*), welche beide vorkommen könnten sei erlaubt, weil sie sich nicht eindeutig unterscheiden lassen (Schweingruber, 1990a). So ist es wichtig, dass im Zweifelsfall alle drei Schnittflächen beurteilt werden können und die Vegetationsgeschichte, wie auch das Klima miteinbezogen werden (Cherubini et al., 1994).

Tab. 10: Feiner differenzierte Unterscheidungsmerkmale der Baumarte mit Verwechslungshinweisen (verändert nach Schweingruber, 1990a).

	Baumart	Weitere Merkmale
NADELHOLZ	<i>Abies alba</i> (Tanne)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Markstrahlen ohne Tracheiden</li> </ul>
	<i>Picea abies</i> (Fichte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larix und <i>Picea abies</i> sind nicht eindeutig unterscheidbar</li> </ul>
	<i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Föhre)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tracheidenwände der Markstrahlen mit Zacken</li> </ul>
	<i>Pinus cembra</i> (Arve)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tracheidenwände der Markstrahlen glatt</li> <li>• Fensterförmige Tüpfel</li> </ul>
	<i>Larix decidua</i> (Lärche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larix und <i>Picea abies</i> sind nicht eindeutig unterscheidbar</li> <li>• Scharfer Spätholz/Frühholz-Übergang</li> <li>• Markstrahlen mit Tracheiden</li> </ul>
LAUBHOLZ	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwechslung mit <i>Prunus avium</i> möglich</li> </ul>
	<i>Castanea sativa</i> (Edelkastanie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiale, flammenartige Porengruppierung im Spätholz, nur einreihige, homogene Markstrahlen</li> </ul>

Die in Tab. 9 und Tab. 10 aufgelisteten Merkmale der verschiedenen Hölzer sind in rezenten Holzschnitten gut zu sehen. Hingegen ist es bei der Holzkohle, wie in Kapitel 2.8 erwähnt, schwieriger. Die Holzkohlen-Taxa-Bestimmung wurde deshalb nur zur Unterscheidung in Nadel- oder Laubholz durchgeführt. Dies auch aus dem Grund, weil in einer Holzköhlerlei, vor allem in den oberen Horizonten, sehr viel Holzkohle anfällt und die zeitliche Komponente der Bestimmung nicht zu unterschätzen ist. Zur Hilfe beim Bestimmen der Holzkohlestücke werden Atlanten verwendet, die Fotos der Holzkohleschnitte zeigen, mit denen verglichen werden kann (Figueiral und Mosbrugger, 2000). Ein solcher Atlas ist derjenige von Schweingruber (1990a). Die Abb. 18 zeigt zwei Beispiele von Holzkohlequerschnitten, einerseits von Arve oder Wald-Föhre (*Pinus*) und andererseits von Buche (*Fagus sylvatica*).

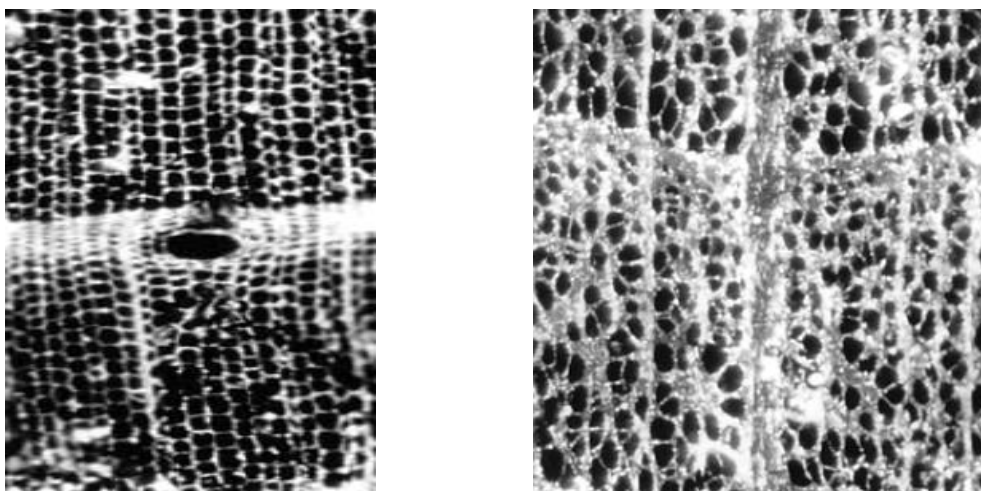


Abb. 18: Querschnittsaufnahmen von Holzkohle unter dem Auflichtmikroskop mit 50facher Vergrößerung. Rechts: Arve/Wald-Föhre (*Pinus*). Links: Buche (*Fagus sylvatica*) Nölken, 2005).

Stichprobenweise nahm der Holzanatomiespezialist Werner Schoch die Überprüfung vor und verifizierte in den tieferen Horizonten die vereinzelt vorkommenden Holzkohlestücke. Alle Holzkohlestücke, die zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung geschickt wurden, bestimmte er ebenfalls.

### 2.9.2 $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung

Die Radiokarbondatierung ist eine numerische Altersbestimmung (Hajdas, 2008), bei der die Konzentration an  $^{14}\text{C}$  in den ausgewählten Holzkohlestücken gemessen wird (Bowman, 1990). Holz und Holzkohle machen in den Radiokarbonlabors den grössten Teil an Messungen aus (Hajdas, 2009). Die für die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung erforderliche Präparierung und Aufbereitung des Probenmaterials erfolgte im Radiokarbonlabor des Geographischen Institutes der Universität Zürich (GIUZ). Die anschliessende Datierung wurde mittels der AMS-Technik (accelerator mass spectrometry) auf dem Beschleuniger des LIP (Laboratorium für Ionenstrahl-Physik) der ETH-Hönggerberg durchgeführt.

Die Wahl der Profile für die Holzkohlestücke zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung ergab sich aus der Lage der Profile und dem Zustand der Bodenprofile. Zwei der fünf Profile liegen am gegenüberliegenden Hang von Comologno aus gesehen und die restlichen drei Profile sind gegenüber von Spruga gelegen. Aus diesen beiden Örtlichkeiten wurde je ein Profil ausgewählt. Die Abdeckung des Gebietes für die Analyse ist breiter, als wenn nur von einem Ort  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen vorgenommen worden wären. Die beiden Profile von Comologno aus unterscheiden sich stark im Profilstand. Profil 1 ist dermassen anthropogen umgestaltet, dass keine Zuordnung von Alter der Holzkohle zum Boden, zur Holzköhlerei oder zur Vegetation gemacht werden könnte. Dagegen zeigt Profil 2 klarere Horizontgrenzen und die Einordnung der  $^{14}\text{C}$ -Holzkohlealter ist aussagekräftiger. Bei den drei Profilen von Spruga aus, war das Auswahlkriterium in Bezug zur ersten Wahl zu setzen. Da die Höhenlage von Profil 2 bei 1060 m ü. M. ist, wurde darauf geachtet, wenn möglich ein etwas höheres Profil zu wählen, was bei Profil 5 zutrifft. Profil 3 wäre zu tief gewesen und Profil 4 schon zu hoch. Ein bisschen höher deshalb, weil es zusätzliche Hinweise geben kann, ob in einer anderen Höhenlage andere Vegetation vorkam, so wie dies auch heute der Fall ist.

Die Wahl der Holzkohlestücke, welche zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung gehen sollten, war abhängig von der Holzart, der Grösse des Holzkohlestückes und der Anzahl gefundener

Holzkohlestücke innerhalb des Horizontes. Es wurde generell viel Buche (*Fagus sylvatica*) herausgelesen. Aus diesem Grund wurde diese Holzart datiert, damit für diese Baumart eine Zeitreihe erarbeitet werden kann. Zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung braucht es eine minimale Grösse von  $2\text{ mm}^3$  damit die Probenaufbereitung und Messung überhaupt durchgeführt werden kann (Egli et al., 2012). In den oberen Horizonten wurde immer genügend Holzkohle gefunden. In den mittleren und unteren Horizonten konnten nur noch wenige Holzkohlestücke herausgelesen werden. In untersten Horizont des Profils 2 sogar nur ein einziges Stück. So war die Wahl nicht schwierig. Vom Profil 2 wurden fünf und vom Profil 5 wurden drei Holzkohlestücke aufbereitet und zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung ins Labor geschickt.

Die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung liefert das konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Alter in y BP (years Before Present = Jahre vor heute) und meint das Alter bezüglich 1950 n. Chr. Weitere Bezeichnungen für das konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Alter können BC (Before Christ = Jahre vor Christus) oder AD (Anno Domini = Jahre nach Christus) sein (Egli et al., 2010). Die Angabe in kalibrierte Kalenderjahren als cal BP (calibrated years Before Present = kalibrierte Kalenderjahre vor 1950) benötigt eine Kalibrierung des konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Alters mittels einer Eichkurve anhand dendrochronologisch datierten Baumringen (Bowman, 1990). Das Kalibrationsprogramm INTCAL09 dient dabei zur Umrechnung und gibt die kalibrierten Kalenderjahre im 2- $\sigma$ -Bereich mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % an (Reimer et al., 2009 und Bronk Ramsey, 2001; 2009).

### 3. Resultate

Die Ergebnisse aus der Feldarbeit werden pro Profil tabellarisch aufgelistet und kurz erläutert. Die Auswertungen der Laboranalysen werden durch Diagramme dargestellt und kommentiert. Die Holzkohleanalysen sind gesondert beschrieben.

#### 3.1 Feldarbeit

##### 3.1.1 Profil 1

Vom ersten Profil sind in Tab. 11 die Ergebnisse aus der Feldarbeit gezeigt. Da das Profil sehr fest anthropogen geprägt ist, kann keine reguläre Bodenentwicklung ausgemacht werden und nur zwei Horizonte konnten unterschieden werden.

Tab. 11: Parameter des Profils 1 der einzelnen Horizonte, Bodenform und Humusform, die während der Feldarbeit aufgenommen wurden.

Horizont	Tiefe [cm]	Farbe (Munsell)	pH (Hellige)	Karbonat (HCl)	Skelett [Vol.-%]	Bodenform
						Humusform
O	0 – 20	7.5 YR 2 / 1	4	ϕ	0	Anthroposol
anthropogen	20 - 90	10 YR 2 / 2	4.5	ϕ	50	L (Rohumus)

Der Humusanteil im Humushorizont L ist gering. Er besteht vorwiegend aus unzersetzten Nadeln und Blättern. Der Auflagehorizont O hat mehr als 30 % organische Substanz. Der Farbton ändert sich im gesamten Horizont nicht entscheidend und bleibt gelbbraun (7.5 YR - 10 YR), was auf Eisenminerale im Boden hindeutet. Mit dunklem Grauwert (2), tiefer Intensität (1 - 2) und saurem Milieu (pH 4 - 4.5) ist es ein saurer Boden, der wegen grosser menschlicher Umgestaltung als Anthroposol bezeichnet werden kann. Das Ausgangsgestein ist Granit. Somit ist kein Karbonat vorhanden. Der Skelettanteil nimmt mit der Profiltiefe zu.

##### 3.1.2 Profil 2

Das Profil 2, in Tab. 12 aufgezeigt, ist ebenfalls anthropogen geprägt, denn der Boden wurde umgeschichtet, was zur Folge hat, dass der bAE-Übergangshorizont, welcher mit Huminstoffen angereichert und sauer gebleicht ist, unterhalb des mit Sesquioxiden angereicherten Bs-Horizontes zu liegen kommt. Ein eigentlicher Oberbodenhorizont (A-



Horizont) gibt es nicht. Dazwischen ist auch noch ein begrabener Mineralbodenhorizont (bE) auszumachen, bevor erneut ein weiterer bearbeiteter bBs-Horizont mit leichter Eisenanreicherung zu liegen kommt. Die untersten Horizonte zeigen leichte bandförmige Anreicherungen.

Tab. 12: Parameter des Profils 2 der einzelnen Horizonte, Bodenform und Humusform, die während der Feldarbeit aufgenommen wurden.

Horizont	Tiefe [cm]	Farbe (Munsell)	pH (Hellige)	Karbonat (HCl)	Skelett [Vol.-%]	Bodenform
						Humusform
O	0 – 20	10 YR 1 / 1	4	ϕ	3	Anthroposol
Bs	20 - 35	7.5 YR 3 / 4	4.5	ϕ	3	F (Moder, verfilzt)
bAE	35 – 50	7.5 YR 2 / 2	4	ϕ	3	
bE	50 - 65	7.5 YR 4 / 2	4	ϕ	20	
bBs	65 - 90	7.5 YR 3 / 3	4.5	ϕ	20	

Der gering mächtige Fermentationshorizont F besteht aus verfilztem Material, vorwiegend aus Nadeln und Blätter, der als Moder bezeichnet werden kann. Darauf folgt der Auflagehorizont O mit mehr als 30 % organischer Substanz. Die Grenze zwischen diesen beiden Horizonten ist unscharf. Der gelbbraune Farbton (7.5 YR - 10 YR) bleibt über die gesamte Horizontabfolge bestehen. Die Fe-Minerale haben hier gewirkt. Die Grauwerte und die Farbintensität variieren zwischen 1 und 4. Die angedeutete Umschichtung spiegelt sich hier wider. Der pH-Wert mit 4 - 4.5 ist im sauren Bereich. Der Boden zeigt Verwitterungs- und Verlagerungsprozesse mit der Folge einer Versauerung und unter der bestehenden Vegetation einer Nährstoffverarmung. Die Bezeichnung eines Anthroposols, soll den menschlichen Einfluss andeuten. Das Ausgangsgestein bleibt Granit. Karbonat ist keines vorhanden. Mit der Profiltiefe nimmt auch der Skelettanteil zu.

### 3.1.3 Profil 3

Der Ausgangspunkt für Profil 3 ist Spruga, welches das letzte Dorf im Tal ist. In Tab. 13 sind die Angaben zum Profil 3 beschrieben. Die menschlichen Spuren im Profil 3 sind ebenso auszumachen und die Bezeichnung Anthroposol kann wiederum verwendet werden. Die Horizontabfolge zeigt Zeichen einer Umschichtung. Der begrabene Oberboden bA ist

unterhalb des durch Sesquioxiden angereicherten Illuvialhorizontes Bs. Darauf folgen zwei weitere, begrabene B-Horizonte, wobei ersterer (bBA) ein sauergebleichter Übergangshorizont darstellt und der zweite (bBs) Anzeichen von Eisenanreicherung hat. Ein A-Horizont existiert nicht.

Tab. 13: Parameter des Profils 3 der einzelnen Horizonte, Bodenform und Humusform, die während der Feldarbeit aufgenommen wurden.

Horizont	Tiefe [cm]	Farbe (Munsell)	pH (Hellige)	Karbonat (HCl)	Skelett [Vol.-%]	Bodenform
						Humusform
O	0 – 15	10 YR 1.7 / 1	4.5	ϕ	3	Anthroposol
Bs	15 - 30	7.5 YR 3 / 4	4.5	ϕ	20	F (Moder, verfilzt)
bA	30 – 40	10 YR 3 / 4	5	ϕ	20	
bBA	40 - 65	7.5 YR 5 / 6	5	ϕ	40	
bBs	65 - 85	7.5 YR 4 / 4	4.5	ϕ	50	

Der Fermentationshorizont F (Moder) ist sehr gering mächtig und setzt sich vor allem aus verfilzten Nadeln zusammen. Darunter folgt der Auflagehorizont O. Der gelbbraune Farbton (7.5 YR - 10 YR) zieht sich durch den gesamten Boden. Dort wo die Fe-Mineralen mehr wirken, geht die Bodenfarbe ein bisschen mehr ins rotbraune, sonst ins gelbbraune über. Grauwerte und Farbintensität zeigen eine Bandbreite zwischen 1 und 6, was die Grenzen etwas weniger deutlich sichtbar macht. Die pH-Werte liegen im sauren Bereich. Versauerung und Nährstoffverarmung unter den Tannen zeigen Spuren im Boden. Es ist ein Anthroposol aufgrund der menschlichen Umgestaltung. Das Ausgangsgestein ist mit Granit silikatisch und Karbonat gibt es keines. Mit der Profiltiefe nimmt auch der Skelettanteil zu.

### 3.1.4 Profil 4

Im Profil 4 fehlt ein A-Horizont. Die Horizontabfolge beschränkt sich auf einen Auflagehorizont O und einen Bs-Horizont, der scheinbar zweigeteilt ist. Der Farbunterschied im Illuvialhorizont (Bs) zu vermehrter Rotverfärbung durch die Eisenanreicherung, ergibt eine Grenze. In Tab. 14 ist zusammengefasst, was die drei Horizonte ausmacht. Dieses Profil ist sehr stark anthropogen verändert.

Tab. 14: Parameter des Profils 4 der einzelnen Horizonte, Bodenform und Humusform, die während der Feldarbeit aufgenommen wurden.

Horizont	Tiefe [cm]	Farbe (Munsell)	pH (Hellige)	Karbonat (HCl)	Skelett [Vol.-%]	Bodenform
						Humusform
O	0 – 20	7.5 YR 2 / 1	4	ϕ	1	Anthroposol
Bs	20 - 70	7.5 YR 4 / 4	4.5	ϕ	50	F (Moder, Laub)
“Bs”	70 – 80	10 YR 5 / 4	4.5	ϕ	60	

Im Fermentationshorizont F (Moder) hat es sehr viel Laub und er ist geringmächtig. Der Auflagehorizont O hat teilweise eine Schwarzfärbung von der Holzkohle herrührend. Der gelbrote Farbton (7.5 YR - 10 YR) zeichnet das gesamte Bodenprofil aus. Der O-Horizont ist dunkel und nicht sehr intensiv gefärbt. Die Grauwerte und Farbintensitäten nehmen nach unten im Profil zu. Die pH-Werte zeigen den sauren Charakter des Bodens. Es kann nicht von einem typischen Boden gesprochen werden. Es bleibt die Bezeichnung Anthroposol übrig, die auf die starke menschliche Prägung hinweist. Es ist kein Karbonat nachweisbar. Granit ist das Ausgangsgestein. Der Skelettgehalt nimmt nach unten zu.

### 3.1.5 Profil 5

Der A-Horizont im beschriebenen Profil 5 (Tab. 15) fehlt. Die Horizontabfolge setzt sich aus einem Auflagehorizont O und drei B-Horizonten zusammen. Die Grenze zwischen den ersten beiden angereicherten Bs-Übergangshorizonten durch Umlagerung mit Sesquioxiden ist farblich unterscheidbar. Der unterste Bw-Horizont zeigt Verwitterungszeichen der Verbraunung.

Tab. 15: Parameter des Profils 5 der einzelnen Horizonte, Bodenform und Humusform, die während der Feldarbeit aufgenommen wurden.

Horizont	Tiefe [cm]	Farbe (Munsell)	pH (Hellige)	Karbonat (HCl)	Skelett [Vol.-%]	Bodenform
						Humusform
O	0 – 10	7.5 YR 2 / 1	4	ϕ	1	Anthroposol
Bs	10 - 25	10 YR 4 / 4	4	ϕ	20	F (Moder, verfilzt)
Bs	25 – 40	7.5 YR 4 / 4	4.5	ϕ	40	
Bw	40 - 80	10 YR 4 / 4	4.5	ϕ	50	

Der verfilzte Fermentationshorizont F (Moder) besteht aus Nadeln und Laub. Der O-Horizont ist an der beprobten Stelle nicht extrem schwarz. Der gelbrote Farbton (7.5 YR - 10 YR) geht durch das ganze Profil hindurch. Die Grauwerte und Farbintensitäten sind im B-Horizont überall dieselben. Im O-Horizont sind sie ein bisschen intensiver und dunkler. Die pH-Werte bewegen sich zwischen 4 und 4.5 und deuten den sauren Boden an. Es ist kein typischer Boden. Ein Anthroposol ist es nur schon wegen der Holzköhlerei. Karbonat ist nicht nachweisbar und vereinbar mit dem granitischen Ausgangsgestein. Der Skelettgehalt wird mit der Profiltiefe grösser.

## 3.2 Physikalische Analysen

### 3.2.1 Skelettgehalt

Durch die Siebung bleibt das Bodenskelett mit einem Durchmesser  $\geq 2$  mm zurück und kann gewogen werden. Das eingefügte Diagramm (Abb. 19) zeigt von allen Profilen und für jeden Horizont die Masse an festen Bestandteilen mit zunehmender Profiltiefe auf. Das Skelettmaterial enthält auch Holzkohlestücke.

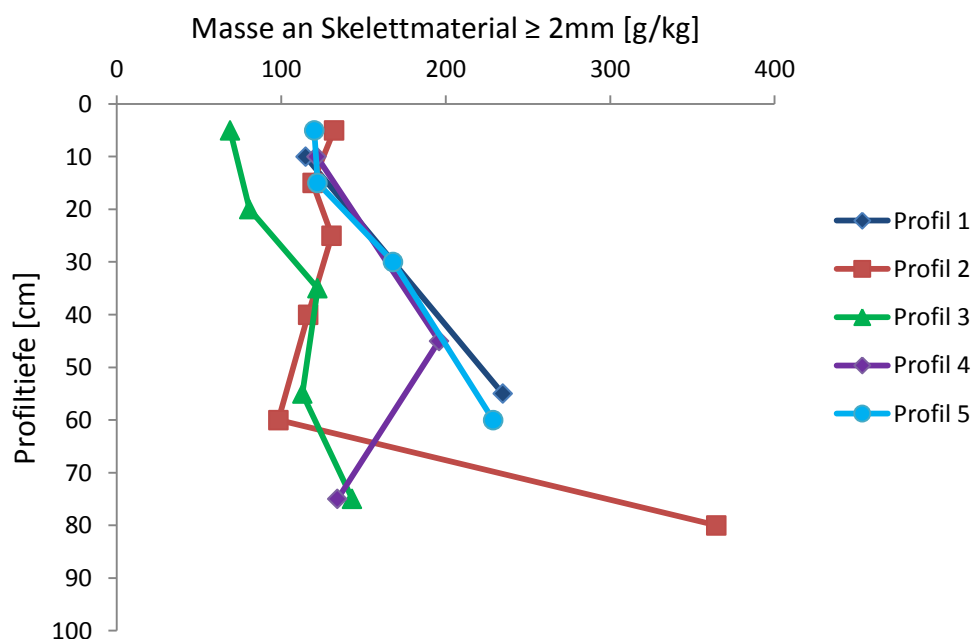


Abb. 19: Das Skelettmaterial ( $\geq 2$  mm) inklusive Holzkohle, ist für jedes Profil und jeden Horizont dargestellt.

Im Profil 4 ist im untersten Horizont eine Abnahme des Skelettanteiles zu verzeichnen. Bei Profil 2 geht die Masse an Skelett in den mittleren Horizonten leicht zurück. Die Proben waren insgesamt klein, wurden jeweils nur an einer Stelle im Horizont genommen und die Massenabnahme ist nicht sehr gross. Die Verwitterung des Muttergesteins ist mit zunehmender Tiefe noch nicht weit fortgeschritten.

### 3.2.2 Lagerungsdichte

In der eingefügten Abb. 20 ist die Lagerungsdichte der Horizonte von den fünf Profile dargestellt. Da zwei Proben pro Horizont berechnet wurden, ist der Durchschnitt davon im Diagramm zu sehen.

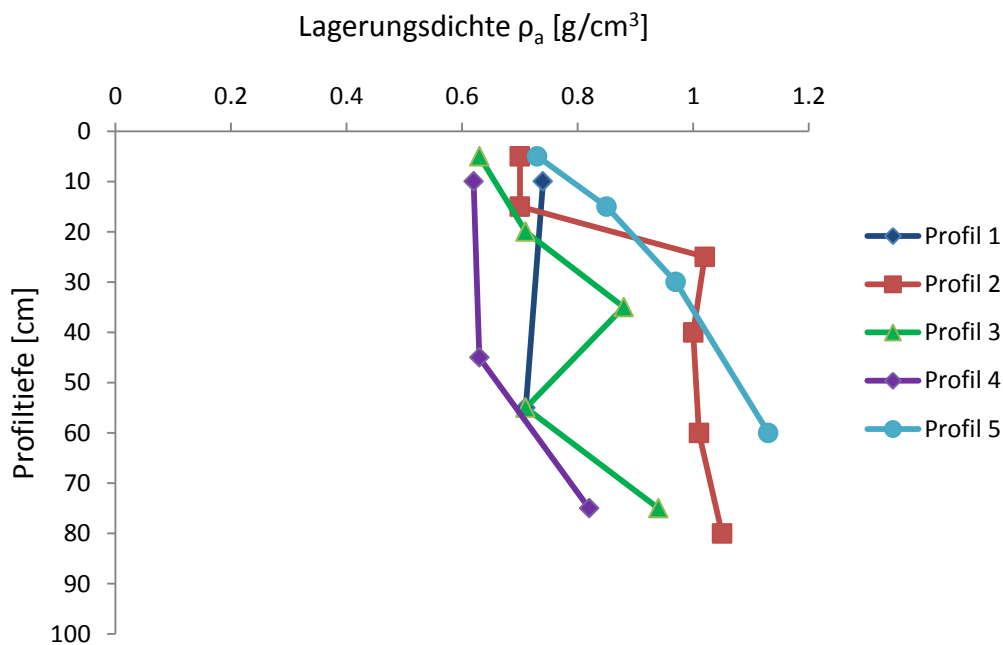


Abb. 20: Für jedes Profil und jeden Horizont ist die Lagerungsdichte dargestellt.

Die Verdichtung nimmt unterschiedlich stark in den Profilen mit der Tiefe zu. Die Ausnahme bildet Profil 3, welches einen Ausreisser in der Mitte des Profils hat. Das zeigt die Umschichtung, die im Profil 3 stattgefunden hat. Die nicht reguläre Horizontabfolge in Profil 2 ist auch an der weniger steilen Gerade, nicht ganz so deutlich wie in Profil 3, zu sehen. Die Profile zeigen in den oberen Bereichen mit Werten  $< 0.8 \text{ g/cm}^3$  einen porösen, gut durchlässigen, humosen Boden. Darauf folgen normal durchlässige, poröse Böden, geringer Bindigkeit mit Werten zwischen  $0.8 - 1.19 \text{ g/cm}^3$ .

### 3.3 Chemische Analysen

#### 3.3.1 Karbonatbestimmung

Alle Proben wurden vor den weiteren Analysen noch einmal mit verdünnter Salzsäure, wie unter Kapitel 2.4.8 beschrieben, nach ihrem Karbonatgehalt untersucht. Sie zeigen keine Anzeichen von Karbonat, denn es konnte weder ein Schäumen gesehen noch ein hörbares Knistern festgestellt werden. Das Muttergestein ist silikatischen Ursprungs.

#### 3.3.2 pH-Wert

Die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert) im Labor, wie sie in Kapitel 2.7.2 beschrieben ist, gibt Auskunft über die Bodenazidität. In Abb. 21 sind die Säuregrade der Bodenprofile dargestellt.

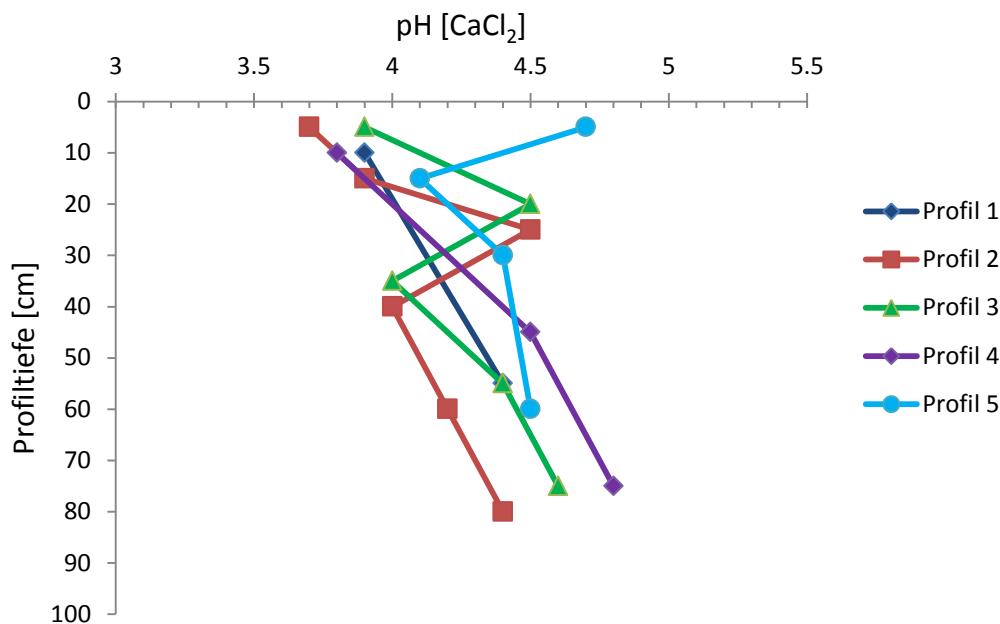


Abb. 21: Für jedes Profil und jeden Horizont ist der pH-Wert dargestellt.

Die grosszügige Sicht auf den Verlauf der Kurven zeigt den normalen Verlauf eines pH-Tiefenprofils. Dazwischen hat es ein paar Ausreisser, die wiederum die umgeschichteten Horizonte widerspiegeln. Der laterale Wertebereich ist nicht speziell breit. Die Profilstandorte sind alle im Wald, was die tiefen pH-Werte beweist. Der pH-Bereich liegt zwischen 3.7 und 4.8 (CaCl<sub>2</sub>), was als stark sauer bezeichnet werden kann. Die Einstufung des pH-Bereiches weist auf Podsole oder saure Braunerden hin, die silikatisches Ausgangsmaterial haben. Diese Bodenarten kommen im Valle Onsernone vor. Im Falle der

Holzköhleren sind alle Böden gestört und werden nicht als Podsole oder Braunerden bezeichnet, sondern als Anthrosole.

### 3.3.3 Totaler Kohlenstoffgehalt

Der Totalkohlenstoffgehalt  $C_{\text{tot}}$  entspricht dem Gehalt an organischem Kohlenstoff  $C_{\text{org}}$ , weil alle Bodenprofile entkalkt sind. Die totalen Kohlenstoffgehalte für jedes Profil und bezüglich der Bodentiefe sind in Abb. 22 aufgezeichnet.

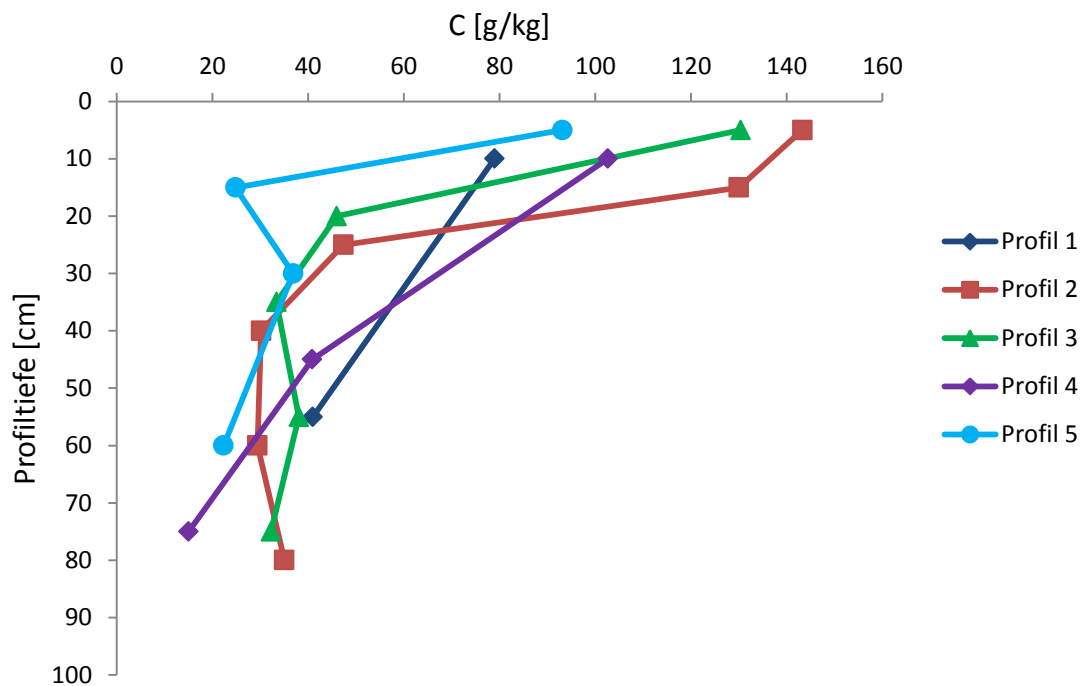


Abb. 22: Für jedes Profil und jeden Horizont ist der Totalkohlenstoffgehalt dargestellt.

Der Wertebereich liegt zwischen 15 und 143 g Kohlenstoff pro kg Boden und nimmt mit der Profiltiefe ab. Der Oberboden weist einen deutlich höheren Totalgehalt an Kohlenstoff auf, als der Unterboden. Zwischen Ober- und Unterboden ist ein regelrechter Knick auszumachen, welcher die Kurve zwischen 20 und 30 cm steil abfallen lässt.

### 3.3.4 C/N-Verhältnis

Der Totalkohlenstoffgehalt  $C_{\text{tot}}$  und der Totalstickstoffgehalt  $N_{\text{tot}}$  werden zusammen in Abb. 23 aufgetragen.

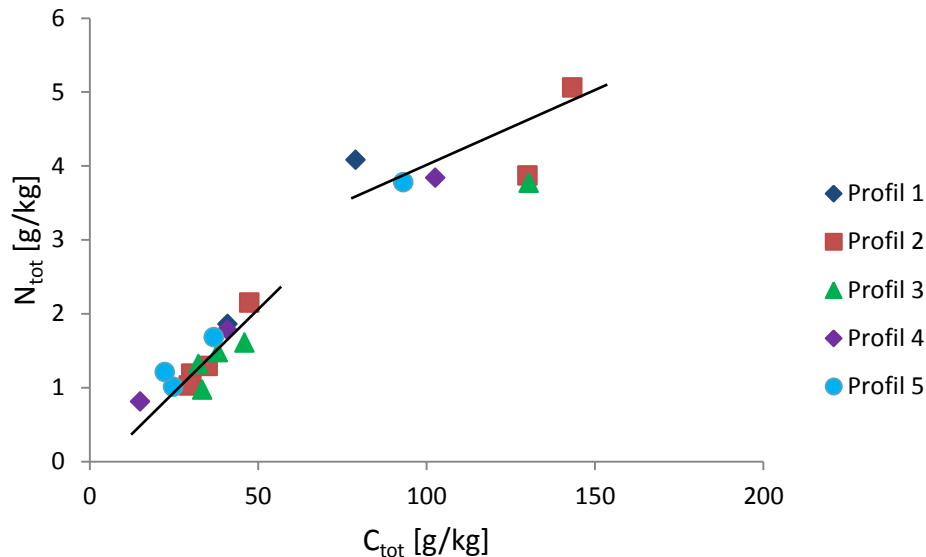


Abb. 23: Für jedes Profil und jeden Horizont sind der Totalkohlenstoffgehalt und der Totalstickstoffgehalt dargestellt.

Die beiden eingefügten Trendlinien zeigen den zweiteiligen Bereich der Bodenprofile. Im Bereich bis 50 g/kg  $C_{\text{tot}}$  beziehungsweise bis 2.5 g/kg  $N_{\text{tot}}$  sind die Datenpunkte aus den Horizonten unterhalb von etwa 20 cm der Bodenprofile. Die fünf Datenpunkte zwischen 75 g/kg und 150 g/kg  $C_{\text{tot}}$  beziehungsweise zwischen 3.7 g/kg und 5 g/kg  $N_{\text{tot}}$  sind aus dem obersten Horizont der Profile. Dieser Knick zwischen den beiden Geraden erinnert an denjenigen in Abb. 22.

Werden die beiden Totalgehalte an Kohlenstoff und Stickstoff miteinander dividiert, kommt das C/N-Verhältnis heraus, welches in Abb. 24 dargestellt ist.



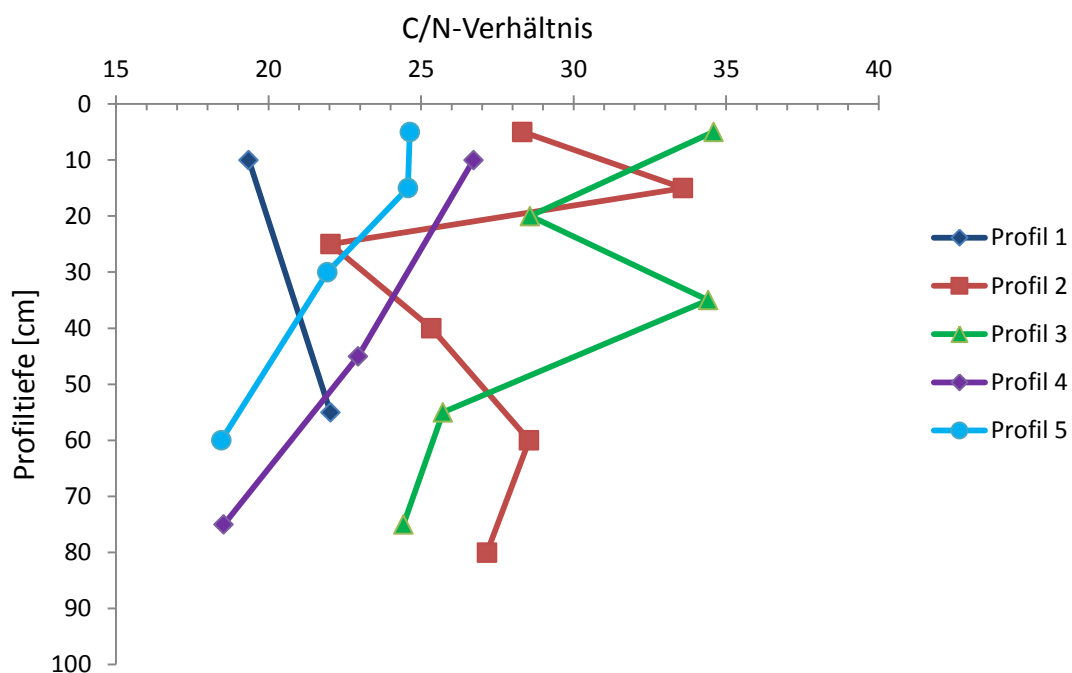


Abb. 24: Für jedes Profil und jeden Horizont ist das C/N-Verhältnis dargestellt.

Die Werte der Profile 2 - 4 weisen ein breiteres horizontales Spektrum auf, als Profile 1 und 5. Es gibt schwache gemeinsame Muster der C/N-Verhältnisse von den fünf Profilen, wenn sie miteinander verglichen werden. Tendenziell nimmt das C/N-Verhältnis mit der Profiltiefe ab. Innerhalb der Profile gibt es Ausreisser. Die steilere Abnahme in den Kurven ist zwischen 20 bis 30 cm.

## 3.4 Holzkohlenanalyse

### 3.4.1 Holzkohlen-Taxa-Bestimmung

Aus den gesiebten Bodenproben  $\geq 2$  mm wurden alle Holzkohlestücke herausgelesen und gewogen. Das Verhältnis zwischen dem Gesamtgewicht der Probe und der gesamten Masse an Holzkohlestücke wurde berechnet und nach der Profiltiefe normiert. In jedem Horizont und für jedes Profil stellt die eingefügte Darstellung (Abb. 25) diesen Zusammenhang dar.

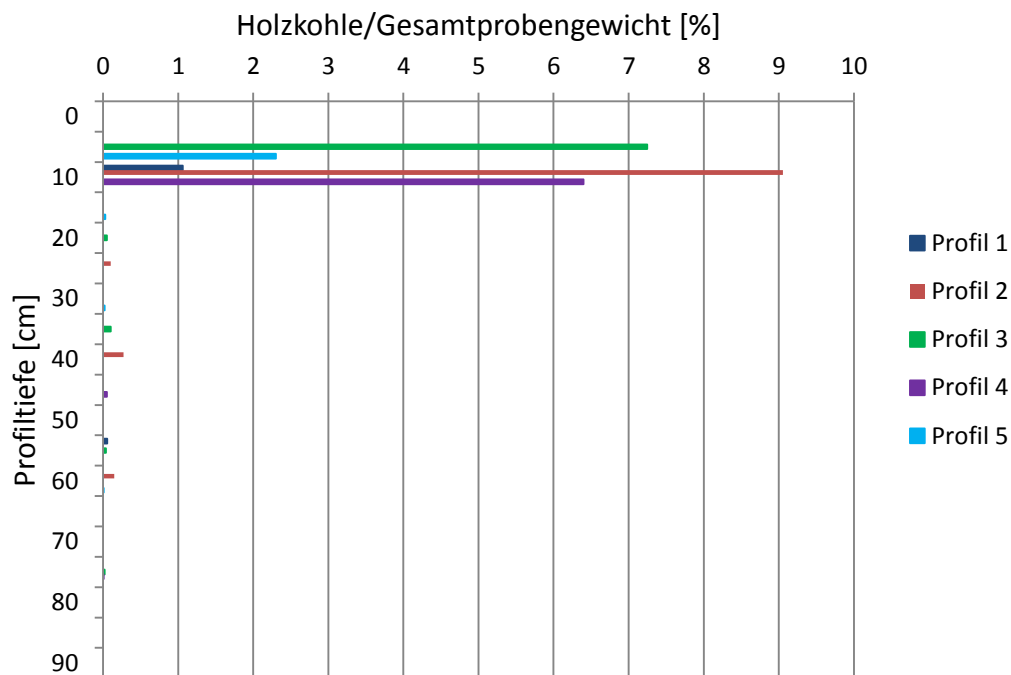


Abb. 25: Das Verhältnis der Holzkohle zum Gesamtprobengewicht in Prozent ist pro Profil und Horizont dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass die Holzkohlestücke vor allem in den obersten Bereichen der Profile gefunden wurden. Bei einer Tiefe ab 20 cm wurden nur noch einzelne Holzkohlestücke entdeckt. Die Angaben reichen im obersten Bereich nicht über ein Verhältnis von Holzkohle zum Gesamtgewicht von 10 %. Profil 2 weist mit ungefähr 9 % den grössten Anteil an Holzkohle auf.

Die Holzkohlestücke wurden in der Folge pro Horizont und Profil nach Nadelholz oder Laubholz unterschieden. Wie unter Kapitel 2.9.1 beschrieben, unterscheidet sich Laubholz von Nadelholz deutlich über das Vorhandensein von Gefässen = Tracheen beim Laubholz gegenüber Markstrahlen mit Tracheiden und Harzkanälen beim Nadelholz. Zusätzlich gibt es

weitere charakteristische Merkmale zur Unterscheidung der Gattung. In den eingefügten Fotos (Abb. 26) sind an der Buche (*Fagus sylvatica*) solche Merkmale ersichtlich. Abb. 26 links zeigt den Querschnitt der Buche (*Fagus sylvatica*) mit zwei ganzen Jahrringen und drei Jahrringgrenzen, welche durch Frühholz und Spätholz entstanden sind. Die Gefäße sind zerstreutporig angeordnet und die Markstrahlen sind breit und gegen die Jahrringgrenzen verdickt. Der Tangentialschnitt der Buche (*Fagus sylvatica*) ist in Abb. 26 in der Mitte dargestellt. Die Markstrahlen sind breit und vielreihig. Der Radialschnitt der Buche (*Fagus sylvatica*) ist gekennzeichnet durch die Markstrahlen mit offenen Durchbrechungen wie in Abb. 26 rechts dargestellt ist.

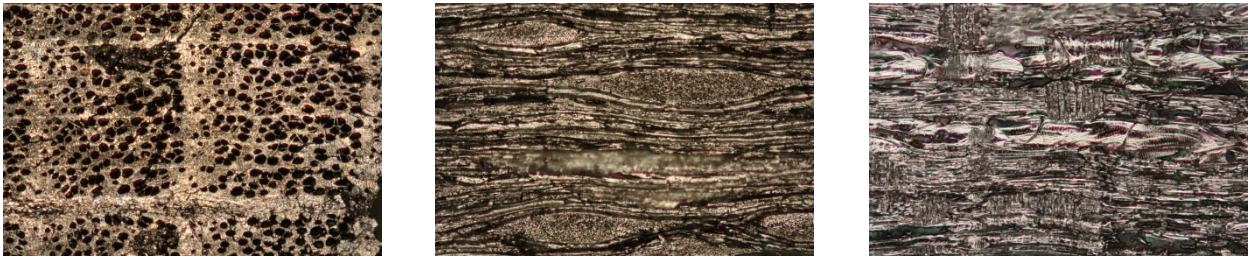


Abb. 26: Links: Querschnitt der Buche (*Fagus sylvatica*) Mitte: Tangentialschnitt der Buche (*Fagus sylvatica*) Rechts: Radialschnitt der Buche (*Fagus sylvatica*) Alle Fotos wurden mit Objektiv 5x aufgenommen (Foto: Schoch, 2013).

Die Einteilung erfolgte idealerweise in zwei Kategorien (Nadelholz/Laubholz) wenn es keine unbestimmbaren Stücke gab, beziehungsweise in drei Kategorien (Nadelholz/Laubholz/Unbestimmbar). In Abb. 27 werden diese Verhältnisse in Prozent zur Profiltiefe pro Horizont für alle fünf Profile dargestellt.

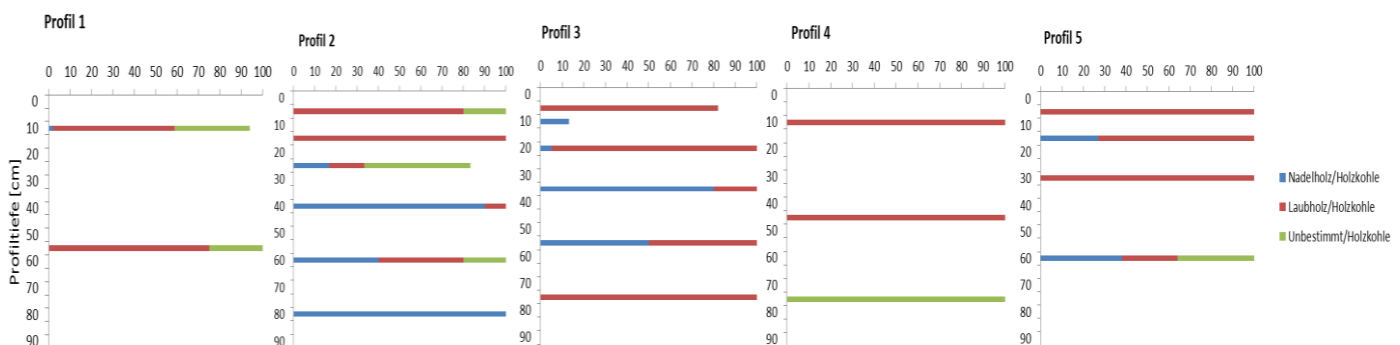


Abb. 27: Die Holzarten sind in Prozentanteil zum Gesamtprobengewicht der gefundenen Holzkohlestücke pro Profil und Horizont aufgetragen.

Die Profile weisen recht unterschiedliche Verhältnisse zwischen Nadelholz und Laubholz zum gesamten Gewicht der Holzkohle auf. In Profil 1 und 4 überwiegt das Laubholz. In Profil 2 nimmt das Laubholz mit der Tiefe ab. Profil 3 zeigt im obersten und untersten Bereich ausschliesslich Laubholz und dazwischen ist Nadelholz vermehrt vertreten. Laubholz kommt auch in Profil 5 in der obersten und mittleren Schicht vor. Dazwischen und ganz unten gibt es aber auch Nadelholz.

### 3.4.2 <sup>14</sup>C-Altersbestimmung

Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Alter im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit der fünf analysierten Holzkohlestücke des Profils 2 sind zwischen -4 und 2'711 cal BP datiert. Zur Eingrenzung des kalibrierten <sup>14</sup>C-Alters ist die grösste Häufigkeit des <sup>14</sup>C-Alters mit der Angabe der Wahrscheinlichkeit in Prozent eingetragen. Bei den bearbeiteten Horizonten bAE und bE bleiben die Angaben im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit bestehen. Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Alter sind nun im Bereich von 56 bis 2'711 cal BP. In Kalenderjahre umgerechnet, bezogen auf den 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit, sind die Holzkohlestücke zwischen 1954 AD und 761 BC verkohlt worden. Bezüglich der grössten Häufigkeit der kalibrierten <sup>14</sup>C-Alter ist der Bereich zwischen 1894 AD und 761 BC. Dies betrifft, sowohl mit als auch ohne die Einschränkung des häufigsten Bereiches, die Kulturstufe der Neuzeit (500 BP – heute) bis zurück in die Eisenzeit (2'700 – 2'000 BP) und die Klimastufen des Subatlantikums (2'500 BP – heute) und des Subboreals (5'000 – 2'500 BP). Die zunehmenden Alter entsprechen der grösseren Profiltiefe. Eine Ausnahme bilden die beiden Horizonte bAE und bE. Das Holzkohlestück des tiefer liegenden Horizontes ist jünger. Vier der fünf Proben sind von der Buche (*Fagus sylvatica*). Das Holzkohlestück des tiefsten Horizontes ist von Arve oder Wald-Föhre (*Pinus*). Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Alter weisen Bereiche zwischen 47 und 346 Jahren im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit auf, was die Bereiche der Kalenderjahre ebenfalls weitet.

In Tab. 16 sind die Resultate der <sup>14</sup>C-Altersbestimmung zusammengefasst. Die Holzart wurde mit der vorgestellten Methode unter Kapitel 2.9.1 bestimmt. Die zeitliche Gliederung der Kulturstufe und der Klimastufe erfolgte nach Burga und Perret (1998).

Tab. 16: Ein Holzkohlestück pro Horizont des Profils 2 wurde nach Holzart eingeteilt und das  $^{14}\text{C}$ -Alter bestimmt. Das  $^{14}\text{C}$ -Alter wurde im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit kalibriert, in Kalenderjahre umgerechnet und der Kulturstufe sowie der Klimastufe zugeteilt. Der häufigste Bereich des  $^{14}\text{C}$ -Alters und der Kalenderjahre ist mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit in % angegeben.

Horizonte Tiefe [cm]	Holzart	$^{14}\text{C}$ -Alter kon- ventionell [BP]	$^{14}\text{C}$ -Alter kalibriert 2- $\sigma$ - Bereich [cal BP]	$^{14}\text{C}$ -Alter kalibriert/ häufigster Bereich [cal BP/%]	Kalender- jahre [BC/AD]	Kalender- jahre/ häufigster Bereich [BC/AD]	Zeitstufe [Kulturstufe, Klimastufe]
O 10-20	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	139 $\pm$ 41	1 - 283	56 – 283 79.2	1667 - 1950 AD	1667 - 1894 AD	Neuzeit Subatlantikum
Bs 20-35	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	193 $\pm$ 41	-4 - 308	131 – 308 71.3	1642 - 1954 AD	1642 - 1819 AD	Neuzeit Subatlantikum
bAE 35-50	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	624 $\pm$ 43	545 - 665		1285 - 1405 AD		Mittelalter Subatlantikum
bE 55-65	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	455 $\pm$ 25	487 - 534		1416 - 1463 AD		Mittelalter Subatlantikum
bBs 65-90	<i>Pinus</i> (Wald- Föhre / Arve)	2470 $\pm$ 25	2365 - 2711	2435 – 2711 89.4	415 - 761 BC	485 - 761 BC	Eisenzeit Subboreal

In Profil 5 wurden drei Holzkohlestücke datiert. Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Alter im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit sind zwischen 3 und 915 cal BP, was den Verkohlungsprozess in die Kalenderjahre von 1947 bis 1035 zuordnet. Die Eingrenzung gibt nur beim obersten Horizont ein neues Ergebnis. Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Alter mit einer Wahrscheinlichkeit von 79.6 % sind innerhalb von 56 bis 282 cal BP, was Kalenderjahre zwischen 1894 bis 1668 AD ergibt. Die Klimastufe ist das Subatlantikum (2'500 BP – heute) und die Kulturstufen sind die Neuzeit (500 BP – heute) und das Mittelalter (1'200 - 500 BP). Im untersten Horizont ist ungefähr derselbe Zeitraum ausgerechnet worden, wie im obersten Horizont. Der mittlere Horizont weist das grösste Alter auf. Die Altersverteilung entspricht nicht der Horizontabfolge im Profil. Alle Holzkohlestücke sind von der Buche (*Fagus sylvatica*).

Die Zusammenfassung der Resultate der  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung ist in Tab. 17 aufgelistet. Die Holzart wurde nach Kapitel 2.9.1 zugeordnet. Die Zeitstufen wurden nach Burga und Perret (1998) eingeteilt.

Tab. 17: Ein Holzkohlestück pro Horizont des Profils 5 wurde nach Holzart eingeteilt und das  $^{14}\text{C}$ -Alter bestimmt. Das  $^{14}\text{C}$ -Alter wurde im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit kalibriert, in Kalenderjahre umgerechnet und der Kulturstufe sowie der Klimastufe zugeteilt. Der häufigste Bereich des  $^{14}\text{C}$ -Alters und der Kalenderjahre ist mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit in % angegeben.

Horizonte Tiefe [cm]	Holzart	$^{14}\text{C}$ -Alter kon- ventionell [BP]	$^{14}\text{C}$ -Alter kalibriert 2- $\sigma$ - Bereich [cal BP]	$^{14}\text{C}$ -Alter kalibriert/ häufigster Bereich [cal BP/%]	Kalender- jahre [BC/AD]	Kalender- jahre/ häufigster Bereich [BC/AD]	Zeitstufe [Kulturstufe, Klimastufe]
Bs 10-25	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	137 $\pm$ 41	3 - 282	56 – 282 79.6	1668 - 1947 AD	1668 - 1894 AD	Neuzeit Subatlantikum
Bs 25-40	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	879 $\pm$ 48	698 - 915		1035 - 1252 AD		Mittelalter Subatlantikum
Bw 40-80	<i>Fagus sylvatica</i> (Buche)	120 $\pm$ 25	11 - 270		1680 - 1939 AD		Neuzeit Subatlantikum

Mit der Profiltiefe ist zu erwarten, dass das Alter der Holzkohlestücke zunimmt. In Abb. 28 sind die Kalenderjahre für das Profil 2 aufgetragen. Wie bereits erwähnt ist in Profil 2 in 40 cm Tiefe ein Holzkohlestück datiert, welches jünger ist als von der Horizontabfolge her zu erwarten wäre. In der Abbildung ist durch die Länge der Balken der datierte Altersbereich ersichtlich, der bei der  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung herausgekommen ist. Je länger der Strich ist, desto grösser ist der Bereich der Kalenderjahre in der die Holzkohle entstanden ist. Diese Kalenderjahre wurden durch die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Alter im 2- $\sigma$ -Bereich mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit berechnet. In Profil 2 nimmt die Länge des Altersbereiches mit der Tiefe ab. Das unterste Stück ist jedoch wieder grösser. Die Bereiche der Kalenderjahre, die eine mögliche Zuordnung zum absoluten Alter wiedergeben und den Unsicherheitsbereich der Datierung widerspiegeln sind ziemlich breit und nehmen mit dem Alter der Holzkohle nicht unbedingt ab.

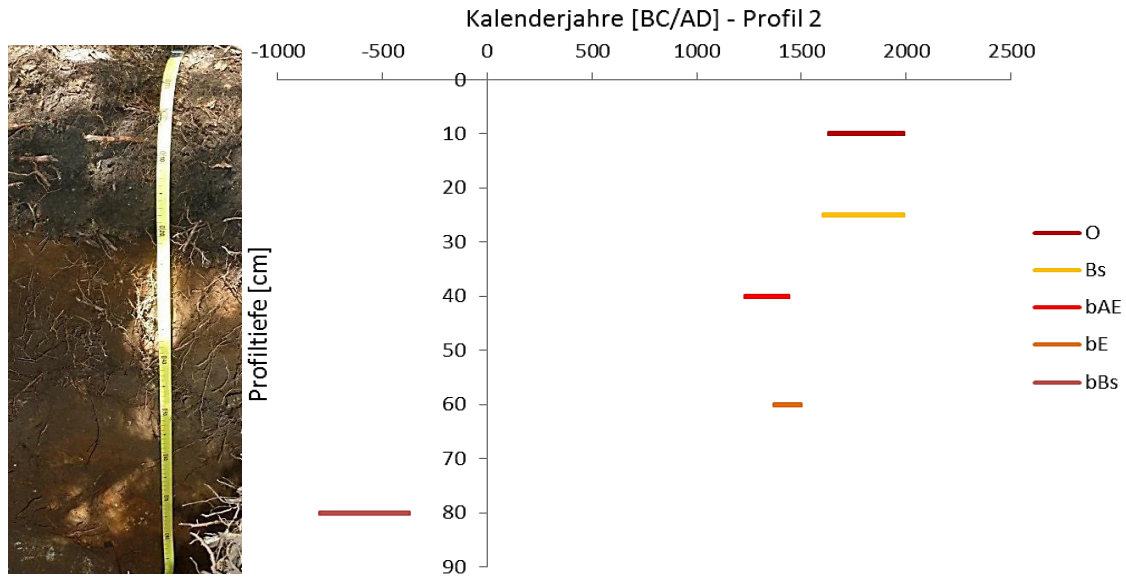


Abb. 28: Für das Profil 2 sind die Zeitintervalle der Kalenderjahre der datierten Holzkohlestücke zur Profiltiefe eingetragen.

Dieselben Resultate gibt Abb. 29 für Profil 5 wieder. Das Holzkohlestück der Tiefe 65 cm ist älter als das nächste, das tiefer liegt. Der mittlere Balken ist am kleinsten, jedoch unmerklich gegenüber den anderen beiden. Die Unsicherheiten gegenüber der Festlegung des absoluten Alters sind für alle drei <sup>14</sup>C-Altersbestimmungen etwa gleich gross.

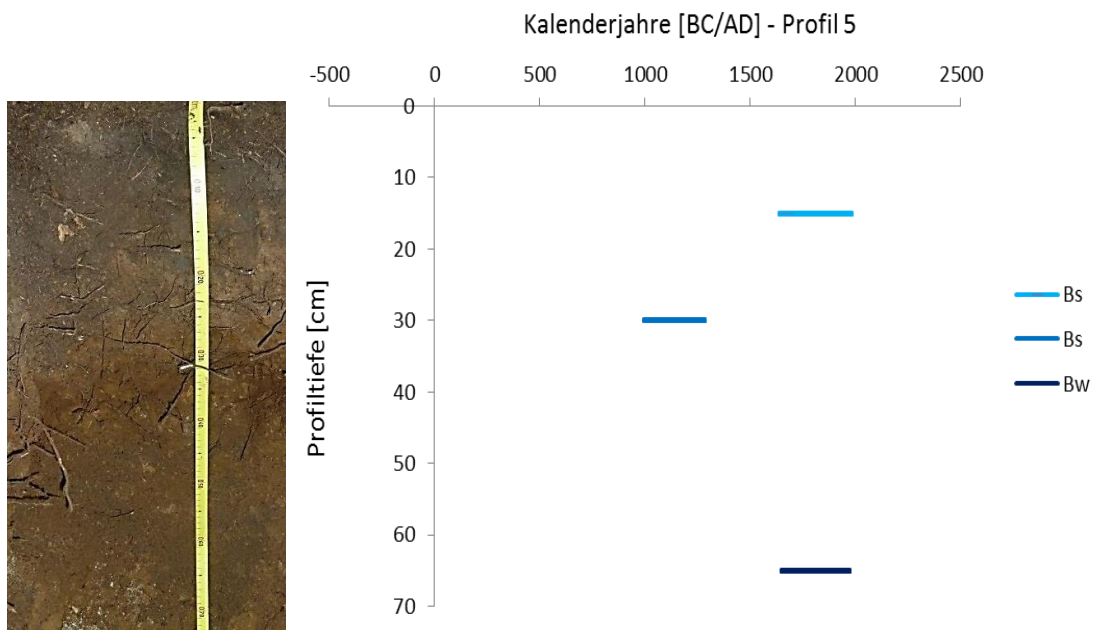


Abb. 29: Für das Profil 5 sind die Zeitintervalle der Kalenderjahre der datierten Holzkohlestücke zur Profiltiefe eingetragen.

## 4. Diskussion

### 4.1 Probenahme

Die Holzköhlereien wurden durch Begehung des Untersuchungsgebietes mit Roberto Buffi und der Dokumentation zum Waldreservates Onsernone gefunden (Buffi, 2012). Zur Sicherheit wurde jeweils der Platz angestochen, um die Kohleschicht bestätigt zu haben (Patterson et al., 1987). Die Anzahl der Holzköhlereien im Valle Onsernone ist nicht bekannt, da es keine historischen Dokumente gibt (Cherubini, 2010). Die Probenahme fanden in einem Gebiet statt, welches ein Waldreservat ist, in dem die Wege nicht verlassen werden dürfen (Buffi, 2012). Die fünf Standorte geben daher keine Repräsentativität an Holzköhlereien des Valle Onsernone wieder (Ludemann, 2002b). Für die gesamthafte und repräsentative Aufnahme und Kartierung der Holzköhlereien, müsste systematischer vorgegangen werden. Dies war allerdings nicht das Ziel dieser Masterarbeit.

Zur vollständigen Erfassung der Holzkohlestücke einer Holzköhlerei schlägt Hillebrecht (1982) vor, über das gesamte Gebiet der Holzköhlerei vertikal und horizontal regelmässig verteilt, einzelne Proben zu nehmen (Ludemann, 2002b). Anreicherungen von Holzkohlestücken derselben Baumart kann ausgewichen werden und das gesamte Spektrum der möglichen verkohlten Holzarten kann berücksichtigt werden (Nölken, 2005). Von dieser stratifizierten Methode wurde abgesehen, da sie sehr zeit- und kostenintensiv ist. Die  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung liefert Altersangaben in einem gewissen Altersintervall (Hajdas, 2009), so dass zeitlich unterschiedliche Verkohlungsprozesse im gleichen Horizont nicht abgegrenzt werden können (Nölken, 2005). Dies bedeutet, dass vom gleichen Horizont mehrere  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen vorgenommen werden müssen. Es wurde in dieser Arbeit pro Holzköhlerei in der Mitte des Platzes ein Profil gegraben und pro Horizont eine Probe gewonnen. Auf die Anzahl und die Grösse der Holzkohlestücke wurde bei der Probeentnahme im Feld nicht geachtet. Ludemann (2002b) meint, dass aus jeder Holzkohleschicht mindestens 100 Stück, mit einem Volumen von  $0.25 \text{ cm}^3$ , herauszusuchen sind (Ludemann, 2002b). Figueiral und Mosbrugger (2000) weisen darauf hin, dass für eine repräsentative Aussage mindestens 200-250 Holzkohlestücke pro Horizont nötig sind (Figueiral und Mosbrugger 2000). Es kann deshalb weder eine qualitative noch eine quantitative Aussage über die Holzarten der Holzköhlereien gemacht werden.



## 4.2 Kohlenstoff im Boden

Die untersuchten Böden auf silikatischem Ausgangsmaterial weisen tiefe pH-Werte und demzufolge sauren Charakter auf (Kretschmar, 2010), was zu Standorten im Wald passt (Gisi, 1997). Der in Kapitel 3 immer wieder erwähnte Knick bei Profiltiefe 20 cm ist am Übergang der Kohleschichten, begründet durch die Holzköhlereien, zu den Bodenhorizonten, welche nicht durch die Holzköhlereien tangierten wurden. Dies zeigt sich im pH-Wert und in den erhaltenen Ergebnissen durch die C,H,N-Analyse deutlich.

Der Totalgehalt an Kohlenstoff nimmt mit der Profiltiefe ab und ist in Podsolen grösser als in Braunerden (Blume, 2010). Die Böden wären vereinbar mit den Eigenschaften von Podsolen oder Braunerden, wenn sie nicht anthropogen umgeschichtet worden wären. Für Böden im Valle Onsernone, die nicht von Holzköhlereien betroffen sind wird diese Zuordnung auch gemacht (Buffi, 2012). Die Profile 2 - 4 entsprechen demzufolge am ehesten eines Podsol mit höheren Kohlenstoffwerten, als die Braunerden von Profil 1 und 5. Der stark abfallende Kurvenverlauf des Totalgehaltes an Kohlenstoff bei ungefähr 20 cm trennt die eigentlichen Holzkohleschichten von den normalen Bodenhorizonten mit nur wenig Holzkohle (Ludemann, 2002b). Es ist zu vermuten, dass die Holzkohleschichten von den Holzköhlereien herrühren. Die darunter gefundenen Holzkohlestücke, die zu einem deutlich minderen Totalgehalt an Kohlenstoff beitragen, stammen von anderen Feuerereignissen und widerspiegeln eine Bodenentwicklung, wie sie ohne den Einfluss von Holzköhlereien geschehen kann.

Die C/N-Verhältnisse der fünf Profile nehmen mit der Tiefe ab und zeigen wiederum einen steileren Kurvenverlauf zwischen 20 bis 30 cm. Dies weist auf die Trennlinie der Kohleschichten der Holzköhlereien oder allgemein formuliert, eines Verbrennungsprozesses zu den anderen Horizonten eines typischen Bodens hin (Ludemann, 2002b). Die Ausreisser der C/N-Werte deuten auf die anthropogenen Veränderungen, also die Umschichtungen der Horizonte, hin (Blume, 2010).

Der Kohlenstoffgehalt und das C/N-Verhältnis sind im Oberboden deutlich höher als im Unterboden. Der nicht lineare Kurvenverlauf als zweiteiligen Geradenverlauf weist darauf hin. Dieser Unterschied zeigt, dass der Holzkohlenanteil bis etwa 30 cm sehr gross ist und im Falle der Art der Fundstelle, von der Holzköhlerei herrührt (Nölken, 2005). Diese Trennlinie

zwischen offensichtlichen Kohleschichten der Holzköhlereien und in Kombination mit der  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung der Holzkohlestücke, kann ein Versuch gewagt werden, einen Zeitpunkt festzulegen, wann und wie lange die Holzköhlereien betrieben worden sind: seit dem Mittelalter (ab 1035 AD) wurde im Valle Onsernone in Holzköhlereien die Produktion von Holzkohle angetrieben. Wahrscheinlich stammt der Anteil an Kohlenstoff, der unteren Horizonte von Holzkohle der Waldbrände. Das datierte Holzkohlestück der Eisenzeit (415 – 761 BC) ist wohl ein Holzkohlestück aus anderer Herkunft.

Mittels der Stratigraphie der Holzkohlefunde im Bodenprofil und der nötigen Vorsicht der Interpretation (Favilli et al., 2010; 2009) lassen sich Rückschlüsse zur Entwicklung der Bodenmächtigkeit formulieren (Cherubini et al., 1994) und das Alter des Bodens kann abgeschätzt werden, wenn der Boden nicht natürlich oder anthropogen umgeschichtet worden ist (Favilli et al., 2010; 2009). Die Podsole beispielsweise entwickeln sich in 3000 - 8000 Jahren (Cherubini et al., 1994). Bis zu einer Tiefe von 50 cm im Profil 2 beziehungsweise 40 cm in Profil 5, verläuft das Holzkohlealter mit der Profiltiefe. Wird davon ausgegangen, dass sich der Boden ebenso entwickelt hat, ist das Alter des Bodens von Profil 2 bis in diese Tiefe zwischen 545 – 665 cal BP und von Profil 5 zwischen 698 – 915 cal BP. Dieser Profilbereich von 50 cm in Profil 2 und von 40 cm in Profil 5 entwickelt sich seit dem Mittelalter (1'200 - 500 BP). Der folgende Horizontbereich beider Profile ist jünger, wie die Datierungen der Holzkohle ergeben haben. Das Alter des Bodens dieser Tiefen ist für Profil 2 zwischen 487 – 534 cal BP und für Profil 5 zwischen 11 – 270 cal BP, was der Neuzeit (500 BP - heute) entspricht. Der unterste Bodenanteil von 25 cm des Profils 5 hat sich in der Eisenzeit (2'700 – 2'000 BP) zwischen 2365 – 2711 cal BP entwickelt. Diese Zusammenhänge können Tab. 16 und Tab. 17 entnommen werden. Da alle Profile menschlich bearbeitet wurden, kann dieser Zusammenhang nicht abschliessend hergestellt werden. Transportmechanismen von Pflanzen, Tieren und Bodenorganismen können ebenso verantwortlich sein für keine gleichsinnige Bodenentwicklung mit dem Holzkohlealter (Carcaillet, 2000), wie auch die Dynamik des Bodens selber (Cherubini et al., 1994). Laut Carcaillet (2001) braucht ein Stück Holzkohle weniger als 500 Jahre um im Boden einen Meter tiefer zu gelangen. Die meisten Stücke finden sich aber in den ersten 30 cm. Es ist schwierig Holzkohlestücke zur Altersangabe des Bodens zu verwenden (Carcaillet, 2001). Zur sichereren Bestimmung des Bodenalters, zum Beispiel über den Grad der Podsolierung, müssten weitere chemische Analysen der Bodenproben vorgenommen werden (Favilli et al., 2009).

## 4.3 Holzkohleanalysen

Die beiden angewandten Methoden der Holzkohleanalysen haben beide ihre Methodenunsicherheiten, wie im Folgenden kurz dargelegt wird.

### 4.3.1 Holzkohlen-Taxa-Bestimmung

Die Zuordnung zu einer Baumart bedingt das Erkennen der drei Schnittebenen. Die Holzkohlestücke sollten möglichst frei sein von Fremdmaterial und eine Mindestgrösse aufweisen. Die Holzkohlen-Taxa-Bestimmung ist schwieriger bei verkohltem, als bei rezentem Holz, weil der Verkohlungsprozess einen Substanzverlust bedingt (Schweingruber, 1990b). Aus diesen Gründen ist es wichtig, geübte Personen beizuziehen. Es wurde verzichtet, die Baumarten weiter in Gattungen zu differenzieren. Eine Unterscheidung in Nadel- und Laubholz wurde vorgenommen und nur die Holzkohlestücke, die zur  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung gelangten, wurden nach deren Gattung bestimmt.

### 4.3.2 $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung

Die zeitliche Unschärfe der Resultate der  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung muss berücksichtigt werden (Cherubini et al., 1994). Das Erstellen von Chronologien und die Kalibration der Daten steht unter ständiger Weiterentwicklung (Hajdas, 2008). Die bestimmten Alter lassen einen gewissen zeitlichen Bereich zu und sind nicht absolut zu verstehen. Ausschliesslich anhand Resultate der  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung, kann keine Vegetationsgeschichte gesichert aufgezeigt werden.

## 4.4 Vegetationsgeschichte

Die Rekonstruktion der Vegetationsgeschichte des Valle Onsernone anhand der Holzkohlefunde aus den Holzköhlereien der fünf Profilstandorte ist nur bedingt möglich. Dies aus den erwähnten Methodenunsicherheiten (siehe Kapitel 4.3) und aus der nicht repräsentativen Vorgehensweise (siehe Kapitel 4.1). Dennoch lässt sich feststellen, dass der Typische Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*) seit dem Mittelalter in der montanen Höhenstufe des Onsernonetales weiterbesteht.

Die Vegetationsänderung von Nadelholzwald zu Laubholzwald ab 10'000 BP war durch klimatisch bedingte Erwärmung möglich (Tinner et al., 1999). Es treten ab dem Präboreal

(10'000 – 9'000 BP) Laubmischwälder auf (Burga, 1988). Die Tanne (*Abies alba*) verschwindet menschlich bedingt ab 3150 cal BP aus den kollinen Höhenstufen und ist in höheren Lagen anzutreffen (Tinner et al., 1999). Die Edelkastanie (*Castanea sativa*) ist in der kollinen Höhenlage zu finden (Burga, 1988) und kommt erst seit 3'000 BP in der Südschweiz vor (Gobet et al., 2000). Es erstaunt nicht, dass keine Edelkastanie (*Castanea sativa*) in den Bodenprofilen der montanen Höhenstufen entdeckt wurde. Hingegen bestätigen die gefundenen Holzkohlestücke von Laubholz und Nadelholz, dass beide Gehölzgattungen vorgekommen sind. Die Holzkohlen-Taxa-Bestimmung brachte, vor allem in den tiefer gelegenen Profilen, mehr Laubholz als Nadelholz hervor, was aus klimatischen Gründen nachvollziehbar ist. Das meiste Laubholz stammte von Buche (*Fagus sylvatica*). Die Vegetation in der Südschweiz weist seit 6'000 BP diese Baumart auf (Tinner et al., 1999). Die datierten Holzkohlestücke mittels  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung der Buche (*Fagus sylvatica*), sind zwischen 1035 – 1954 AD verkohlt worden und bestätigen das Vorkommen dieser Baumart im Onsernonetal. Mit der Profiltiefe nimmt auch das Alter der datierten Holzkohlestücke zu (Cherubini et al., 1994), wenn der Boden nicht gestört wurde (Favilli et al., 2010). Die Vegetationsgeschichte kann aufgegleist werden (Cherubini et al., 1994). Die Profile einer Holzköhlerei sind anthropogen verändert, woraus dieser Rückschluss nur bedingt möglich ist (Carcaillet, 2001). In diesem Fall muss die Horizontabfolge überdenkt werden. Die Holzkohlefunde weisen im Oberboden deutlich höhere Werte auf als im Unterboden. Die oberen Holzkohlestücke rühren von Holzköhlereien her, während die unteren Holzkohlestücke von anderen Feuerprozessen stammen (Nölken, 2005). So kann festgestellt werden dass die Holzköhlereien seit dem Mittelalter (ab 1035 AD) bis etwa 1954 betrieben wurden.

Anthropogen verursachte Waldbrände spielen seit 7000 Jahren eine Rolle in der Vegetationszusammensetzung des Tessins (Tinner et al., 1999). Das Holzkohlestück von Arve oder Föhre (*Pinus*) in Profil 2 des untersten Horizontes mit einem Alter von 2365 bis 2711 cal BP aus der Eisenzeit (415 – 761 BC) stammt wahrscheinlich von einem Waldbrand. Sicher ist, dass dieses verkohlte Holzstück von Arve oder Föhre (*Pinus*) nicht aus dem Prozess der Holzköhlerei stammt. Die Möglichkeit einer Windverfrachtung ist nicht gegeben. Das Holzkohlestück hatte ungefähr einen Durchmesser von 1 mm. Die Geschwindigkeit eines Holzkohlestückes von 2  $\mu\text{m}$  beträgt  $1.19 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sec}$  und diejenige eines Holzstückes mit Durchmesser von 100  $\mu\text{m}$  liegt bei 25 cm/sec (Patterson et al., 1987). Im Wald müsste ein

Holzkohlestück zudem thermischen Auftrieb erhalten, um über die Bäume hinweg transportiert zu werden. Dies geht nur, wenn die Grösse des Holzkohlestückes und die Windgeschwindigkeit zusammenpassen (Clark, 1988). Es kann von einer Arve (*Pinus cembra*), einer Wald-Föhre (*Pinus sylvestris*) oder einer aufrechten Berg-Föhre (*Pinus mugo*) sein, die sich dort als Pionierpflanze nach einem Waldbrand etabliert hat (Tinner et al., 1999). Eine weitere Möglichkeit ist, dass es aus einer höheren Vegetationsstufe kommt und durch Bodenprozesse in diesen Boden gelangt ist (Carcaillet, 2001).

Im Falle der Holzköhlereien wurde selektiv Holz geköhlernt. Es ist deshalb nicht möglich, ein einheitliches Bild der Vegetationszusammensetzung zu geben (Ludemann, 1996). Die Vegetation des Untersuchungsgebietes widerspiegelt nur einen Teil der möglichen Vegetation, die in einer Region vorkommen kann (Ludemann, 2002b). Die Quantifizierung der Holzkohle lässt nicht unbedingt den Schluss zu, dass dieselben Mengenverhältnisse der Vegetationszusammensetzung geherrscht haben (Ludemann, 1996). Findet man in den Bodenprofilen über die Tiefe verstreut Holzkohlestücke, lässt das eher einen Schluss auf langfristige Vegetationsveränderungen zu. Dagegen weisen konzentrierte Holzkohlefunde auf kurzzeitliche Ereignisse hin (Figueiral und Mosbrugger 2000). Die Produktion von Holzkohle ist abhängig von der Holzart und die verbleibende Menge an Holzkohle nach dem Verbrennungsprozess. Arve (*Pinus cembra*) und Laubholz produzieren mehr Holzkohle als zum Beispiel Lärche (*Larix decidua*). Diese Tatsache müsste bei einer Quantifizierung berücksichtigt werden (Fréjaville et al., 2012). Der Brennwert von Nadelholz ist geringer als derjenige von Laubholz. Die Selektion der zu verbrennenden Holzart könnte deshalb erfolgt sein (Ludemann, 2008). Die rezente Vegetation um die Holzköhlereien weist Nadelholz auf. In den Kohleschichten der Bodenprofile wurde mehr Laubholz als Nadelholz gefunden, was die Selektion der Holzarten zur Verwendungen in den Holzköhlereien bestätigen würde. Das gefundene Nadelholz kann dennoch als Abdeckmaterial gedient haben und sekundär verkohlt worden sein (Ludemann, 2008). In den Holzköhlereien wurde keine gebietsfremde Holzart entdeckt. Die bestimmten Holzarten stammen aus rezent bekanntem Bestand oder aus postglazialer Vegetationszusammensetzung. Es kann ausgeschlossen werden, dass Holz zu den Holzköhlereien transportiert wurde. Auch Ludemann (1996; 2002a) fand in den untersuchten Holzköhlereien im Schwarzwald kein Holzstück, das transportiert wurde, um in der Holzköhlerei verarbeitet zu werden (Ludemann, 1996; 2002a). Der anthropogene Einfluss auf die Artenzusammensetzung kann anderweitig durch die Bewirtschaftung der

Landschaft und durch die Forstwirtschaft sein (Ludemann, 1996). Seit 7'000 Jahren ist bekannt, dass der Mensch aktiv die Landschaft mitgestaltet hat (Cherubini et al., 1994). Die Zunahme der Buche (*Fagus sylvatica*) könnte durch die Menschen hervorgerufen worden sein, wenn sie vermehrt diese Baumart gepflegt haben, um die Holzköhlerei zu betreiben (Valsecchi et al., 2010). Nadelholz wird weniger rasch abgebaut als Laubholz. Es kann sein, dass Nadelholz mehr vorkommt als Laubholz (Cherubini et al., 1994). Diese Sachlage müsste bei der Aufarbeitung der Vegetationsgeschichte berücksichtigt werden. Die gewonnenen Proben sind nicht umfangreich genug (Cherubini et al., 1994), um die Vegetationsgeschichte lückenlos aufzuarbeiten und alle Arten zu erfassen.

Die Stratigraphie der Holzkohlefunde im Bodenprofil lassen keine Rückschlüsse zur Entwicklung der Bodenmächtigkeit und zum Alter des Bodens zu, weil der Boden anthropogen umgeschichtet worden ist. Carcaillet (2001) macht darauf aufmerksam, dass der Zusammenhang zwischen Bodentiefe und Holzkohlealter nicht gilt, wenn Bioturbation und Bodenbildungsprozesse die Stratifizierung stören können (Carcaillet, 2001). Aus den <sup>14</sup>C-Altersbestimmungen kann nur der absolute Zeitraum gewesener Vegetation und der Verkohlungszeitpunkt definiert werden und nicht das Bodentalter oder die Bodenmächtigkeit.

## 5. Schlussfolgerung

Die Vegetationsgeschichte des Valle Onsernone nur durch fünf Bodenprofile des Waldreservates und mit geringer Anzahl von Holzkohlestücke der Bodenhorizonte aufzuarbeiten, ist nicht gesichert möglich. Es müssten mehr Profile bearbeitet und pro Standort mehrere Proben genommen werden, um die Vegetationsgeschichte des Valle Onsernone lückenlos aufzustellen. Trotzdem kann festgelegt werden, dass der Typische Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum typicum*) im Valle Onsernone seit dem Mittelalter (1'200 – 500 BP) existiert und bis heute besteht. Die Vegetationszusammensetzung hat sich nicht verändert und gebietsfremde Arten sind nicht aufgetaucht. Das älteste Holzkohlestück (2365 - 2711 cal BP / Eisenzeit) von Arve oder Föhre (*Pinus*) rührt wahrscheinlich von einem Waldbrand her und gelangte eventuell durch Bodenprozesse in den Boden.

Es ist möglich den Betrieb der Holzköhlereien zeitlich einzuordnen. Seit 1035 AD (Mittelalter) wurde im Valle Onsernone Holzkohle hergestellt. Die meisten Holzkohlestücke stammen von Laubholz und konnten der Buche (*Fagus sylvatica*) zugeordnet werden. Die Holzköhlereien sind heute nicht mehr in Betrieb, wurden jedoch bis ungefähr 1954 AD noch genutzt. Die einseitigen Funde der Baumarten geben den Hinweis, dass selektiv Holzarten zur Holzkohleherstellung verwendet wurde. Diese Feststellung gibt zu bedenken, dass anhand Holzkohleanalysen der Holzkohlestücke aus Holzköhlereien die Vegetationsgeschichte mit Vorsicht wiedergegeben werden kann.

Die Beurteilung der Böden bedarf weiterer chemischer und physikalischer Analysen. Die getätigten Analysen reichen zur Standortbeschreibung und zur Bestätigung, dass die Braunerden in tieferen Lagen und die Podsole in höher gelegenen Regionen des Valle Onsernone vorkommen. Aussagen zur Bodenentwicklung durch die Holzkohleanalysen ist nur möglich, wenn die Böden ungestört sind, was im Falle der untersuchten Profile nicht gegeben ist.

## 6. Literatur

- Bär J. 1918. Die Vegetation des Val Onsernone (Kanton Tessin). *Journal of Ecology*, 6, 235-239.
- Berli, S. 1996. Brandspuren in den Wäldern der Alpensüdseite. (Hrsg. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf). Kommissionsverlag F. Flück-Wirth. Internationale Buchhandlung für Botanik und Naturwissenschaften, Teufen.
- Blume, H.-P. 2010. Physikalische Eigenschaften und Prozesse. In: Scheffer/Schachtschabel, 2010. *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Auflage. Kapitel 7, 273-361. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Bowman, S.G.E. 1990. Radiocarbon Dating. University of California Press, Berkley and Los Angeles, The Trustees of the British Museum, London.
- Bronk Ramsey, C. 2001. Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon*, 43, 355-363.
- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51, 337-360.
- Brunner, H., Conradin, H., Gasser, U., Kayser, A., Lüscher, P., Meuli, R., Müller, M., Nievergelt, J., Pazeller, A., Peyer, K., Presler, J., Weisskopf, P. und Zürrer, M. 2008. Klassifikation der Böden der Schweiz. Bodenprofiluntersuchung, Klassifikationssystem, Definitionen der Begriffe, Anwendungsbeispiele. 3. Auflage. (Hrsg. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Luzern).
- Bürgi, M. und Stuber, M. 2003. Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800–1950. Waldfeldbau, Waldfrüchte und Harz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 154, 360-375.
- Buffi, R. 2012. Guida Natura. Riserva forestale dell'Onsernone. (Hrsg. Commune di Onsernone).
- Burga, C.A. 1979. Postglaziale Klimaschwankungen in Pollendiagrammen der Schweiz. *Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich*, 124, 265-283.
- Burga, C.A. 1988. Swiss vegetation history during the last 18 000 years. *New Phytologist*, 110, 581-662.
- Burga, C.A. und Perret, R. 1998. Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott Verlag, Thun.
- Carcaillet, C. 2000. Soil particles reworking evidences by AMS <sup>14</sup>C dating of charcoal. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 332, 21-28.
- Carcaillet, C. 2001. Are Holocene wood-charcoal fragments stratified in alpine and subalpine soils? Evidence from the Alps based on AMS <sup>14</sup>C dates. *The Holocene*, 11, 231-242.
- Cherubini, P., Berli, S. und Schoch, W. 1994. Rekonstruktion von Bestandesfluktuationen, Bodenmächtigkeit und Feuergeschichte über 7000 Jahre BP mittels Holzkohle-Analysen. *Botanica Helvetica*, 104, 17-30.
- Cherubini, P. 2010. Determinazione della specie e datazione dei residui di carbone nelle carbonere della Riserva forestale dell'Onsernone. WSL, Birmensdorf, 1-3.
- Clark, J.S. 1988. Particle motion and the theory of charcoal analysis: Source area, transport, deposition, and sampling. *Quaternary research*, 30, 67-80.
- Conedera, M., Zingg, A. und Krebs, P. 2009. Die Kastanienkultur auf der Alpensüdseite der Schweiz. DVFFA – Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2009.



- Conedera, M. und Tinner, W. 2010. Langzeit-Feuerökologie der Schweiz . Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 161, 424-432.
- Egli, M., Brandova, D., Cherubini, P. und Ivy-Ochs, S. 2010. Radiocarbon-Methode ( $^{14}\text{C}$ ). In: Mosaiksteine der Geochronologie: Methoden und Anwendungsbeispiele. Vorlesungsskript, Kapitel 2, 1-12.
- Egli, M., Brandova, D., Woodhatch, I., Schreiner, C., und Kägi, B. 2012. Labormethoden der Geochronologie. Universität Zürich, Geographisches Institut.
- Ellenberg, H. und Klötzli, F. 1972. Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitteilungen Schweizerische Anstalt Forstliches Versuchswesen Birmensdorf, 48, 589-930.
- FAL. 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Bestimmung der Lagerungsdichte von Bodenproben in ungestörtem Gefüge. Methode PYZYL-D (Zylinderproben). Zürich-Reckenholz.
- Favilli, F., Egli, M., Brandova, D., Ivy-Ochs, S., Kubik, P., Cherubini, P., Mirabella, A., Sartori, G., Giaccari, D. and Haeberli W. 2009. Combined use of relative and absolute dating techniques for detecting signals of Alpine landscape evolution during the late Pleistocene and early Holocene. *Geomorphology*, 112, 48-66.
- Favilli F., Cherubini P., Collenberg M., Egli M., Sartori G., Schoch W., and Haeberli W. 2010. Charcoal fragments of Alpine soils as an indicator of landscape evolution during the Holocene in Val di Sole (Trentino, Italy). *The Holocene*, 20, 67-79.
- Figueiral, I. and Mosbrugger, V. 2000. A review of charcoal analysis as a tool for assessing Quaternary and Tertiary environments: achievements and limits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164, 397-407.
- Fréjaville, T., Carcaillet, C., and Curt, T. 2012. Calibration of charcoal production from trees biomass for soil charcoal analyses in subalpine ecosystems. *Quaternary International*, 30, 1-8.
- Gisi, U. 1997. *Bodenökologie*. 2. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Gobet, E., Tinner, W., Hubschmid, P., Jansen, I., Wehrli, M., Ammann, B. and Wick, L. 2000. Influence of human impact and bedrock differences on the vegetational history of the Insubrian Southern Alps. *Vegetation History and Archaeobotany*, 9, 175-187.
- Goldberg, E.D. 1985. *Black carbon in the environment: properties and distribution*. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Gugerli, F. und Sperisen, C. 2010. Genetische Struktur von Waldbäumen im Alpenraum als Folge (post)glazialer Populationsgeschichte. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161, 207-215.
- Hajdas, I., Schlumpf, N., Minikus-Stary, N., Hagedorn, F., Eckmeier, E., Schoch, W. Burga, C., Bonani, G., Schmidt, M.W.I. and Cherubini, P. 2007. Radiocarbon ages of soil charcoals from the southern Alps, Ticino, Switzerland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 259, 398-402.
- Hajdas, I. 2008. Radiocarbon dating and its applications in Quaternary studies. *Eiszeitalter und Gegenwart, Quaternary Science Journal*, 57, 2-24.
- Hajdas, I. 2009. Applications of Radiocarbon Dating Method. *Radiocarbon*, 51, 79-90.
- Hammes, K., Schmidt, M.W.I., Smernik, R.J., Currie, L.A., Ball, W.P., Nguyen, T.H., Louchouart, P., Houel, S., Gustafsson, Ö., Elmquist, M., Cornelissen, G., Skjemstad, J.O., Masiello, C.A., Song, J., Peng, P., Mitra, S., Dunn, J.C., Hatcher, P.G., Hockaday, W.C., Smith, D.M., Hartkopf-Fröder, C., Böhmer, A., Lüer, B., Huebert, B.J., Amelung, W., Brodowski, S., Huang, L., Zhang, W., Gschwend, P.M., Flores-Cervantes, D.X.,

- Largeau, C., Rouzaud, J.-N., Rumpel, C., Guggenberger, G., Kaiser, K., Rodionov, A., Gonzalez-Vila, F. J. Gonzalez-Perez, J.A., de la Rosa, J.M., Manning, D. A.C., Lopez-Capel, E. and Ding L. 2007. Comparison of quantification methods to measure fire-derived (black/elemental) carbon in soils and sediments using reference materials from soil, water, sediment and the atmosphere. *Global Biogeochemical Cycles*, 21, 1-18.
- Hantke, R. 1991. Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete: Erd-, Klima- und Vegetationsgeschichte der letzten 30 Millionen Jahre. 1. Auflage. (Hrsg. Stiftung Franz Xaver Schnyder von Wartensee). Ott Verlag und Druck AG, Thun.
- Horn, R. 2010. Physikalische Eigenschaften und Prozesse. In: Scheffer/Schachtschabel, 2010. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Kapitel 6.1, 171-184. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Keller, W. 2004. Zur Rückkehr der Arve (*Pinus cembra* L.) in die Südalpen der Schweiz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 155, 6-12.
- Kretschmar, R. 2010. Physikalische Eigenschaften und Prozesse. In: Scheffer/Schachtschabel, 2010. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Kapitel 5.6, 151-161. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Ludemann, T. 1996. Die Wälder im Sulzbachtal (Südwest-Schwarzwald) und ihre Nutzung durch Bergbau und Köhlerei. *Mitteilung Verein Forstliche Standortkunde und Forstpflanzenzüchtung*, 38, 87-118.
- Ludemann, T. 2002(a). Anthracology and forest sites – the contribution of charcoal analysis to our knowledge of natural forest vegetation in south-west Germany. *British Archaeological Reports*, 1063, 209–217.
- Ludemann, T. 2002(b). Historische Holznutzung und Waldstandorte im Südschwarzwald. *Freiburger Forstliche Forschung*, 18, 194–207.
- Ludemann, T. 2006. Gegenwartsbezogene Landschaftsgenese des Schwarzwaldes und der Vogesen auf der Grundlage paläoökologischer Untersuchungsmethoden. In: *GrenzWerte. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen des 55. Deutschen Geographentages Trier. 2005.* (Hrsg. Kulke, E., Monheim, H. und Wittmann, P.). Deutsche Gesellschaft für Geographie, Berlin, Leipzig, Trier, 517-526.
- Ludemann, T. 2008. Natürliches Holzangebot und historische Nutzung. Heutige Vegetation und historische Holzkohle als wertvolle Quellen. *Das Mittelalter*, 13, 39-62.
- Nölken, W. 2005. Holzkohleanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte der Vogesen. Dissertation, Freiburg im Breisgau.
- Ott, E., Frehner, M., Frey H.-U. und Lüscher, P. 1997. *Gebirgsnadelwälder*. Haupt, Bern und Stuttgart.
- Patterson, W. A., Edwards, K. J. and Maguire, D. J. 1987. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews*, 6, 3-23.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. 2009. Intcal09 And Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111-1150.
- Schoch, W. 1986. Wood and charcoal analysis. In: *Handbook of Holocene, Palaeoecology and Palaeohydrology* (Hrsg. B. E. Berglund). John Wiley and Sons, New York, NY.

- Schweingruber, F.H. 1990(a). Anatomie europäischer Hölzer. - Anatomy of European woods. (Hrsg. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf). Haupt, Bern und Stuttgart.
- Schweingruber, F.H. 1990(b). Mikroskopische Holzanatomie. 3. Auflage. (Hrsg. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf). Kommissionsverlag F. Flück-Wirth. Internationale Buchhandlung für Botanik und Naturwissenschaften, Teufen.
- Schweingruber, F. H. 1996. Tree Rings and Environment Dendroecology. (Hrsg. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf). Haupt, Bern und Stuttgart.
- Stapfer, A. 1991. Pollenanalytische Untersuchungen im Val Piora (Tessin). *Geographica Helvetica*, 4, 156-164.
- Tinner, W., Hubschmid, P., Wehrli, M., Ammann, B. und Conedera, M. 1999. Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. *Journal of Ecology*, 87, 273-289.
- Tinner, W., Lotter, A. F., Ammann, B., Conedera, M., Hubschmid, P., van Leeuwen, J. F. N. and Wehrli, M. 2003. Climatic change and contemporaneous land-use phases north and south of the Alps 2300 BC to 800 AD. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1447-1460.
- Tinner, W., Lotter, A. F., Ammann, B., Conedera, M., Hubschmid, P., van Leeuwen J.F.N. und Wehrli, M. 2004. Klima und Landschaftsumgestaltung – Palynologische Hinweise zur Komplexität prähistorischer Mensch-Umwelt-Beziehungen. *Collectio Archaeologica*, 3, 57–68.
- Tinner, W., Allgöwer, B., Ammann, B., Conedera, M., Gobet, E., Lotter, A. F. und Stähli, M. 2005. Ausmass und Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation der Schweiz im Laufe der Jahrtausende. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen*, 156, 325-330.
- Valsecchi, V., Carraro, G., Conedera, M. and Tinner, W. 2010. Late-Holocene vegetation and land-use dynamics in the Southern Alps (Switzerland) as a basis for nature protection and forest management. *The Holocene*, 20, 483-495.
- Wagenführ, R. 2007. Holzatlas. 6. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig.
- Wienhaus, O. 2005. Chemische Änderungen bei der Wärmebehandlung von Holz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 156, 427-431.
- Zoller, H. 1960. Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. *Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 83, 45-156.

## Internet

map.geo.admin: <http://map.geo.admin.ch>; Zugriff: 13.1.2013.

news.admin.ch:

<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/4422.pdf>; Zugriff: 13.1.2013.

meteoschweiz.admin:

[http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima\\_schweiz.html](http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz.html); Zugriff: 13.1.2013.

WSL(a): [http://www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/webs/wandern/morobbia/index\\_DE](http://www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/webs/wandern/morobbia/index_DE); Zugriff: 8.3.2013.

WSL(b):

[http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai\\_ticino/riconoscere\\_piazza\\_IT](http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai_ticino/riconoscere_piazza_IT); Zugriff: 8.3.2013.

WSL(c):

[http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/giornate\\_tematiche/giubileo/industria\\_carbone/carbone1\\_pdf](http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/giornate_tematiche/giubileo/industria_carbone/carbone1_pdf); Zugriff: 10.3.2013.

WSL(d):

[http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai\\_ticino/galleria\\_immagini\\_IT/#anker12](http://www.wsl.ch/fe/oekosystem/insubrisch/projekte/carbonai_ticino/galleria_immagini_IT/#anker12); Zugriff: 10.3.2013.

Wolman:

[http://www.wolman.de/de/infocenter/baum\\_zum\\_holz/holzeigenschaften/index.php?thisID=55](http://www.wolman.de/de/infocenter/baum_zum_holz/holzeigenschaften/index.php?thisID=55); Zugriff: 3.3.2013.

## Dank

Ich möchte meinen beiden Betreuern, Markus Egli und Paolo Cherubini, für die Unterstützung zu dieser Masterarbeit herzlich danken.

Durch Markus Egli konnte ich jederzeit das Labor am Geographischen Institut der Universität Zürich benutzen. Dabei halfen mir die Labormitarbeiter Claudia Schreiner und Michael Hilf mit Rat und Tat. Ivan Woodhatch bereitete mir die <sup>14</sup>C-Proben auf und brachte sie zur Auswertung an die ETH. Herzlichen Dank diesen drei Personen, ohne die es nicht gegangen wäre.

Paolo Cherubini ermöglichte mir den Zugang zum Holzlabor an der WSL, Birmensdorf, den Kontakt zu Marco Conedera und Patrick Krebs an der WSL Bellinzona, die Zusammenarbeit im Valle Onsernone mit Roberto Buffi vom Silvaforum in Contra und die Möglichkeit, die Holzartenbestimmung und fotografische Dokumentation mit Werner Schoch zu machen. All diesen erwähnten Personen danke ich für ihren jeweiligen Beitrag zu dieser Masterarbeit.

Herzlichen Dank für die vielseitige Unterstützung an Jörg Maurer, Thomas Huber und Hans Jäger!

## **Persönliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.