



**GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM**  
STIFTUNG DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

---

# Scientific Technical Report

Aus dem Projektbereich 3.3 „Sedimente und Beckenbildung“ am GeoForschungsZentrum Potsdam

# **Das tephrochronologische Referenzprofil des Lago Grande di Monticchio –**

Eine detaillierte Stratigraphie des süditalienischen explosiven  
Vulkanismus der letzten 100.000 Jahre

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Naturwissenschaften  
(Dr. rer. nat.)  
in der Wissenschaftsdisziplin Geologie

eingereicht an der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Potsdam

von  
Sabine Wulf  
Geboren am 02.03.1971 in Marburg/Lahn

Potsdam, im August 2000

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tafelverzeichnis

Zusammenfassung

Abstract

<b>VORWORT .....</b>	<b>1</b>
<b>1 EINFÜHRUNG.....</b>	<b>2</b>
1.1 STAND DER FORSCHUNG .....	2
1.1.1 <i>Tephrostratigraphie des östlichen Mittelmeerraumes</i> .....	2
1.1.2 <i>Vorarbeiten am Lago Grande di Monticchio</i> .....	5
1.2 FRAGESTELLUNG.....	8
1.3 GRUNDLAGEN .....	9
1.3.1 <i>Tephra: Entstehung, Transport und Ablagerung</i> .....	9
1.3.2 <i>Vulkanische Gläser</i> .....	13
1.3.3 <i>Datierungsmethoden von quartären Tephren</i> .....	14
<b>2 UNTERSUCHUNGSGEBIET .....</b>	<b>18</b>
2.1 HERKUNFT DER TEPHREN – ITALIENISCHER VULKANISMUS.....	18
2.2 LAGO GRANDE DI MONTICCHIO – LOKATION UND ENTSTEHUNG .....	31
<b>3 MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>33</b>
3.1 BOHRUNG UND PROBENNAHME.....	33
3.2 CHRONOLOGIE.....	34
3.2.1 <i>Warven- und Sedimentationsratenchronologie</i> .....	34
3.2.2 <i>Radiokarbon-Datierungen</i> .....	36
3.2.3 <i><sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Datierungen</i> .....	37
3.3 TEPHROCHRONOLOGISCHE METHODEN.....	38
3.3.1 <i>Mikroskopische Untersuchungen</i> .....	39
3.3.2 <i>Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (REM)</i> .....	39
3.3.3 <i>Korngrößenanalysen</i> .....	39
3.3.4 <i>Geochemische Analysen</i> .....	40
<b>4 ERGEBNISSE DER TEPHROCHRONOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN .....</b>	<b>42</b>
4.1 LICHTMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	42
4.1.1 <i>Zusammensetzung der sublakustrinen Fallout-Tephren</i> .....	42
4.1.2 <i>Zusammensetzung des vulkaniklastischen Kraterrandmaterials</i> .....	43
4.1.3 <i>Sedimentstrukturen und Korngrößen der Fallout-Tephren</i> .....	44
4.2 GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN .....	45
4.2.1 <i>Chemismus der vulkanischen Gläser</i> .....	45
4.2.2 <i>Petrographie und Herkunft der Tephren</i> .....	46
4.3 KORRELATION DER TEPHREN .....	48
4.3.1 <i>Somma-Vesuv</i> .....	49
4.3.2 <i>Phlegräische Felder</i> .....	52
4.3.3 <i>Prócida-Vivara</i> .....	61
4.3.4 <i>Ischia</i> .....	62
4.3.5 <i>Roccamonfina</i> .....	67

4.3.6 Albaner Berge.....	67
4.3.7 Sabatiner Berge.....	69
4.3.8 Ätna.....	69
4.3.9 Pantelleria.....	71
4.3.10 Äolische Inseln .....	71
4.3.11 Tephren unsicheren Ursprungs.....	72
4.4 ZUSAMMENFASSUNG DER TEPHROCHRONOLOGISCHEN ERGEBNISSE.....	73
<b>5 DISKUSSION DER CHRONOLOGIE.....</b>	<b>75</b>
<b>6 KORRELATION TERRESTRISCHER UND MARINER ARCHIVE.....</b>	<b>81</b>
6.1 KORRELATION DER SEDIMENTKERNE DES LAGO GRANDE DI MONTICCHIO .....	81
6.2 KORRELATION MIT TERRESTRISCHEN SEQUENZEN.....	83
6.3 KORRELATION MIT MARINEN SEQUENZEN.....	85
6.3.1 Ionisches Meer .....	85
6.3.2 Tyrrhenisches Meer.....	88
6.3.3 Adria.....	90
6.3.4 Gesamtes östliches Mittelmeer.....	94
6.4 VERBREITUNG DER TEPHREN.....	96
<b>7 VULKANISMUS UND KLIMA .....</b>	<b>98</b>
7.1 STAND DER FORSCHUNG.....	98
7.2 FREQUENZ DER TEPHRENABLAGERUNG IM MONTICCHIO-PROFIL .....	101
<b>8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>108</b>
<b>9 LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>110</b>

## DANKSAGUNG

## ANHANG

- A Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren im Monticchio-Profil
- B Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil
- C Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil
- D Mikrosondendaten der chemischen Zusammensetzung von Bimsbruchstücken proximaler Tephren
- E Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

## TAFELN

- A Lichtmikroskopische Aufnahmen der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil
- B Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen vulkanischer Gläser der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1.1:</b> Blick von Pompeji auf den Vesuv.....	1
<b>Abb. 1.2:</b> Der Mittelmeerraum mit seinen wichtigsten quartären Vulkanprovinzen und Lokation des Lago Grande di Monticchio .....	2
<b>Abb. 1.3:</b> Bohrkampagne auf dem Lago Grande di Monticchio im September 1994 .....	5
<b>Abb. 1.4:</b> Sedimentologische, paläomagnetische, chemische und palynologische Proxydaten des Kompositprofils LGM-L/J aus dem Lago Grande di Monticchio .....	6
<b>Abb. 1.5:</b> Sedimentologie und Tephrochronologie des Kompositprofils LGM-B/D/E/J des Lago Grande di Monticchio .....	7
<b>Abb. 1.6:</b> Klassifikationsschema von vulkanischen Eruptionen.....	9
<b>Abb. 1.7:</b> Schematische Darstellung einer subaerischen explosiven Eruption.....	10
<b>Abb. 1.8:</b> Schematische Darstellung von verschiedenen Eruptionswolkentypen.....	12
<b>Abb. 1.9:</b> Variationen von vulkanischen Gläsern.....	13
<b>Abb. 2.1:</b> Verbreitung des quartären explosiven Vulkanismus in Europa.....	18
<b>Abb. 2.2:</b> Lage der italienischen Vulkanprovinzen .....	19
<b>Abb. 2.3:</b> Übersichtskarte der Römischen Vulkanprovinz.....	22
<b>Abb. 2.4:</b> Geologische Übersichtskarte der Campanischen Vulkanprovinz.....	25
<b>Abb. 2.5:</b> Übersichtskarte der süditalienischen Sizilianischen und Äolischen Vulkanprovinz .....	29
<b>Abb. 2.6:</b> Geologische Karte des Monte Vulture Vulkangebietes und Lokation der Laghi di Monticchio .....	32
<b>Abb. 3.1:</b> a) Bathymetrische Karte des Lago Grande di Monticchio sowie b) Lokation und Tiefe der Sedimentprofile LGM-A, -B/D (1990), -H, -L und -J (1994) .....	33
<b>Abb. 3.2:</b> Alters-/Tiefenfunktion der Monticchio-Sedimente: Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Kompositprofils LGM-B/D/E/J im Vergleich zu akzeptierten und nicht akzeptierten unkalibrierten Radiokarbon-Altern mit Fehlerbereichen. ....	35
<b>Abb. 4.1:</b> Mikroskopische Aufnahme einer sublakustrinen Fallout-Tephra aus dem Monticchio-Profil (LGM-33.040) .....	42
<b>Abb. 4.2:</b> Mikroskopische Aufnahme (gekreuzte Pol.) von vulkaniklastischem Kratermaterial aus dem Monticchio-Profil (Kern LGM-J8-u, 89cm) .....	43
<b>Abb. 4.3:</b> Korngrößenspektren der sublakustrinen Fallout-Tephren aus dem Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio .....	44
<b>Abb. 4.4:</b> Harker-Diagramme zur Darstellung der geochemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser von Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil.....	46
<b>Abb. 4.5:</b> Petrologische Einstufung der geochemisch analysierten Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Sedimentprofil.....	47
<b>Abb. 4.6:</b> Geochemische Diskrimination der campanischen Aschen aus dem Monticchio-Profil.....	53
<b>Abb. 4.7:</b> Stratigraphie und Zusammensetzung der Sub-Einheiten der plinianischen Bims-Fallablagerungen des Campanischen Ignimbrites im Sedimentkern LGM-J des Lago Grande di Monticchio .....	56
<b>Abb. 4.8:</b> Chemische Entwicklung der CF-Tephren aus dem Monticchio-Profil für den Zeitraum der letzten 101.500 Jahre .....	59
<b>Abb. 4.9:</b> Verteilung und Mächtigkeiten der Fallout-Tephren im Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio, sortiert nach Vulkanprovinzen.....	74
<b>Abb. 5.1:</b> Vergleich der tephrochronologischen Alter einschließlich Fehlerbereiche mit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie der Monticchio-Sedimente .....	78
<b>Abb. 5.2:</b> Vergleich der warvenkalibrierten <sup>14</sup> C-Alter der Monticchio-Sedimente und korrelierten Tephren mit U/Th-kalibrierten Radiokarbon-Daten.....	79
<b>Abb. 6.1:</b> Korrelation der Sedimentprofile LGM-L, LGM-B/D/E und LGM-J des Lago Grande di Monticchio anhand markanter Tephralagen.....	82
<b>Abb. 6.2:</b> Korrelation von terrestrischen und marinen Sedimentsequenzen des östlichen und westlichen (zentralen) Mittelmeerraums anhand von Markertephren .....	83
<b>Abb. 6.3:</b> Detailkarte der wichtigsten Bohrlokationen mariner Sedimentkerne aus dem Ionischen Meer, der Adria und dem Tyrrhenischen Meer .....	86
<b>Abb. 6.4:</b> Tephrochronologischer Vergleich mariner Sedimentkerne aus dem Ionischen Meer mit dem terrestrisch-lakustrinen Profil des Lago Grande di Monticchio.....	87

<b>Abb. 6.5:</b> Tephrochronologischer Vergleich mariner Sedimentkerne aus dem Tyrrhenischen Meer mit dem terrestrisch-lakustrinen Profil des Lago Grande di Monticchio.....	90
<b>Abb. 6.6:</b> Tephrochronologischer Vergleich mariner Sedimentkerne aus der zentralen Adria mit dem terrestrisch-lakustrinen Profil des Lago Grande di Monticchio .....	94
<b>Abb. 6.7:</b> Tephrochronologische Korrelationen terrestrischer (Monticchio, LGM) und mariner Sedimentsequenzen des östlichen Mittelmeerraumes sowie Bohrlokationen ausgewählter Tiefseekerne der Adria.....	95
<b>Abb. 7.1:</b> Eintrag vulkanischer Bestandteile in die Troposphäre und Stratosphäre und deren Auswirkungen .....	98
<b>Abb. 7.2:</b> Schematisches Modell zur Beschreibung der Plattendeformation und krustalen Streifverteilung in glazialen/interglazialen Perioden des Quartärs und deren Auswirkungen auf den Inselbogen-Vulkanismus .....	99
<b>Abb. 7.3:</b> Anzahl der modellierten Eruptionen pro 1000 Jahre mit einem vulkanischen $\text{SO}_4^{2-}$ -Signal $> 75$ ppb im GISP2-Eiskern (Grönland) .....	100
<b>Abb. 7.4:</b> Frequenz der Tephrenablagerungen aus der Campanischen Vulkanprovinz im Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio. ....	102
<b>Abb. 7.5:</b> Vergleich der tephrochronologischen Daten aus dem Monticchio-Profil mit globalen Klimadaten.....	104
<b>Abb. 7.6:</b> Spektralanalyse der Sub-Milankovitch-Zyklen für die Basiszeitreihe der Tephrenverteilung in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio.....	105
<b>Abb. 7.7:</b> Vergleich der <b>a</b> ) mittleren Mächtigkeit der Tephralagen (mm) mit <b>b</b> ) der normalen Sedimentationsrate der Monticchio-Sedimente (mm/a) und <b>c</b> ) der mittleren Anzahl der Tephren pro Zeiteinheit (1/ka).....	107

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.1:</b> Bezeichnung, Alter und Herkunft mariner distaler Aschenlagen aus dem östlichen Mittelmeer .....	3
<b>Tab. 2.1:</b> Zeitlicher Gesamtüberblick über den italienischen Vulkanismus unter Berücksichtigung der Lage und Entfernung zum Lago Grande di Monticchio.....	20
<b>Tab. 2.2:</b> Alter und Petrologie der vulkanischen Förderprodukte der Äolischen Inseln.....	30
<b>Tab. 3.1:</b> Wassertiefen und Kerngewinn der im Sommer 1990 und 1994 erbohrten Sedimentsequenzen aus dem Lago Grande di Monticchio.....	33
<b>Tab. 3.2:</b> Radiokarbon-Alter der Monticchio-Sedimente im Vergleich mit Altern der Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Kompositprofils LGM-B/D/E/J.....	36
<b>Tab. 3.3:</b> Zusammenstellung der Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter und LGM-Alter (Warven- und Sedimentationsratenchronologie) markanter Tephralagen aus dem Sedimentprofil LGM-B/D des Lago Grande di Monticchio.....	37
<b>Tab. 3.4:</b> Mikrosonden-Meßzeiten und Nachweisgrenzen der Hauptelemente sowie deren Verteilung auf die vier einzelnen Spektrometer. ....	41
<b>Tab. 4.1:</b> Normierte (wasserfreie) Mikrosondenanalysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Tephren im Vergleich mit Literaturdaten proximaler Tephra-Äquivalente der historischen Ausbrüche des Somma-Vesuvus.....	49
<b>Tab. 4.2:</b> Normierte (wasserfreie) Mikrosondenanalysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Literaturdaten proximaler Tephra-Äquivalente der jüngeren prähistorischen Ausbrüche des Somma-Vesuvus.....	50
<b>Tab. 4.3:</b> Normierte (wasserfreie) Mikrosondenanalysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Literaturdaten proximaler und distaler Tephra-Äquivalente der älteren prähistorischen Eruptionen des Somma-Vesuvus.....	51
<b>Tab. 4.4:</b> Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten der CF-Eruptionen der letzten 12.000 Jahre BP.....	54

<b>Tab. 4.5:</b>	Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten der Phlegräischen Felder für den Zeitraum zwischen NYT- und CI-Eruption (12 ka bis 37 ka BP) .....	55
<b>Tab. 4.6:</b>	Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Tephren mit proximalen und distalen Tephra-Äquivalenten der „Campanischen Ignimbrite-Serie“ (Phlegräische Felder).....	57
<b>Tab. 4.7:</b>	Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen und distalen Tephra-Äquivalenten der Phlegräischen Felder aus der Prä-CI-Phase (>37.000 Jahre BP).....	61
<b>Tab. 4.8:</b>	Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler und distaler Tephra-Äquivalente der Doppelinsel Prócida-Vivara .....	61
<b>Tab. 4.9:</b>	Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten jüngerer Eruptionen der Phasen 1 und 2 von Ischia.....	63
<b>Tab. 4.10:</b>	Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen und distalen Tephra-Äquivalenten der Eruptionsphase 3 von Ischia.....	65
<b>Tab. 4.11:</b>	Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten der älteren Eruptionsphase 4 von Ischia .....	66
<b>Tab. 4.12:</b>	Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler Äquivalente der Albaner Berge.....	68
<b>Tab. 4.13:</b>	Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler Tephra-Äquivalente der Sabatiner Berge und Vico .....	69
<b>Tab. 4.14:</b>	Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler und distaler Tephra-Äquivalente von Ätna und Pantelleria .....	70
<b>Tab. 4.15:</b>	Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler und distaler Tephra-Äquivalente der Äolischen Inseln .....	72
<b>Tab. 4.16:</b>	Gesamtüberblick über die Zuordnung und Anzahl der im Monticchio-Profil dokumentierten Fallout-Tephralagen. ....	73
<b>Tab. 5.1:</b>	Radiokarbon-Alter proximaler Tephra-Äquivalente im Vergleich zu Warven- und Sedimentationsratenalter korrelierter Monticchio-Tephren mit Fehlerbereichen zwischen beiden Chronologien.....	75
<b>Tab. 5.2:</b>	Radioisotopische Alter proximaler Tephra-Äquivalente im Vergleich zu Warven- und Sedimentationsratenalter korrelierter Monticchio-Tephren mit Fehlerbereichen zwischen beiden Chronologien.....	76
<b>Tab. 5.3:</b>	Interpolierte Sapropel- und Sauerstoffisotopen-Alter von Tephren aus den marinen Sedimentkernen des Ionischen und Tyrrhenischen Meeres im Vergleich zu LGM-Tephrenaltern mit relativen Abweichungen .....	77
<b>Tab. 6.1:</b>	Gegenüberstellung chemischer Analysendaten wichtiger Korrelationstephren aus den terrestrisch-lakustrinen Sedimentprofilen des Lago di Nemi, Lago di Albano, Lago di Mezzano und Lago Grande di Monticchio .....	84
<b>Tab. 6.2:</b>	Land-Seeer-Tephrenkorrelationen (Monticchio – Ionisches Meer – Tyrrhenisches Meer).....	88
<b>Tab. 6.3:</b>	Land-Seeer-Tephrenkorrelation (Monticchio – Adria).....	92
<b>Tab. 6.4:</b>	Gegenüberstellung chemischer Analysendaten distaler Tephralagen aus dem Lago Grande di Monticchio und dem zentralen Adriatischen Meer. ....	93
<b>Tab. 6.5:</b>	Vorkommen und Verbreitungsrichtung von Fallablagerungen relevanter Großereptionen italienischer Vulkane für den Zeitraum der letzten 100 ka .....	97

## Zusammenfassung

Der Maarsee Lago Grande di Monticchio (Monte Vulture, Süditalien) erweist sich aufgrund seiner geographischen Lage zu den aktiven Vulkanen Mittel- und Süditaliens als geeignetes Archiv für die Aufzeichnung einer detaillierten Stratigraphie des explosiven Vulkanismus dieser Region. Mit dem Auftreten von 344 Aschenlagen (Tephren) stellt die aus dem Monticchio-See erbohrte, 101 ka umfassende Sedimentsequenz ein derzeit einmaliges tephrochronologisches Referenzprofil im mediterranen Raum dar, das sich nicht zuletzt durch eine unabhängige, auf Warvenzählung und Sedimentationsratenabschätzung beruhende Chronologie auszeichnet.

Im Rahmen der multidisziplinären paläoklimatischen Untersuchungen an den Monticchio-Sedimenten wurden zur Absicherung der Chronologie detaillierte tephrochronologische Untersuchungen (Geochemie, Mineralogie, Korngrößenanalyse) durchgeführt, anhand derer die distalen Aschen charakterisiert und ihren jeweiligen Eruptionszentren zugeordnet werden konnten. Diese Studien konzentrierten sich auf In-situ-Großdünnschliffen von insgesamt vier Sedimentkernen (LGM-B, -D, -E und -J), mit deren Hilfe insbesondere Informationen über die Verteilung der Komponenten (vulkanische Gläser, Phänokristalle, Lithoklasten) und Sedimentstrukturen der Tephren gewonnen werden konnten. Für die petrologische Einstufung und Unterscheidung der einzelnen Tephra-Fallablagerungen zeigten sich Mikrosondenmessungen von vulkanischen Gläsern als eine geeignete und präzise Methode.

Der Großteil der untersuchten Tephren wurde anhand dieser petrologischen Untersuchungen als alkalisch eingestuft und demzufolge vorzüglich mit den explosiven Aktivitäten der benachbarten Vulkane der campanischen Provinz (Somma-Vesuv, Phlegräische Felder, Ischia, Prócida-Vivara, Roccamonfina) korreliert.

Im einzelnen konnte hier zum einen die nahezu gesamte, aus dem proximalen Ablagerungsraum bekannte Abfolge pyroklastischer Einheiten des Somma-Vesuvus und der Insel Ischia nachgewiesen werden. Neben diesen vorwiegend plinianischen Aktivitäten spielen besonders die als bislang subplinianisch eingestuften vulkanischen Ereignisse des Vesuvus eine große Rolle (z.B. AP-Eruptionen um 3,9 ka BP), da sie mit der weiten östlichen Verbreitung ihrer Fallprodukte einen wesentlich höherenergetischen Charakter anzeigen als zuvor angenommen.

Neue grundlegende Erkenntnisse wurden über die Stratigraphie der explosiven Tätigkeiten der an Neapel angrenzenden Phlegräischen Felder (CF) für die Zeitspanne zwischen 60 ka und 101 ka BP erlangt, welche bislang weder in den proximalen noch in den distalen Ablagerungsräumen erschlossen werden konnte. Die Perioden mit verstärkten vulkanischen Aktivitäten konzentrieren sich im Monticchio-Profil auf die Zeiträume zwischen 82 und 87 ka BP sowie 90 ka und 101 ka BP, von denen einige wenige von ihrem Ausmaß her sogar an die Eruptionsbedingungen des Campanischen Ignimbrites (37 ka BP) heranreichen.



Als weitere untergeordnete vulkanische Förderzentren der im Monticchio-Profil abgelagerten Tephren konnten die Albaner und Sabatiner Berge in der Römischen Provinz sowie die entfernter gelegenen Äolischen Inseln, Ätna und Pantelleria ausgemacht werden. Korrelationen dieser z.T. petrologisch markanten Aschenlagen führten hier zu neuen Einsichten in die Verbreitung und zeitliche Einstufung einzelner Großeruptionen innerhalb der letzten 100 ka. So konnte u.a. gezeigt werden, daß die Förderung der mächtigen Pyroklastika des Biancavilla-Montalto-Ignimbrites (Ätna) aus mindestens zwei Großeruptionen resultierte, deren Verbreitungsachsen nach Norden (16,5 ka BP) und Osten (18 ka BP) gerichtet waren. Die Förderprodukte der letzten phreatomagmatischen Eruptionen der Albaner Berge konnten wiederum erstmals im distalen Bereich nachgewiesen und anhand der Chronologie des Monticchio-Profiles auf ein präzises Alter von 30 ka BP eingestuft werden.

Mit Hilfe einer Vielzahl von radiometrischen und radioisotopischen Altern korrelierter proximaler und distaler Tephra-Äquivalente konnte ein tephrochronologisches Grundgerüst aufgestellt werden, das die hochauflösende Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Monticchio-Profiles im großen und ganzen bestätigt. Die durchschnittliche relative Abweichung von <5% zwischen beiden Altersmodellen wurde als relativer Fehler in Bezug auf die Warven- und Sedimentationsratenchronologie betrachtet. Damit zählt das Monticchio-Profil zu einer der derzeit bestdatierten Sequenzen Europas, welches zudem den letzten glazialen/interglazialen Zyklus umfaßt.

Eine Vielzahl von korrelierten Tephra-Fallablagerungen erwiesen sich als ideale Zeithorizonte zur Verknüpfung des Monticchio-Profiles mit anderen terrestrischen und insbesondere marinen Sedimentsequenzen aus dem östlichen und zentralen Mittelmeerraum. Diese Korrelationen bilden die wichtigste Grundlage für den regionalen und überregionalen Vergleich chemisch-sedimentologischer und paläontologisch-palynologischer Proxydaten, die im Rahmen paläoklimatischer Untersuchungen gewonnen werden konnten.

Die Untersuchungsergebnisse der Ablagerungsfrequenz der Fallout-Tephren im Monticchio-Profil ergaben, daß diese teilweise von Klimafaktoren wie z.B. den Windbedingungen im mediterranen Raum oder den Veränderungen des globalen Meeresspiegelstandes abhängt. Die Korrelation der Tephrenfrequenz mit der atmosphärischen CH<sub>4</sub>-Konzentrationskurve der nördlichen Hemisphäre, sowie der Nachweis der Milankovitch-Zyklen in der Tephrenverteilung zeigen darüber hinaus, daß globale Klimaveränderungen neben den regionalen tektonischen Aktivitäten zumindest einen Teileinfluß auf das explosive Verhalten der campanischen Vulkane besitzen.

## Abstract

Laminated sediments recovered from the maar lake Lago Grande di Monticchio (Monte Vulture volcanic complex, southern Italy) provide not only detailed information about rapid regional environmental changes but also represent a unique archive for the record of the high explosive activity of central and south Italian volcanoes. A total of 344 distal tephra layers ranging in thickness from 0.1 mm to 33 cm spanning the last 101 ka are documented in the Monticchio sequence. These layers have been precisely dated by an independent chronology established by a combination of varve counting and calculation of sedimentation rates in non-laminated parts of the sediment profile.

In the frame of interdisciplinary palaeoclimatic and palaeoenvironmental investigations detailed tephrochronological studies have been carried out in order to confirm the high-resolution chronology of the Monticchio sediment sequence. Geochemical and petrographical features, as well as grain size properties, have been used to classify and correlate all tephra layers with their volcanic source. These petrological studies have been accomplished on in-situ-thin sections taken from four overlapping sediment cores (LGM-B, -D, -E, -J) to obtain information about distribution of components (volcanic glass shards, phenocrysts, lithics) and sediment structures of tephra. Additionally, measurements of major-element chemistry were carried out on single glass shards using an electron probe.

The results of tephrochronological studies indicate that most tephra layers are alkaline (predominantly high-K trachytic to phonolitic, tephritic and leucititic) in composition. A large number of these ash layers have been correlated with distinct high-explosive eruptions of adjacent Campanian volcanoes in the Naples district, specifically to Somma-Vesuvius, the Phlegrean Fields, Ischia, Prócida-Vivara and Roccamonfina. In particular, nearly the whole sequences of plinian to subplinian eruptions documented in profiles of the proximal continental environment of Vesuvius and the Island of Ischia have been recorded in the Monticchio sediments. Here, the subplinian "AP" events of Vesuvius between the Avellino (4 ka BP) and Pompeii (2 ka BP) eruptions are of special interest. The deposition of several thick ash layers in the Monticchio sequence suggest that these eruptions were of higher magnitude and with a more easterly dispersal of its fallout products than previously supposed.

New insights into the stratigraphical and petrological features of explosive activity of the Phlegrean Fields (CF), especially between 60 ka and 101 ka BP, have been obtained. According to the distribution of distal CF tephra layers in the Monticchio sediment sequence, periods of increased volcanism were concentrated between 82 - 87 ka BP and 90 - 101 ka BP. It has been demonstrated that some of these eruptions were of magnitude comparable to that of the "Campanian Ignimbrite" (37 ka BP), one of the most powerful eruptions in the Late Quaternary of the Mediterranean region.

Other source areas of tephra layers, occurring in the Monticchio profile, with alkaline composition are the Roman volcanoes located approximately 300 km northwest of Lago Grande di Monticchio. Two pyroclastic units have been recognized and correlated with the most recent volcanic eruptions of the Alban Hills and the Sabatini volcanic district (30 ka and 89 ka BP), respectively. For the first time the distal facies of last phreatomagmatic products of the Alban Hills have been described and precisely dated by the high-resolution varve-supported sedimentation rate chronology of Monticchio sediments.

Ash layers originating from highly explosive eruptions of the Sicilian and Aeolian Volcanic Provinces were distinguished by the different nature of glass chemistry (intraplate basaltic associations of Mt. Etna, island arc andesite series of the Aeolian Islands and peralkaline volcanic rocks of Pantelleria) and are subordinately recorded in the Monticchio sequence. Here e.g., the eruption of the Biancavilla-Montalto Ignimbrite (Mt. Etna) is documented with two distinct tephra layers indicating dispersion axis of pyroclastic fallout products to the north (16.5 ka BP) and to the east (18 ka BP).

A total of 32 radiometric and radioisotopic ages of associated proximal and distal tephra units, compiled from literature, were used for constructing a tephrochronological framework for the last 100 ka, which confirms the varve-supported sedimentation rate chronology of Monticchio sediments. The error range between these chronologies is less than 5% indicating the Monticchio sediment profile to be one of the best independently dated sequence in Europe spanning the last glacial / interglacial cycle.

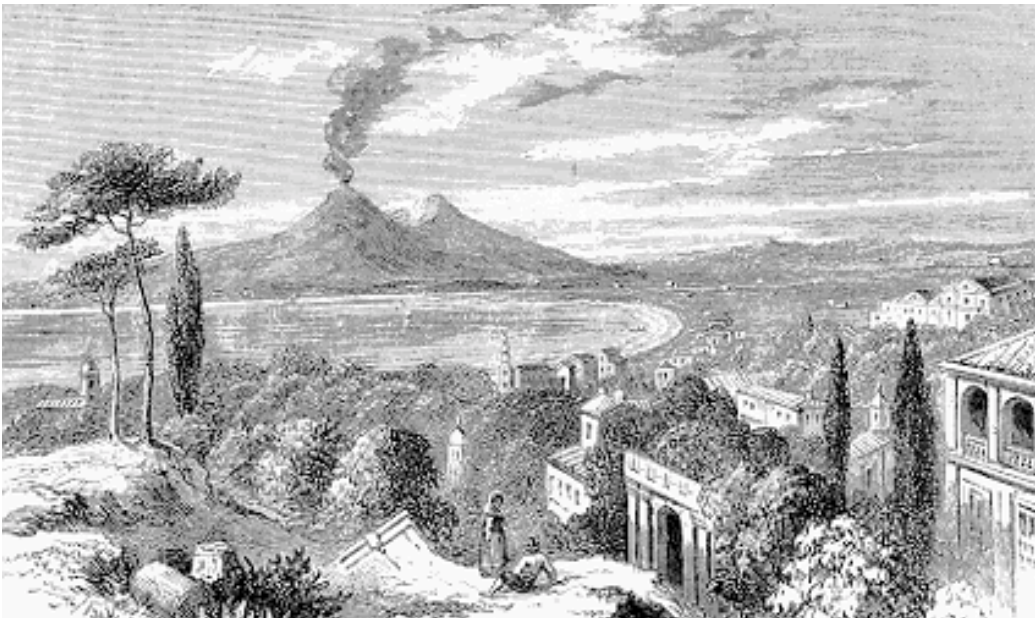
The tephrochronological reference profile of Monticchio is also ideal for linking terrestrial and marine palaeoenvironmental records of the Mediterranean. By using tephra layers as independent time and correlation horizons it is possible to compare palaeoclimatic proxy data (chemical, physical and palynological data of sediments) from different environmental archives on a regional to supraregional scale. For example, the “Avellino-Tephra“ (Vesuvius, 4 ka BP) and the “Biancavilla Montalto Ignimbrite“ (Etna, 16.5 ka BP) can be used to connect lacustrine records from central and southern Italy (Lago di Mezzano, Lago di Albano). These, together with the pyroclastic fallout deposits of the “Campanian Ignimbrite“ (Phlegrean Fields, 37 ka BP) and the “Monte Epomeo Green Tuff“ (Ischia, 56 ka BP), are key horizons for correlating the Mediterranean terrestrial records with marine sequences from the adjacent Adriatic, Tyrrhenian and Ionian Seas.

The results of analyses of frequency of tephra deposition in the Monticchio maar lake reveal some obvious links to climate variability, e.g. variations of Mediterranean wind pattern and/or rate of global sea-level changes. Moreover, the correlation with the atmospheric CH<sub>4</sub> curve of the northern hemisphere (GISP2 ice core / Greenland) as well the evidence of the 23 ka Milankovitch cycle within the tephrochronological profile of Monticchio indicate an influence of global climate change on the explosive behaviour of Campanian volcanoes.

## Vorwort

„.....Oriebatur (incertum erat, ex quo monte; Vesuvium fuisse postea cognitum est) nubes, cuius formam non alia arbor magis quam pinus expresserit: vetut longissimo trunco in altum elata quibusdam ramis diffundebatur: credo, quia nubes recenti spiritu evecta erat; deinde spiritu senescente aut etiam pondere suo victa in latitudinem vanescebat, candida interdum, interdum sordida et maculosa, prout terram cineremve sustulerat.....“

*Beschreibung des Vesuv-Ausbruchs am 24. August 79 n.Chr., 1. Brief des jüngeren Plinius an Tacitus*



**Abb. 1.1:** Blick von Pompeji auf den Vesuv; aus W.H.Davenport Adams, 1869

„.....Indessen wurde eine unbeschreibliche Menge Asche hochgetrieben, die das Land und das Wasser bedeckte und die ganze Luft erfüllte.....so gewaltig war der Aschenregen, daß einiges davon bis nach Afrika, Syrien und Ägypten kam.....“

*Antiker Parallelbericht des Cassius Dio zum Jahr 79 n.Chr., Auszug aus „Römische Geschichte“, 3. Jahrhundert n.Chr.*

„An der nördlichen Grenze Lukaniens liegt der Mte. Vulture, ein erloschener Vulkan. Er trägt den Wald von Monticchio, der zu den schönsten Wäldern Italiens gehört.....“

*Guido Piovene, Achtzehn mal Italien, München, R. Piper, 1960*

# 1 Einführung

## 1.1 Stand der Forschung

### 1.1.1 Tephrostratigraphie des östlichen Mittelmeerraumes

Vulkanische Aschen werden meist assoziiert mit gewaltigen explosiven Vulkan- ausbrüchen, bei denen ganze Städte, wie z.B. Pompeji am Fuße des Vesuvs im Jahre 79 n. Chr., begraben werden können. Neben ihrer zerstörerischen Wirkung sind diese oft auch als Tephren bezeichneten Aschen für stratigraphische Fragestellungen von großer Bedeutung. Durch die synchrone Ablagerung über weite Gebiete hinweg stellen Tephren ideale Leithorizonte dar, anhand derer Profile aus verschiedenen Sedimentationsräumen (terrestrisch, lakustrin, marin) zeitlich eingestuft und miteinander korreliert werden können. Diese als „Tephrochronologie“ oder „Tephrostratigraphie“ bezeichnete Methode (Thorarinsson, 1944) findet einerseits Anwendung in der Datierung von archäologischen Fundstellen, Sedimenten und Eissequenzen, andererseits aber auch in der Zurückverfolgung von Ausbruchphasen und magmatischen Entwicklungen einzelner Vulkanprovinzen. Einen wichtigen Beitrag leistet die Tephrochronologie bei der Rekonstruktion des regionalen und globalen Paläoklimas. Weltweit erbohrte quartäre Sedimentprofile und Eiskernsequenzen lassen sich mit Tephren neben den herkömmlichen direkten (z.B. AMS- $^{14}\text{C}$ ) und indirekten Datierungsmethoden (z.B.  $\delta^{18}\text{O}$ , Biostratigraphie, Magnetostratigraphie) chronologisch exakt einordnen. Hiermit wird der Vergleich der aus verschiedenen Klimaregionen stammenden Kernarchive mittels chemischer, physikalischer und biologischer Parameter erleichtert und somit die Erstellung neuer Klimaszenarien ermöglicht.



**Abb. 1.2:** Der Mittelmeerraum mit seinen wichtigsten quartären Vulkanprovinzen und Lokation des Lago Grande di Monticchio.

Der östliche mediterrane Raum (Abb.1.2) bietet aufgrund seines seit dem Tertiär aktiven und kontinuierlich hochexplosiven Vulkanismus eine ideale Voraussetzung für die Anwendung einer detaillierten Tephrostratigraphie, wie sie seit einigen Jahrzehnten an marinen Sedimentkernen aus dem Mittelmeer praktiziert wird. Erste Tephralagen in Tiefseesedimenten des Mittelmeeres wurden während der Schwedischen Tiefsee-Expedition 1947-1948 entdeckt. Wichtige Beiträge zur Beschreibung dieser Tephren leisteten Mellis (1954), Norin (1958), Ryan *et al.* (1965), van Straaten (1967) und Bartolini *et al.* (1974). In den frühen `70er Jahren trug die Untersuchung von zahlreichen, bis zu 500.000 Jahre (= 500 ka) umfassenden Sedimentsequenzen, die im Rahmen mehrerer Tiefsee-Bohrprojekte gewonnen wurden, entscheidend zur Entwicklung der marinen Stratigraphie der östlichen Mittelmeerregion bei (Cita *et al.*, 1972; Cita *et al.*, 1977; Ryan, 1972). Hier gelang es Keller *et al.* (1978), McCoy (1980, 1981) und Keller (1981), anhand von mehr als 20 Tephralagen eine detaillierte und chronologisch verlässliche Tephrostratigraphie für die letzten 200 ka zu erstellen (Tab.1.1).

**Tab. 1.1:** Bezeichnung, Alter (ka BP =  $10^3$  Jahre vor heute) und Herkunft mariner distaler Aschenlagen aus dem östlichen Mittelmeer (Levantisches Becken, Ägäis, Ionisches Meer, Bannock-Becken), verändert nach Keller *et al.* (1978) und Narcisi & Vezzoli (1999); UMSA = Unità di Monte San Angelo; Referenzen: (1) Keller *et al.* (1978); (2) Scheld (1995); (3) Federman & Carey (1980); (4) Vinci (1985); (5) McCoy (1980, 1981); (6) Vezzoli (1991); (7) Morche (1988); (8) Keller & Kraml, mündl. Mitteilung, 1999; (9) Kraml (1997).

Tephra	Alter (ka BP)	Herkunft	Einheit	Referenzen
Z-1	2	Vesuv	Avellino / Pompeji ?	(1), (2), (9)
Z-2	3,5	Santorini	Minoan = obere Bimsserie	(1), (3), (4)
Z-3	8-10	Türkei	?	(5)
Z-4	8-10	Türkei	?	(5)
Z-5	8-10	Türkei-Levant	?	(5)
Y-1	17	Ätna	Biancavilla	(1), (2), (6), (9)
Y-2	20	Santorini	Akrotiri	(1), (3), (4)
Y-3	25	Campanische Provinz	?	(1), (2), (7), (9)
Y-4	30	Santorini	?	(1)
Y-5	37	Phlegräische Felder	Grauer Campan. Ignimbrit	(1), (2), (4), (6), (7)
Y-6	42-45	Pantelleria	Grüne Tuffe	(1), (2), (9)
Y-7	56	Ischia	Präepomeo = UMSA	(1), (2), (7), (9)
Y-8	65-71	Salina	Graue Porri-Tuffe	(1), (2), (7), (9)
Y-9	70-75	Äolische Inseln / Stromboli	Petrazza	(1), (7), (8), (9)
X-1	70	Griechische Inseln	?	(1), (4)
X-2	70?	Campanische Provinz	?	(1), (6)
X-3	90	Äolische Inseln	?	(1)
X-4	90	Ätna	Acireale	(1), (9)
X-5	102-105	Campanische Provinz	?	(1), (2), (7), (9)
X-6	106-107	Campanische Provinz	Palinuro	(1), (2), (7), (9)
W-0	128-132	Pantelleria	Ignimbrit P	(2), (9)
W-1	145-149	Römische Provinz / Vico?	Ignimbrit A, B oder C	(1), (2), (6), (9)
W-2	150	Santorini	Mittlere Bimsserie	(3), (4)
W-3	160	Kos	Kos Plateau Tuff	(3), (4)
V-0	163-168	Pantelleria	Ignimbrit S oder M	(2), (9)
V-1	170	Griechische Inseln	Untere Bimsserie	(1), (4)
V-2	171-178	Römische Provinz	?	(1), (2), (9)
V-3	180	Griechische Inseln	?	(1), (4)
V-4	265-269	Römische Provinz	?	(2), (9)

Fortführende Untersuchungen an diskreten Tephralagen sind aus Sedimenten des *Ägäischen* und *Levantischen Meeres* (Federman & Carey, 1980; Sparks & Huang, 1980; Thunell *et al.*, 1979; Vinci, 1985), des *Bannock-Beckens* (Vezzoli, 1991), des *Ionischen Meeres* (Cita *et al.*, 1981; Morche, 1988; Scheld, 1995), der *Adria* (Calanchi *et al.*, 1996b; Paterne *et al.*, 1988) und des *Tyrrhenischen Meeres* (Calanchi *et al.*, 1994; McCoy & Cornell, 1990; Paterne *et al.*, 1986, 1988, 1990) bekannt. Die Nomenklatur der mächtigsten Tephralagen aus dem Ionischen, Ägäischen und Levantischen Meer wurde von Keller *et al.* (1978) erstellt (Tab.1.1) und bezieht sich vorwiegend auf die aus dem Atlantik übertragene Zonengliederung „V“ (älteste Zone) bis „Z“ (jüngste Zone) von Ericson & Wollin (1968). Innerhalb dieser Zonen erfolgte eine Durchnummerierung der Tephren vom Jüngeren zum Älteren hin. Korreliert wurden die zahlreichen Aschenlagen mit Großeruptionen der griechischen, türkischen und italienischen Vulkanprovinzen, wonach letztere den Hauptanteil bilden (Tab.1.1).

Im kontinentalen Bereich wurden tephrochronologische Untersuchungen zunächst in Verbindung mit archäologischen Ausgrabungen durchgeführt (z.B. Minoische Studien). Das wachsende Interesse an der Überwachung der innerhalb des Dekaden-Programms stehenden Vulkane *Vesuv* und *Ätna* zog detaillierte stratigraphische Untersuchungen in der proximalen Umgebung dieser und einer Reihe anderer aktiver Vulkane im mediterranen Raum nach sich (z.B. *Santorini*: Druitt, 1985; Druitt *et al.*, 1989; Federman & Carey, 1980; *Campanische Provinz / Italien*: Rosi & Sbrana, 1987; Santacroce, 1987; Vezzoli, 1988). Diese Arbeiten haben bedeutend zu einer verlässlichen Korrelation der distalen marinen Tephren beigetragen. Seit Beginn der '90er Jahre sind tephrochronologische Studien fester Bestandteil paläoklimatischer Untersuchungen, die im Rahmen europäischer Projekte (ELDP, EUROMAAR, PALICLAS, DFG-Projekte) gezielt an lakustrinen Sedimenten durchgeführt wurden (z.B. Calanchi *et al.*, 1996b; Narcisi, 1996; Newton & Dugmore, 1993). Die terrestrisch-lakustrinen Sequenzen bieten gegenüber den marinen Profilen generell den Vorteil einer höheren zeitlichen Auflösung, die allein schon durch die größeren Akkumulationsraten der Sedimente ( $\approx 10$ -fach) hervorgerufen wird. Damit können anhand der ermittelten Klima-Proxies kurzfristige Schwankungen in den Umwelt- und Klimabedingungen erkannt werden. Ein Großteil der bislang erbohrten lakustrinen Sedimentsequenzen stammt aus Maar- und Kraterseen in Mittel- und Süditalien und reicht zeitlich bis auf ca. 100 ka BP zurück (z.B. *Lagaccione*, 100 ka, Narcisi & Anselmi, 1998; *Lago di Monterosi*, 25 ka, Hutchinson, 1970; *Stracciaccappa*, 60 ka, Follieri *et al.*, 1993; *Lago di Martignano*, 11 ka, Kelly & Huntley, 1991). Einige Profile, wie z.B. die des *Lago di Albano* (30 ka), *Lago di Nemi* (10 ka; beide in Guilizzoni & Oldfield, 1996), *Lago di Mezzano* (34 ka; Ramrath *et al.*, 1999) und *Lago Grande di Monticchio* (101 ka; Zolitschka & Negendank, 1996; Brandt *et al.*, 1999; Allen *et al.*, 1999; Brauer *et al.*, im Druck) weisen z.T. jahreszeitliche Schichtungen auf, anhand derer die im wesentlichen  $^{14}\text{C}$ -gestützten Chronologien der Sedimente zeitlich präzisiert werden können. Im Gegensatz zu distalen marinen Tephralagen, die z.T. Mischfraktionen aus mehreren dicht aufeinanderfolgenden Eruptionen darstellen können (z.B. „Y-5“-Tephra; Cornell *et al.*, 1983), lassen sich die Tephra-Fallablagerungen in diesen lakustrinen Sequenzen anhand der hochaufgelösten Chronologien in der Regel als

einzelne vulkanische Ereignisse auseinanderhalten und zeitlich genauer definieren. Für derartige tephrochronologische Untersuchungen ist besonders die Sedimentsequenz des *Lago Grande di Monticchio* geeignet, nicht zuletzt weil sie mit der großen Anzahl von 344 Tephralagen eine detaillierte Stratigraphie des explosiven Vulkanismus Süditaliens wiedergibt. Dieses tephrochronologische Referenzprofil stellt derzeit das wichtige Verbindungsglied für den Vergleich terrestrischer und mariner Sedimentsequenzen aus dem östlichen Mittelmeerraum dar.



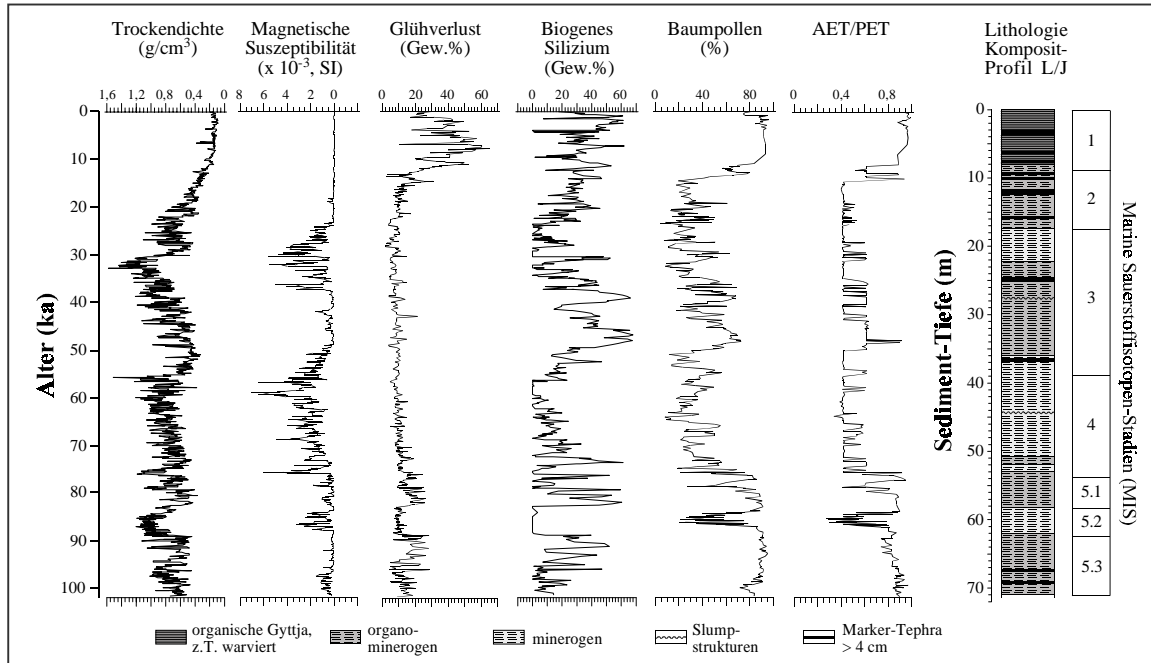
**Abb. 1.3:** Bohrkampagne auf dem Lago Grande di Monticchio (Monte Vulture, Süditalien) im September 1994 (Foto J. Mingram).

### 1.1.2 Vorarbeiten am Lago Grande di Monticchio

Bei zwei Bohrkampagnen, die 1990 von der Universität Trier und 1994 vom GeoForschungsZentrum Potsdam aus im Lago Grande di Monticchio (LGM) durchgeführt wurden, konnten insgesamt elf bis zu 65m lange Sedimentkerne gewonnen werden. Unter Verwendung fünf dieser z.T. laminierten Sequenzen wurden zwei Kompositprofile erstellt (LGM-L/J und LGM-B/D/E/J), von denen letzteres eine maximale Gesamtlänge von 72,5m aufweist. Mittels Warvenzählung und Abschätzung von Sedimentationsraten in den unlaminierten Abschnitten wurde für das Profil LGM-B/D/E/J ein Altersmodell entwickelt, das bis auf 101.670 Jahre BP (vor 1950) zurückreicht (Zolitschka & Negendank, 1993; Zolitschka & Negendank, 1996; Brandt *et al.*, 1999; Brauer *et al.*, im Druck). Diese warvengestützte Sedimentationsratenchronologie konnte zunächst durch  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen und initiale tephrochronologische Studien bestätigt werden. Die 1990 und 1994 gestochenen lakustrinen Sequenzen wurden intensiv sedimentologisch (Zolitschka & Negendank, 1996; Brauer *et al.*, im Druck), geochemisch (Robinson *et al.*, 1993; Brauer *et al.*, 1997), paläomagnetisch (Turton, 1993; Creer &



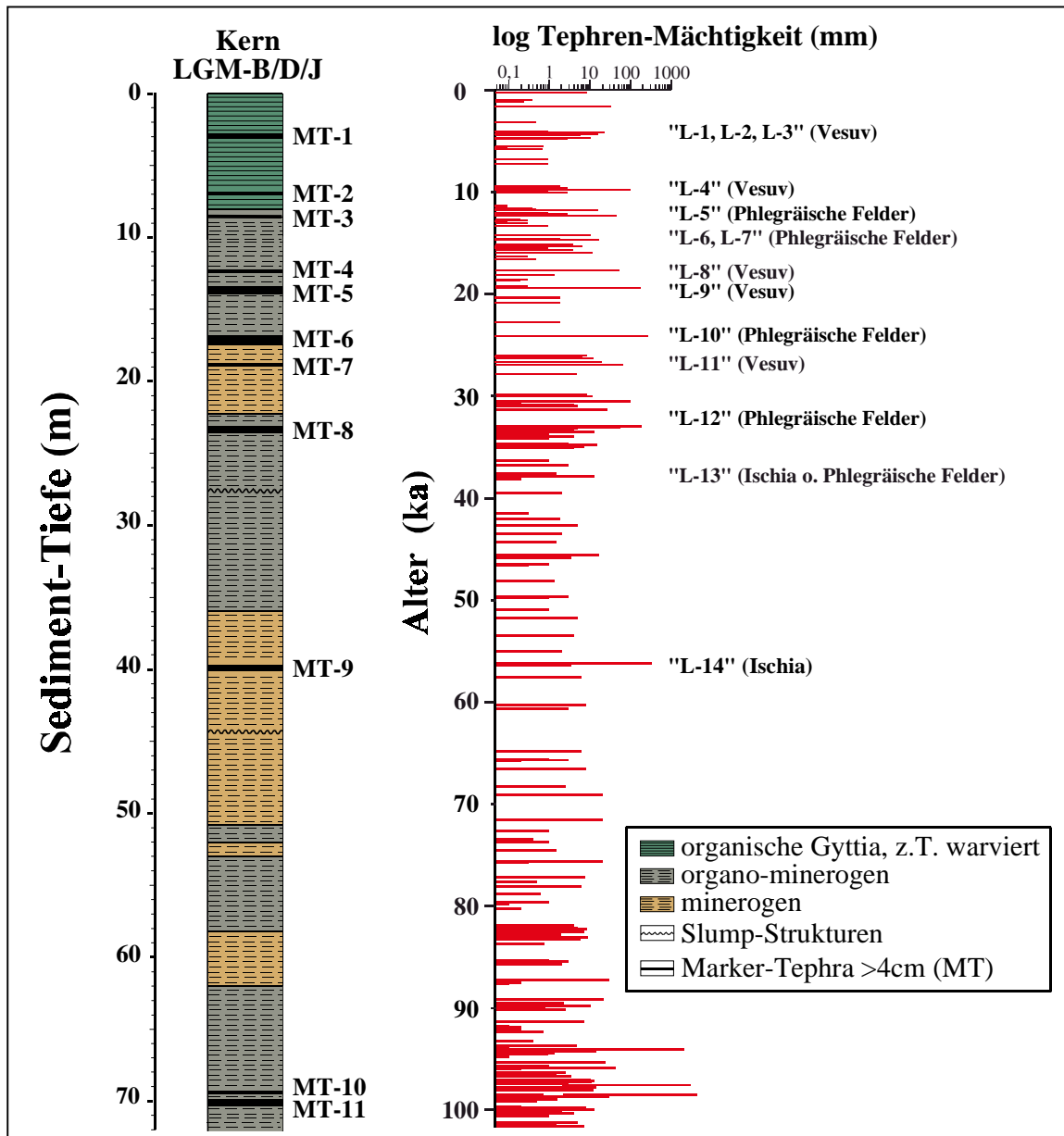
Morris, 1996; Brandt *et al.*, 1999) und pollenanalytisch (Watts, 1985; Watts *et al.*, 1996a, 1996b; Huntley *et al.*, 1996) untersucht (siehe Abb.1.4). Die durchgeführten multidisziplinären Untersuchungen an den Monticchio-Sedimenten ergeben ein in sich konsistentes und hochaufgelöstes Bild für den Zeitraum der letzten 100.000 Jahre.



**Abb. 1.4:** Sedimentologische, paläomagnetische, chemische und palynologische Proxydaten des Kompositprofils LGM-L/J aus dem Lago Grande di Monticchio (Allen *et al.*, 1999).

Generell lassen sich die hochorganischen Sedimente des heutigen Interglazials (0-12 ka BP) von den mehr mineralischen Sedimenten des letzten Glazials (12-101 ka BP) unterscheiden. Innerhalb des letzten Glazials sind Stadiale und Interstadiale auseinanderhaltbar, die gut mit den marinen Isotopenstadien übereinstimmen. Desweiteren werden anhand der Pollenuntersuchungen mehrere rapide (wenige 1000 Jahre) Umweltveränderungen angezeigt (Abb.1.4), die zeitlich in Übereinstimmung mit den in den Sedimentkernen des Nord-Atlantiks und den Eiskernsequenzen aus Grönland nachgewiesenen kurzfristigen Klimaschwankungen stehen (Allen *et al.*, 1999).

Im Kompositprofil LGM-B/D/E/J konnten insgesamt 344 distale Tephralagen mit Mächtigkeiten zwischen 0,1mm und 33,2cm identifiziert werden (Abb.1.5). Aus dem oberen Profilabschnitt (< 75 ka) wurden bereits im Vorfeld die 19 mächtigsten Tephren petrographisch beschrieben (Negendank & Zolitschka, 1994), zum Teil geochemisch untersucht (Mikrosondenanalysen an vulkanischen Gläsern) und mit Ausbrüchen italienischer Vulkane korreliert (Newton & Dugmore, 1993; Narcisi, 1996; siehe Abb.1.5). Dabei wurde aufgrund von Korrelationen mit proximalen pyroklastischen Einheiten des Vesuvs, der Phlegräische Felder und der Insel Ischia vorab vermutet, daß ein Großteil der 344 Aschenlagen aus der benachbarten, westlich vom Lago Grande di Monticchio gelegenen Campanischen Vulkanprovinz stammt (Narcisi, 1996).



**Abb. 1.5:** Sedimentologie und Tephrochronologie des Kompositprofil LGM-B/D/E/J des Lago Grande di Monticchio; elf der mächtigsten Tephralagen wurden von Negendank & Zolitschka (1994) als Markerlagen (MT-1 bis MT-11) definiert. Narcisi (1996) korrelierte insgesamt 14 Tephralagen (L-1 bis L-14) mit Ausbrüchen campanischer Vulkane (Alter siehe Anhang A): **L1, L2, L3** = „Interplinianische Ereignisse“ zwischen Pompeji- und Avellino-Eruption / Vesuv; **L4** = „Mercato“ / Vesuv; **L5** = „Agnano“ / Phlegräische Felder; **L6** = „Gelber Napolitanischer Tuff“ / Phlegräische Felder; **L7** = „Unità dei Tefra Superiori“ / Phlegräische Felder; **L8** = „Verdoline“ (Greenish) / Vesuv; **L9** = „Basali“ / Vesuv; **L10** = „Sarno“ / Vesuv; **L11** = „Codola“ / Vesuv; **L12** = „Campanischer Ignimbrit“ / Phlegräische Felder; **L13** = „Citara-Tuffe“? / Ischia; **L14** = „Grüner Epomeo Tuff“ / Ischia.

### 1.2 Fragestellung

Gegenstand dieser Arbeit ist die petrologische Charakterisierung der 344 distalen Tephralagen aus dem 100 ka umfassenden Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio, die darauf aufbauende Zuordnung zu den jeweiligen Vulkanprovinzen und, soweit möglich, zu deren einzelnen vulkanischen Ereignissen.

Desweiteren soll ein detailliertes tephrochronologisches Gerüst erarbeitet werden, mit dessen Hilfe die Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Sedimentprofils von Monticchio abgesichert werden kann. Eine hohe zeitliche Auflösung der Chronologie ist die wichtigste Voraussetzung für die Rekonstruktion der regionalen Umwelt- und Paläoklimabedingungen sowie der Erkennung von mittel- bis langperiodischen Klimaschwankungen anhand der ermittelten Proxydaten der Monticchio-Sedimente. Mit der Zählung von Jahresschichtungen, die im Monticchio-Profil diskontinuierlich auftreten, und der Interpolation von Sedimentationsraten in unlaminieren Abschnitten wurden diese Voraussetzungen annähernd erfüllt (Zolitschka & Negendank, 1996; Brauer *et al.*, im Druck). Um die Qualität dieser kombinierten Datierung zu testen, ist die Absicherung der Warven- und Sedimentationsratenchronologie durch unabhängige Datierungsmethoden wie die Tephrochronologie besonders wichtig. Voraussetzung dazu sind zum einen abgesicherte Korrelationen der Tephren mit ihren proximalen und distalen Äquivalenten und zum anderen die Verfügbarkeit von zuverlässigen Altersbestimmungen der jeweiligen vulkanischen Ereignisse.

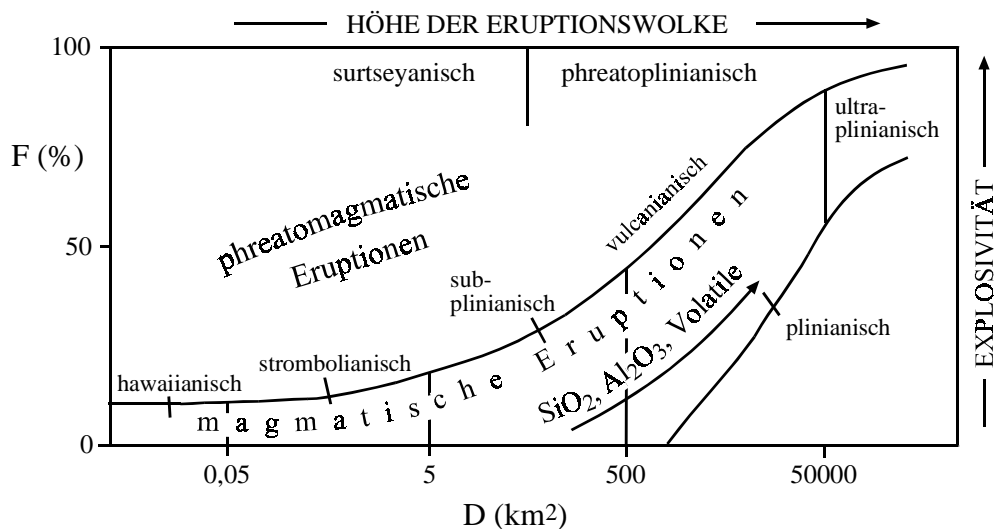
Mit Hilfe des tephrochronologischen Gerüsts können zudem Alter von Tephren, deren Äquivalente bislang nicht oder nur unzureichend datiert wurden, durch die jahresauflösende Monticchio-Chronologie präzisiert werden. Die große Anzahl der Tephren bietet außerdem die Möglichkeit, unter Berücksichtigung der Eruptions- und Paläowindbedingungen, eine nahezu vollständige Stratigraphie der hochexplosiven Ausbrüche der benachbarten Campanischen Vulkanprovinz für die letzten 100 ka zu erstellen. Diese Daten liefern einen wichtigen Beitrag zur Erkennung von Ausbruchsmustern und damit zur statistischen Abschätzung zukünftiger Katastrophen vulkanischer Natur, wie sie z.B. für die Campanische Region mit der Megastadt Neapel von Bedeutung sind.

Die Korrelation der Tephren mit Aschenlagen aus den Tiefseekernen des östlichen Mittelmeeres soll ein dichtes Netzwerk aus Zeitmarkern schaffen, das eine Basis für den zukünftigen Vergleich von Klima-Proxydaten terrestrischer und mariner Archive aus dem Mittelmeerraum darstellt.

## 1.3 Grundlagen

### 1.3.1 Tephra: Entstehung, Transport und Ablagerung

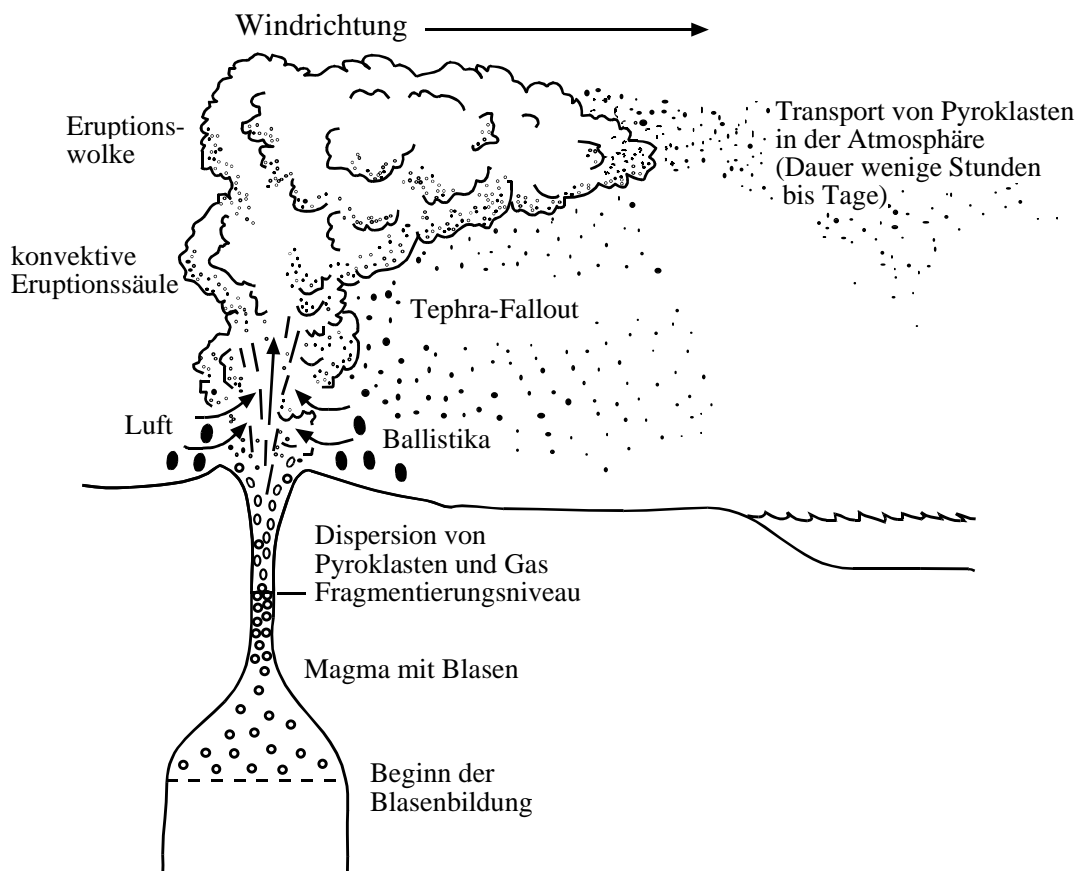
Tephra ist ein Synonym für pyroklastisches Material, das bei explosiven Vulkanausbrüchen entsteht. Explosiver Vulkanismus ist weltweit verbreitet und tritt sowohl an Plattenrändern (Subduktions-, Extensionsvulkanismus) als auch innerhalb von Platten (Intraplatten-Vulkanismus) auf. Je nach Intensität und Art der Eruptionen können drei Typen unterschieden werden: (1) *magmatische Eruptionen*, deren Explosivität allein von den physikalischen Eigenschaften des Magmas und den mitgeführten juvenilen Volatilen bestimmt wird, (2) *phreatomagmatische Eruptionen*, bei denen zusätzlich der Anteil an externem Wasser eine Rolle spielt und (3) *phreatische Eruptionen*, bei denen externes Wasser durch die Aufheizung des Magmas oder des heißen Nebengesteins explosionsartig verdampft, die Förderung von Magma jedoch eingeschränkt ist. Das Spektrum der magmatischen Eruptionen (Abb.1.6) reicht je nach dem Grad ihrer Explosivität und dem Fördervolumen von hawaiianisch (effusiv) bis ultraplinianisch (hochexplosiv). Generell hängt die Art der Eruption von den physikalischen Eigenschaften des Magmas ab, also im wesentlichen von Temperatur, Schmelzzusammensetzung, Kristall/Schmelze-Verhältnissen, Gehalt gelöster Volatile und Gasblasenmenge (Sparks *et al.*, 1997).



**Abb. 1.6:** Klassifikationsschema von magmatischen Eruptionen, verändert nach Cas & Wright, (1987) und Walker (1973).  $D$  = Fläche, die durch pyroklastische Fallablagerungen bedeckt wird bzw. von der 1%- $T_{\max}$ -Isopache eingeschlossen wird ( $T_{\max}$  = Maximalmächtigkeit der Ablagerung);  $F$  = Grad der Fragmentierung in Gewichtsprozent der Korngrößenfraktion  $< 1\text{mm}$  einer Probe, die an dem Schnittpunkt der 10%- $T_{\max}$ -Isopache mit der Ausbreitungsachse der Ablagerung genommen wurde.

Explosiver Vulkanismus resultiert aus (1) der Entgasung von juvenilen vulkanischen Gasen und der Fragmentierung durch rasche Magmenbewegungen, (2) der Wechselwirkung des Magmas mit externem Wasser (Grund-, See- oder Meerwasser) oder (3) einer Kombination dieser beiden Mechanismen. Die wichtigsten Komponenten für die

Steuerung dieser Prozesse sind Volatile wie Wasser, Kohlendioxid, Schwefel und Halogenide (Cl, F), die durch ihr Lösungs- und Expansionsverhalten die Rheologie des Magmas stark beeinflussen. Während des Magmenaufstiegs treten durch Abkühlung und Druckentlastung die im Magma gelösten Volatile aus und bilden eine separate Gasphase in Form von Blasen (Abb.1.7). Durch die rasche Deformation von hochviskosem Magmenmaterial und die enorme Volumenänderung, die aus der Dekompression der Gase resultiert, wird die Schmelze ab einem bestimmten Blasenanteil zerfetzt; es kommt zur Fragmentierung und zum Aufschäumen des Magmas. Oberhalb dieses Fragmentierungsniveaus, das meistens in Tiefen <1 km liegt (Sparks *et al.*, 1997), befindet sich eine niedrigviskose Dispersion aus 700 - 900°C heißem Gas, Magmafetzen, Kristall- und Gesteinsbruchstücken, die durch die Expansion der Gasphase beschleunigt und unter hohen Geschwindigkeiten bis zu 600 m/s (Wilson, 1980) und turbulenten Bedingungen aus dem Schlot herausgestoßen wird (Abb.1.7). Kommt das heiße Magma nahe der Erdoberfläche mit externem Wasser in Kontakt, findet eine zusätzliche enorme Volumenänderung durch die rapide Umwandlung des Wassers in Dampf statt. Die daraus resultierenden Explosionen werden dem Hydrovulkanismus (phreatomagmatische oder phreatische Eruptionen) zugeordnet.



**Abb. 1.7:** Schematische Darstellung einer subaerischen explosiven Eruption; verändert nach Schmincke (1986).

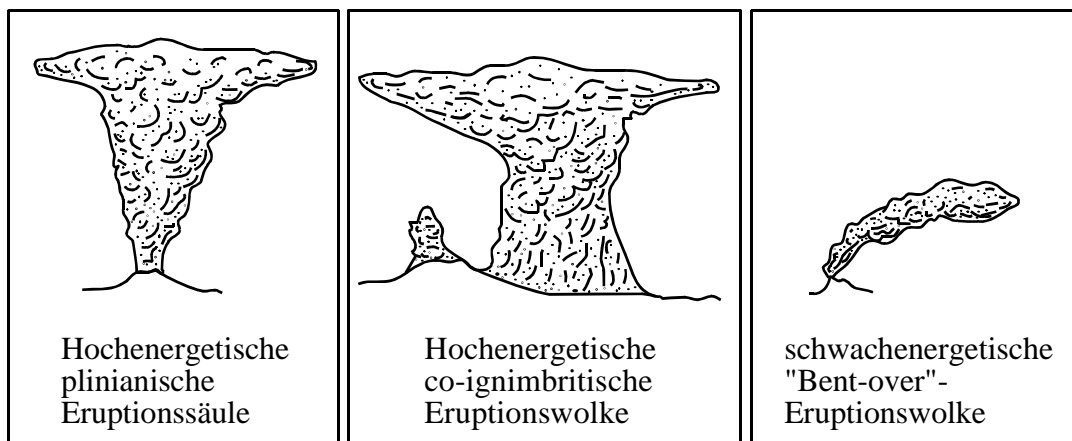
Im unteren Teil der beim Ausstoß des Magmengemisches entstehenden Eruptionswolke wird Luft aus der Umgebung angesaugt, die sich mit der Partikel/Gas-Dispersion vermischt, aufheizt und expandiert (Abb.1.7). In der darüberliegenden konvektiven Eruptionssäule werden die Pyroklasten (Tephra) durch starke Turbulenzen in Schwebelage gehalten. Beim Ausstoß erstarren die ausgestoßenen Magmenfetzen zu aufgeschäumtem Glas (Bims). Das expandierte Tephra-Gas-Gemisch steigt in der Atmosphäre bis zu einer Höhe auf, in der seine Dichte der umgebenden Luftschicht gleicht (bis zu 65km), breitet sich dort u.U. über mehrere hundert km pinienförmig aus und wird je nach den vorherrschenden Windbedingungen unterschiedlich weit verdriftet (Schmincke, 1986; Abb.1.7). Bei extrem hochenergetischen Eruptionen können Gase, Aerosole und sehr feinkörnige Aschepartikel ( $< 40 \mu\text{m}$ ) in der Stratosphäre global transportiert werden.

*Juvenile Pyroklasten* (Bimse, Schlacken, Gläser), *juvenile Kristalle*, *Xenokristalle* und *Lithoklasten* bilden zusammen mit den vulkanischen Gasen die Hauptkomponenten der Eruptionswolke. Die Komponenten werden anhand der Korngrößen in Blöcke bzw. Bomben ( $> 64 \text{ mm}$ ), Lapilli (2 mm - 64 mm), Aschen ( $64 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$ ) und vulkanischen Staub ( $< 64 \mu\text{m}$ ) unterteilt (Fisher, 1961). Form und Morphologie der juvenilen Pyroklasten reflektieren die Prozesse der Fragmentierung, der Zusammensetzung und des Transportes des Magmas (Fisher & Schmincke, 1984; Heiken, 1972; Heiken & Wohletz, 1987; Sheridan & Marshall, 1983). Ihre Dichte variiert je nach Anteil der Porosität zwischen  $2,6 \text{ g/cm}^3$  und  $0,5 \text{ g/cm}^3$ . Die juvenilen Kristalle stammen direkt aus dem differenzierenden Magma und sind durch den Fragmentierungsprozeß freigesetzt worden. Je nach Grad der Fragmentierung und der Blasenbildung können diese Kristalle von Glas benetzt sein. Typische Phänokristalle sind Quarze, Feldspäte, Pyroxene, Hornblenden, Biotite und Fe-Ti-Oxide mit Dichten von  $5 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,4 \text{ g/cm}^3$  und Größen, die zwischen einigen Millimetern und wenigen Zehner-Mikrometern variieren können. Lithoklasten sind Gesteinsbruchstücke aus älteren Vulkaniten oder Nebengesteinen, die mit dem aufsteigenden Magma an die Erdoberfläche gelangen. Diese Klasten sind je nach Eruptionstyp in unterschiedlichen Anteilen in Tephren vertreten und bestehen in der Regel aus magmatischen, sedimentären oder metamorphen Fragmenten variabler Korngröße (Fisher & Schmincke, 1984).

Der atmosphärische Transport dieses heterogenen Tephra-Gemisches aus unterschiedlichen Korngrößen, Dichten und Formen bewirkt eine starke Fraktionierung der einzelnen Komponenten bedingt durch deren unterschiedliche Fallgeschwindigkeiten (Bursik, 1998; Walker *et al.*, 1971; Wilson & Huang, 1979). Aus dieser aerischen Fraktionierung resultiert nicht nur eine Korngrößenfraktionierung, sondern auch eine Anreicherung bestimmter Komponenten in unterschiedlichen „Downwind“-Entfernungen zur Eruptionsquelle. Am Beispiel des Ausbruchs des Mount St. Helens (1980) wurde gezeigt, daß Fallout-Ablagerungen innerhalb von 10 km Umkreis hauptsächlich aus Bimsen und Lithoklasten bestehen (Carey & Sigurdsson, 1982). Mit zunehmender Distanz zum Ausbruchszentrum nehmen diese Komponenten rapide ab und werden durch Feldspäte und mafische Minerale ersetzt, deren maximale Anreicherung bei 140 km Entfernung gegeben ist. Mit weiter zunehmender Distanz sinkt der Anteil an Kristallen und Lithoklasten wieder rapide, wohingegen Bimse und Gläser angereichert werden. Diese

Variationen der Komponentenanteile zeigen eindeutig, daß die Gesamtzusammensetzung der Fallablagerung sehr stark von der Entfernung zum Ausbruchszentrum abhängt (Carey & Sigurdsson, 1982). Damit ist es nicht möglich, verschiedene Ablagerungen anhand der Komponentenanteile oder der chemisch/mineralogischen Gesamtzusammensetzung der Tephra zu korrelieren, sondern nur anhand der Zusammensetzung einzelner Komponenten, wie z.B. Gläser und Minerale.

Die Zusammensetzung der Fallablagerung ist aber nicht nur abhängig von der Entfernung zum Ausbruchszentrum, sondern auch von der Art der Eruptionswolke (Abb.1.8). Man unterscheidet hier im wesentlichen drei Typen (Bursik, 1998; Sparks *et al.*, 1997): (1) die hochenergetische *plinianische Eruptionssäule*, die direkt über dem Schlot entsteht und große Höhen erreicht, (2) die ebenso hochenergetische *co-ignimbritische Eruptionswolke*, die sich aus einer über dem Schlot kollabierenden Eruptionssäule und daraus entstehenden pyroklastischen Strömen heraus entwickelt und (3) die schwachenergetische, niedrige „*Bent-over*“-Eruptionswolke.



**Abb. 1.8:** Schematische Darstellung von verschiedenen Eruptionswolkentypen, die beim explosiven Vulkanismus auftreten; verändert nach Bursik (1998).

Die Fallablagerungen der kurzandauernden co-ignimbritischen Eruptionen (Abb.1.8) unterscheiden sich im proximalen Bereich in der Regel von den plinianischen Eruptionswolken durch ihre geringe Mächtigkeit, ihre bimodale Korngrößenverteilung und ihrem schlechten Sortierungsgrad, wohingegen sich die distalen Ablagerungen durch ihre Feinkörnigkeit, ihre Anreicherung von vulkanischen Gläsern bzw. ihre Abreicherung von Kristallen auszeichnen. Die proximalen Fallablagerungen der plinianischen Eruptionen weisen dagegen stets große Mächtigkeiten sowie unimodale und gut sortierte Korngrößenspektren auf. Generell nehmen die Mächtigkeiten, die maximalen und mittleren Korngrößen von Fallablagerungen – unabhängig vom Eruptionswolkentyp – exponentiell mit der Entfernung zur Eruptionsquelle ab (Thorarinsson, 1967). Anhand von Isopachen-Karten, in denen Linien gleicher Mächtigkeiten eingetragen sind, können Informationen über die Höhe der Eruptionssäule, die Intensität und Dauer der Eruption, sowie über die vorherrschenden Windbedingungen abgelesen werden.

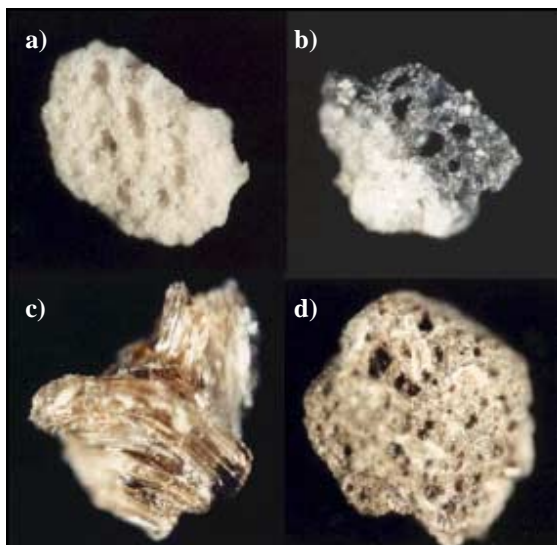
Tephra, die aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche fällt, wird als *subaerisch* bezeichnet, ihre Ablagerung in stehenden Gewässern dagegen als *subaquatisch*. Letztere

schließt *submarine* (Ablagerung im Meer) und *sublakustrine* Tephren (Ablagerung in Seen) ein.

Im aquatischen Ablagerungsmilieu findet innerhalb der Wassersäule eine Sortierung der Tephrapartikel nach der Masse statt. Das Absinken der Partikel erfolgt relativ rasch in wenigen Stunden bis Tagen und resultiert meist in einer normal oder invers gradierten Ablagerung (normal gradierte Kristalle mit Konzentration an der Basis, invers gradiertes blasenreicher Bims am Top). Das Muster der Gradierung wird umso komplizierter je länger die Eruption andauert und je größer die Wassertiefe ist (Ledbetter & Sparks, 1979). Die Mächtigkeiten der submarinen und sublakustrinen Tephren sind nicht direkt mit denen der subaerischen Tephren vergleichbar, da sie oft durch Kompaktion, Bioturbation oder Umlagerung, besonders im marinen Bereich, beeinflusst werden. In Ozeanen können Tephren u.a. durch Meeresströmungen über weite Entfernungen transportiert werden, während die auf dem Festland befindlichen Ablagerungen durch Wind und Regen der Erosion und Umlagerung ausgesetzt sind.

### 1.3.2 Vulkanische Gläser

Die Bildung und Erhaltung von vulkanischen Gläsern (juvenile Pyroklasten) während der Eruption und der Abkühlung der silikatischen Schmelze hängt von deren Abkühlzeit und Diffusionsraten ab (Fisher & Schmincke, 1984). Da z.B.  $\text{SiO}_2$ -arme Schmelzen sehr schnell auskristallisieren können, ist die Bildung von basaltischem Glas (Sideromelan) nur bei rascher Abkühlung im Kontakt mit Wasser oder Luft möglich. Aus der Fragmentierung von relativ viskosem,  $\text{SiO}_2$ -reichem Magma kann Bims entstehen, ein in hohem Maße blasig ausgebildetes vulkanisches Glas mit einer Porosität von mehr als 50% (Abb.1.9a). Die Anwesenheit von Bims zeigt an, daß die Entmischung der volatilen Komponenten während des Fragmentierungsprozesses ohne die Zerstörung der einzelnen Fragmente möglich ist (Sparks *et al.*, 1999). Entsteht dieses Material aus einem  $\text{SiO}_2$ -armen Magma, wird anstelle von Bims die Bezeichnung Schlacke verwendet (Abb.1.9b).



**Abb. 1.9:** Variationen von vulkanischen Gläsern; **a)** alkalitrachytischer Bims (Ischia); **b)** Phänokristall mit dunkler Glasanwachsung (Laacher See); **c)** trachytisches Glas (Phlegräische Felder); **d)** tephriphonolithischer Bims mit Kristalleinschlüssen (Vesuv).

Beim Zerschlagen von Bims können scherbige Glaspartikel entstehen. Man erkennt sie an der sichel- oder Y-förmigen Gestalt, wobei die konkave Seite die Außenwand der ehemaligen Gasblase darstellt. Gläser in Scherbenform findet man häufig in  $\text{SiO}_2$ -reichen Aschen (siehe Abb.1.9c). In basaltischen Tephren liegen die Gläser



entweder angular bis grobrundlich oder tropfenförmig, aber meist schwach porös vor. Gläser, die bei phreatomagmatischen Prozessen entstehen, zeichnen sich durch eine eher blockige, blasenarme Form aus. Ablagerungen von pyroklastischen Strömen können an der Basis ebenfalls glasige Bereiche aufweisen, die dann als Vitrophyre bezeichnet werden (Tucker, 1985).

Die Farbvariationen von vulkanischen Gläsern werden meistens durch ihre chemische Zusammensetzung bestimmt. SiO<sub>2</sub>-reiche Gläser sind überwiegend farblos bis hellbraun, während braune (Sideromelane) bis schwarze Gläser und Schlacken (Tachylite) eine eher SiO<sub>2</sub>-ärmere Zusammensetzung anzeigen (Horn *et al.*, 1969). Farbvariationen der Gläser können aber auch innerhalb einer Fallablagerung mit homogener SiO<sub>2</sub>-reicher Zusammensetzung auftreten und hängen dann von der Größe und Verteilung von mikrokristallinen, Fe<sup>3+</sup>-reichen Oxiden wie Hämatit und Magnetit ab (Paulick & Franz, 1997). Vulkanisches Glas kann Mineral-, Gas- oder Flüssigkeitseinschlüsse aufweisen und ist im Dünnschliff unter gekreuzten Polarisatoren isotrop.

Vulkanisches Glas ist metastabil. Nur unter speziellen Bedingungen ist es in älteren (prätertiären) Gesteinen noch erhalten (Tucker, 1985). Während der Verwitterung und Diagenese kommt es zur Entglasung und Umwandlung, wobei neue Minerale entstehen. Diffusion von Wasser, besonders unter hohen Temperaturen, zerstört die Glasstruktur, und durch Hydratation können neue Kristallgitter aufgebaut werden (Tucker, 1985). Generell sind SiO<sub>2</sub>-reiche Gläser resistenter gegenüber dieser Alteration als Gläser mit SiO<sub>2</sub>-ärmerer Zusammensetzung. Häufige Umwandlungsprodukte bzw. Neubildungen sind Tonminerale und Zeolithe. Bei den Tonmineralen handelt es sich hauptsächlich um Smekтите, besonders um Montmorillonit und Saponit in den SiO<sub>2</sub>-ärmeren Tephren sowie um Kaolinit in feldspatführenden Tephren. Chlorit tritt ebenfalls in basischen Tephren auf. Häufige, durch Umwandlung vulkanischer Gläser gebildete Zeolithe sind Analcim, Clinoptilolit, Phillipsit, Laumontit und Mordenit. Zeolithe entstehen bevorzugt bei hoher Alkalinität und Salinität des Porenwassers. Bei vielen submarinen basaltischen Tephren erfolgt eine Umwandlung von Sideromelan in Palagonit, oft in Form von gelblich-orange gefärbten Säumen. Die bei der Umwandlung in Palagonit ablaufenden Prozesse sind Hydratation der Gläser, Oxidation des Eisens, Abgabe von Na und Mg sowie Zunahme von K und Fe-Oxiden. Palagonit selbst ist kein eigenständiges Mineral, sondern stellt eine Verwachsung von Montmorillonit und Phillipsit dar (Tucker, 1985).

### 1.3.3 Datierungsmethoden von quartären Tephren

Zu den gängigsten Methoden der Alterseinstufung von Pyroklastika gehören die auf radioaktiven Zerfall beruhenden Strahlenschadenmethoden (z.B. Spaltspuren), radiometrischen Methoden (z.B. Radiokarbon) und radioisotopischen Methoden (z.B. U/Th, Rb/Sr, K/Ar). Einen umfassenden Überblick über diese Datierungstechniken gibt u.a. Faure (1986). Im Folgenden sollen in Anlehnung an Kraml (1997) Vor- und Nachteile der wichtigsten physikalischen Datierungsmethoden von quartären Tephren diskutiert werden.

### a) Radiokarbon-Datierungen

Radiokarbon-Datierungen sind grundsätzlich an allen C-haltigen Substanzen, wie z.B. eingeschalteten Holzkohlen, Pflanzenresten, Foraminiferen und angrenzenden Paläoböden, durchführbar. Der zeitliche Anwendungsbereich reicht von 300 Jahre bis 50 ka, mit der AMS und Laser-Anreicherung sogar bis 100 ka. Systematische Altersverfälschungen durch signifikante Variationen im  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt, bedingt durch Änderungen der Intensität der kosmischen Strahlung, des Erdmagnetfeldes und der Kohlenstoffreservoirs, erfordern Korrekturen mittels anderer Datierungsmethoden. So erfolgt die Kalibrierung der Alter bis 13 ka anhand der Dendrochronologie (Stuiver & Reimer, 1993; Stuiver *et al.*, 1998; Taylor *et al.*, 1996), wohingegen U/Th-Ungleichgewichts-Datierungen an Korallen den Altersbereich von 13 bis 20 ka, vereinzelt bis 30 ka, abdecken (Bard *et al.*, 1993; Bard *et al.*, 1998). Für die Kalibrierung von  $^{14}\text{C}$ -Altern jenseits von 30 ka wird von Mazaud *et al.* (1991) und Laj *et al.* (1996) eine geomagnetische Korrektur vorgeschlagen, die generell geringer ausfällt als bei der U/Th-Kalibration. Systematische Altersverfälschungen bei  $^{14}\text{C}$ -Datierungen können sich ergeben aus (1) der Kontamination des zu datierenden Materials mit rezenten Huminsäuren (Calderoni & Turi, 1998; Geyh & Schleicher, 1990), (2) der Assimilation von  $^{14}\text{C}$ -freiem vulkanischem  $\text{CO}_2$  in Gebieten mit aktivem Vulkanismus (Altersüberhöhungen; Bruns *et al.*, 1980) und (3) der Aufnahme von rezentem atmosphärischen  $\text{CO}_2$  durch bakterielle Tätigkeiten bei Sedimentkernen, die über einen längeren Zeitraum bei  $4^\circ\text{C}$  gelagert wurden (Altersverjüngung; Geyh *et al.*, 1974 in Kraml, 1997). Bei der Datierung von Tiefseeproben macht sich zusätzlich der Reservoirseffekt bemerkbar, der auf den Austausch mit  $^{14}\text{C}$  abgereichertem Tiefenwasser zurückgeht (Bard, 1988) und mindestens 400 Jahre beträgt.

### b) U/Th-Datierungen

Mit einer Halbwertszeit von 75,38 ka lassen sich mit der U/Th-Methode generell Proben mit Altern  $> 1$  ka bis hin zu  $< 1$  Ma datieren. Die Altersbestimmung von Vulkaniten mit  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$  ist generell durchführbar, die Zuverlässigkeit dieser Methode wird jedoch bezüglich möglicher offener Systeme von einigen Autoren (z.B. Capaldi & Pece, 1981) noch in Frage gestellt. Tiefseesedimente, wie z.B. mit Uran angereicherte Aragonitschlämme, können direkt mit  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  datiert werden, doch auch hier führen Beimischungen von detritischem  $^{230}\text{Th}$  oder Umlagerung der Sedimente zu verfälschten Altern. Als ideale U/Th-Chronometer erweisen sich unalterierte und nicht rekristallisierte Korallen (Burnett & Veeh, 1992), die mit der hochpräzisen TIMS-Analysentechnik auf Alter von einigen ka bis hin zu 500 ka bestimmt werden können.

### c) K/Ar-Datierungen

$^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -Analysen eignen sich mit einem zeitlichen Anwendungsbereich von Quartär bis  $>$  Erdalter generell gut zur Altersbestimmung von Vulkaniten. Datierbares Material sind K-führende Minerale wie z.B. Feldspäte, Feldspatvertreter und Biotite. Konventionelle  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -Analysen an quartären Proben erfordern jedoch aufgrund der geringen radiogenen Ar-Mengen eine große Probeneinwaage. Zu Altersverfälschungen können Kontamination der Vielkornpräparate mit z.B. älteren Nebengesteins-Feldspäten bzw. mit

alterierten oder einschlußreichen Körnern führen (Kraml, 1997). Vulkanische Feldspäte und saure bis intermediäre Vulkanite, die eine hochviskose Schmelze besitzen, können erniedrigte Alterswerte aufweisen, da die üblichen Heizzeiten oft nicht für eine vollständige Ar-Entgasung ausreichen (McDowell, 1983). Weitere Altersverfälschungen können bei der Teilung heterogener Proben resultieren, welches bei mangelnden Wiederholungsmessungen nicht erkannt wird. Aufgrund der oben aufgeführten Probleme in der konventionellen  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -Datierung sind nach Kraml (1997) die bisher einzig verlässlichen  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -Daten an jungquartären italienischen Vulkaniten von Mahood & Hildreth (1986) publiziert worden. Die „Cassignol-Technik“ (Cassignol & Gillot, 1982; Gillot & Cornette, 1986) hat ebenfalls die oben beschriebenen Probleme, allerdings stehen die bislang ermittelten Alter zumeist im Einklang mit anderen unabhängigen Datierungsmethoden.

### d) Laser - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen

Die  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Technik (Merrill, 1965) wurde aus der konventionellen  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -Methode heraus entwickelt und findet derzeit speziell in der quartären Tephrochronologie ihre Anwendungen. Datiert werden können generell einschlußfreie Sanidine, Biotite und eingeschränkt vulkanische Gläser, bei jungquartären Proben jedoch mit relativ hohen Korngrößen ( $> 200 \mu\text{m}$ ). Die Vorteile dieser Methode liegen im wesentlichen in der Vermeidung von Aliquotisierungsproblemen bei heterogenen Proben, in den geringeren Probenmengen sowie in den präziser durchzuführenden Verhältnismessungen.

Die Stufenheizungsanalysen bieten zusätzlich den Vorteil der Erkennung von naturbedingten „Kontaminationen“ mit altem xenokristischem Nebengesteinsfeldspat sowie der Ermittlung von Maximalaltern. Mit der  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Laser-Technik ist sogar eine Stufenheizung an Feldspat-Einzelkörnern möglich (Kraml, 1997). Voraussetzung für verlässliche und vergleichbare Daten ist die Wahl eines geeigneten Standards, der die höchsten Anforderungen erfüllen muß. Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen bieten außerdem den Vorteil präziser Datierungen, die zeitlich bis in das Holozän hineinreichen (siehe Renne *et al.*, 1997; van den Bogaard, 1995) und somit eine Eichung des unkalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Altersbereich zwischen 22 und 50 ka erlauben.

### e) Rb/Sr-Datierungen

Der übliche Einsatz der  $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ -Datierungsmethode beginnt bei Gesteinen (Sedimenten, Magmatiten, Metamorphiten) mit Altern von  $> 10 \text{ Ma}$  (Geyh & Schleicher, 1990), doch auch jüngere Proben lassen sich damit datieren. Aufgrund der extrem hohen Halbwertszeit von 48,8 Ga ist die Rb/Sr-Methode im Quartär nur bei Rb-reichen Mineralen wie z.B. Leuzit anwendbar. Dieses zeigt die einzige Studie an den 350 ka alten „Villa Senni Tuffen“ der Albaner Berge (Radicati di Brozolo *et al.*, 1981).

### f) Spaltspuren-Datierungen (Fission Track)

Die spontane Spaltung von  $^{238}\text{U}$ -Kernen hinterläßt Zerstörungsspuren, deren Dichte genutzt werden kann, um quartäre Proben zu datieren. Dazu können Minerale mit hohen U-Gehalten wie z.B. Zirkone, Glimmer, Apatite, aber auch vulkanische Gläser (Obsidiane) verwendet werden. Bei letzteren wirken sich Mikrolithe oder Gasbläschen

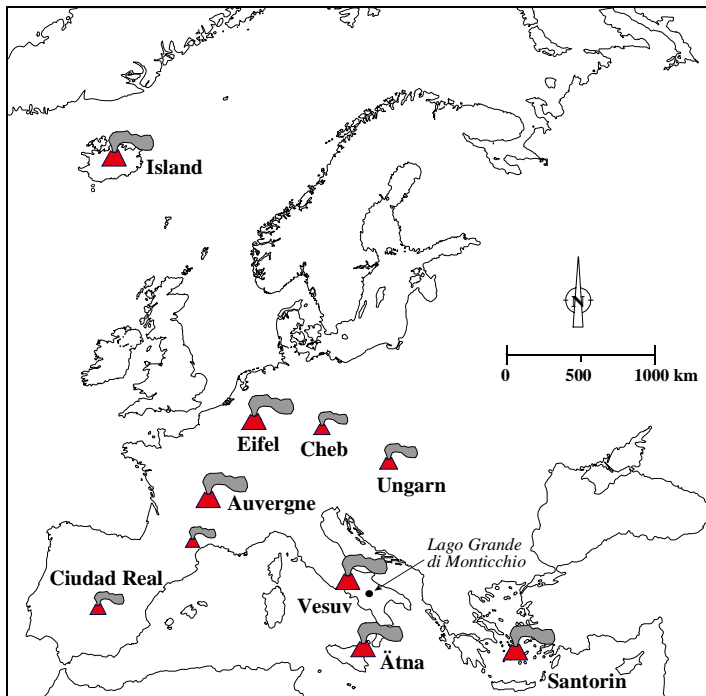
störend aus, da sie mit den echten, auszählenden Spaltspuren leicht verwechselt werden können (Wagner, 1995). Die Erhaltung der Spaltspuren ist temperaturabhängig, d.h. leicht erhöhte Temperaturen (z.B. Bedeckung durch heiße Vulkanite) führen zum Ausheilen der Spuren und somit zu einer systematischen Altererniedrigung. „Fission Track“-Datierungen wurden bereits erfolgreich an jungquartären Tephren durchgeführt (z.B. Toba-Asche, 75 ka; Westgate, 1998) und besitzen einen zeitlichen Anwendungsbereich zwischen wenigen ka und mehreren Ga.

Zusammenfassend eignen sich in der Regel alle oben aufgeführten Methoden für die Datierung vulkanitischen Materials. Die erforderliche Präzision von Altern jungquartärer Tephren kann jedoch vornehmlich nur durch AMS- $^{14}\text{C}$ -Analysen im jüngeren Altersbereich (< 50 ka) sowie zum Älteren hin durch Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen erreicht werden.

## 2 Untersuchungsgebiet

### 2.1 Herkunft der Tephren – Italienischer Vulkanismus

Für die Korrelation der im Monticchio-Profil dokumentierten Fallout-Tephren müssen zunächst die zeitlich und räumlich in Frage kommenden Vulkanzentren betrachtet werden. Hochexplosiver Vulkanismus in Mittel- und Südeuropa während der letzten 100ka ist aus der *Eifel* (Deutschland), der *Auvergne* (französisches Zentralmassiv), den *Ägäischen Inseln* und aus *Italien* bekannt (Abb.2.1). Unter Berücksichtigung der Entfernung der Vulkane zum Lago Grande di Monticchio (1000 bis 1200 km) und den vorherrschenden Westwinden im mediterranen Raum (Kutzbach *et al.*, 1993; Paterne *et al.*, 1990) können die nördlich und östlich, entfernter gelegenen Vulkanprovinzen Eifel, Auvergne und Griechische Inseln als Hauptlieferanten der Fallout-Tephren im LGM zunächst ausgeschlossen werden. Andere quartäre Vulkanfelder wie die *Canarischen Inseln* im SW, die *Faröer-Inseln* und *Island* im NW von Monticchio kommen aufgrund der sehr großen Distanz (>2500 km) oder der geringen Explosivität (*Cheb*, *Ungarn*, *Spanien*) ebenfalls nicht in Frage. Das Hauptuntersuchungsgebiet für die Korrelation der Monticchio-Tephren wird sich demzufolge auf die italienischen Vulkane konzentrieren.



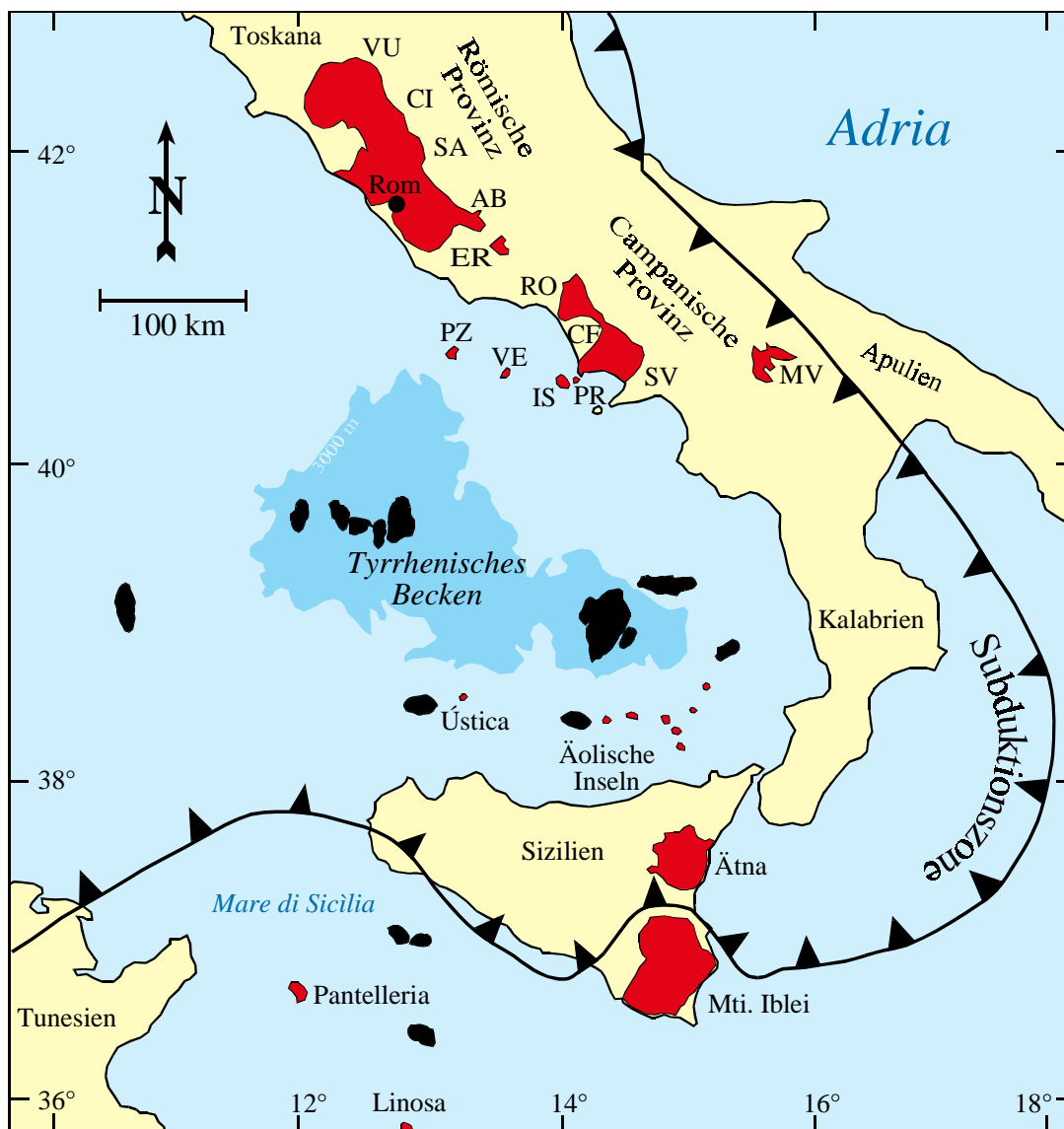
Das Hauptuntersuchungsgebiet für die Korrelation der Monticchio-Tephren wird sich demzufolge auf die italienischen Vulkane konzentrieren.

**Abb. 2.1:** Verbreitung des quartären explosiven Vulkanismus in Europa.

Der italienische Vulkanismus wird, wie nahezu der gesamte mediterrane Vulkanismus, dem Subduktionsvulkanismus zugeordnet. Dieser steht im engen Zusammenhang mit der seit dem Oberjura andauernden Schließung der Neo-Tethys als Resultat der nordwärts gegen Eurasien wandernden Kontinentplatten Afrikas und Indiens (Dewey *et al.*, 1973; Sengör, 1985). Bei dieser Kollision wurden die in der Tethys abgelagerten Sedimente gestaucht, zusammengeschoben und zu einem gewaltigen Faltengebirgssystem aufgestapelt, dem u.a. die Alpen und der Apennin angehören. In den Schließungsprozess wurde ein kompliziertes Mosaik von starren Mikroplatten einbezogen, um die sich einzelne alpidische Gebirgsketten winden. Eine solche „Subplattengrenze“ erstreckt sich längs dem Südwestrand Italiens, wo die Tyrrhenische Platte gegen den Faltengebirgsstrang des Apennin grenzt (Abb.2.2). Von der Toskana über die Albaner Berge bei Rom und das Gebiet von Neapel bis nach Sizilien sind an diesem Grenzbereich in einer Länge von nahezu 1500 km eine Reihe von Vulkanen angesiedelt, deren Aktivitätsphasen sich

im Laufe der Zeit von Nordwesten nach Südosten verlagert haben (Abb.2.2). Anhand zeitlicher und petrologischer Kriterien läßt sich der italienische Vulkanismus in vier verschiedene Provinzen unterteilen (Marinelli, 1975; Pichler, 1970a; Abb.2.2, Tab.2.1):

- (1) die *Toskanische Provinz* in Norditalien (Campigliese, Gavorrano, Roccastrada, Elba, Montecristo, Giglio, San Vincenzo, Mte.Amiata),
- (2) die *Römische Provinz* in Mittelitalien (Vulsiner Berge, Ciminer Berge, Vico, Sabatiner Berge, Albaner Berge, Herniker Gebiet),
- (3) die *Campanische Provinz* in Süditalien (Ponza-Inseln, Roccamonfina, Ischia, Prócida-Vivara, Phlegräische Felder, Somma-Vesuv),
- (4) die *Sizilianische Provinz* (Ústica, Ätna, Mti.Iblei, Capo Passero, Pantelleria, Linosa) und die *Äolische Provinz* (Äolische Inseln, Tyrrhenische Seeberge) in Süditalien.



**Abb. 2.2:** Lage der italienischen Vulkanprovinzen, verändert nach D' Antonio *et al.* (1996): VU = Vulsiner Berge, CI = Ciminer Berge, SA = Sabatiner Berge, AB = Albaner Berge, ER = Herniker Gebiet, PZ = Ponza-Inseln, VE = Ventoténe, RO = Roccamonfina, CF = Phlegräische Felder, SV = Somma-Vesuv, PR = Prócida-Vivara, IS = Ischia, MV = Monte Vulture; graue Flächen = quartäre Vulkanite, schwarze Flächen = Vulkanite der Seeberge.

**Tab. 2.1:** Zeitlicher Gesamtüberblick über den italienischen Vulkanismus unter Berücksichtigung der Lage und Entfernung zum Lago Grande di Monticchio. \* Referenzen siehe Text; <sup>(1)</sup> Ferrara & Tonarini (1985); <sup>(2)</sup> Fornaseri (1985); <sup>(3)</sup> de Vita *et al.* (1998); <sup>(4)</sup> Barberi *et al.* (1974); <sup>(5)</sup> Pichler (1989), derzeit keine näheren Angaben möglich.

<b>Vulkanzentrum</b>	<b>Alter der vulkanischen Aktivitäten</b>	<b>Entfernung und Lage zum Lago Grande di Monticchio</b>
<b><u>Toskana</u></b>	7,3 Ma - 200 ka BP <sup>(1)</sup>	470 km / NW
<b><u>Römische Provinz</u></b>		
Vulsiner Berge	600 ka - 100 ka BP*	355 km / WNW
Ciminer Berge	1,4 Ma - 950 ka BP*	320 km / WNW
Vico	420 ka - 95 ka BP*	320 km / WNW
Sabatiner Berge	607 ka - 40 ka BP*	310 km / WNW
Albaner Berge	700 ka - 30 ka BP*	260 km / WNW
Herniker Gebiet	700 ka - 80 ka BP*	200 km / WNW
<b><u>Campanische Provinz</u></b>		
Ponza-Inseln	5 Ma - 200 ka BP <sup>(2)</sup>	210 km / W
Roccamonfina	630 ka - 276 v.Chr. BP*	160 km / WNW
Ischia	>150 ka BP - rezent*	145 km / W
Prócida-Vivara	40 ka - 14 ka BP*	135 km / W
Phlegräische Felder	>60 ka BP - rezent*	125 km / W
Somma-Vesuv	>500 ka BP? - rezent*	100 km / W
Monte Vulture	740 ka - 130 ka BP*	-
<b><u>Äolische Provinz</u></b>		
Äolische Inseln	500 ka BP - rezent*	ca. 280 km / SSW
Tyrrhenische Seeberge	3 Ma - <200 ka BP*	
<b><u>Sizilianische Provinz</u></b>		
Ústica	750 - 130 ka BP <sup>(3)</sup>	315 km / SW
Ätna	>580 ka BP - rezent*	355 km / SSW
Mti.Iblei	5,4 Ma - 1,7 Ma BP <sup>(4)</sup>	430 km / SSW
Capo Pásero	Oberkreide <sup>(5)</sup>	470 km / SSW
Pantelleria	324 ka BP - rezent*	540 km / SW
Linosa	Quartär <sup>(5)</sup>	610 km / SW

Der quartäre italienische Magmatismus zeichnet sich petrologisch gesehen durch kalkalkaline (Toskana, Äolische Inseln), shoshonitische (Äolische Inseln), K-alkaline (Römische und Campanische Vulkane), Na-alkaline bis hin zu peralkaline (Sizilianische Vulkanprovinz) Förderprodukte aus. Die in den letzten 100 ka aktiven Vulkane Italiens sind im wesentlichen in der Campanischen, Römischen, Sizilianischen und Äolischen Provinz zu suchen. Im folgenden soll ein Überblick über die Entwicklungsgeschichte und Petrologie der für die Tephrenkorrelation zeitlich relevanten Vulkanzentren gegeben werden.

### 2.1.1 Römische Comagmatische Provinz

Während des Quartärs wurden Mittel- und Süditalien deutlich beeinflusst durch die Entwicklung K-betonter Vulkane der Römischen Comagmatischen Provinz - der sogenannten „Alkaliprovinz“ (Washington, 1906) - die sich aus den Vulkanen der Römischen und Campanischen Provinz zusammensetzt. Deren vulkanische Aktivitäten begannen vor etwa 2 Millionen Jahren (D' Antonio *et al.*, 1996) und dauern bis heute mit den historischen Ausbrüchen des Vesuvs, der Phlegräischen Felder und Ischia an. Der

Vulkanismus der Römischen Comagmatischen Provinz erstreckt sich über 350 km entlang der Tyrrhenischen Küste vom nördlichen Latium (Vulsiner Berge) bis hin zum Somma-Vesuv; lediglich das isoliert gelegene Vulkanmassiv des Monte Vulture ist als einziges östlich des Apennin gelegen. Die quartären Vulkane sind an unterschiedlich ausgedünnten kontinentalen Krusten plaziert, meist an Kreuzpunkten zwischen den NW-SE (apenninisch) und NE-SW (tyrrhenisch) verlaufenden Störungssystemen.

Am meisten verbreitet ist der *K-alkaline Vulkanismus*, der wiederum in die K-reichen (Trachyte, Latite, Alkalibasalte der Campanischen Provinz) und die hoch-K-reichen Serien (Leuzitite bis Leuzit-Phonolithe der Römischen Provinz und Roccamonfina) untergliedert wird (Appleton, 1972; Civetta *et al.*, 1981; Peccerillo & Manetti, 1985). Diese Gesteine zeichnen sich durch unterschiedliche  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -Verhältnisse sowie hohe, variable Gehalte an inkompatiblen Elementen und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus, welche eher an oberes Krustenmaterial als an Magmen aus dem oberen Erdmantel erinnern (D' Antonio *et al.*, 1996). Um diese Variabilitäten und auch die Zunahme des alkalinen Charakters und der radiogenen Isotopenverhältnisse entlang der italienischen Halbinsel von SE nach NW zu erklären, wurden verschiedene Prozesse hypothesiert:

- (1) Assimilation von Mantelmagma mit Krustenmaterial während des Aufstiegs oder beim Verweilen des Magmas in der oberen Erkruste (Hurley *et al.*, 1966; Turi & Taylor, 1976; Taylor *et al.*, 1979).
- (2) partielles Aufschmelzen von Mantel und Kruste mit anschließender Durchmischung dieser partiellen Schmelzen (Vollmer, 1976; Vollmer, 1977).
- (3) Mantel-Anreicherungsprozesse in Verbindung mit a) Metasomatismus durch angereicherte Fluide aus einem tieferen Niveau in ein tektonisches Intraplatten-Setting (Hawkesworth & Vollmer, 1979; Vollmer, 1989) oder mit b) Fluiden/Schmelzen, die im Laufe der Subduktion mit Krustenmaterial in den oberen Mantel gelangen (Beccaluva *et al.*, 1991; Peccerillo, 1985; Thompson, 1977).
- (4) komplexe Magmenmischung aus zwei Mantelquellen mit mindestens zwei verschiedenen krustalen Komponenten (silikatische Oberkruste und karbonatische Sedimente; Conticelli & Peccerillo, 1992).

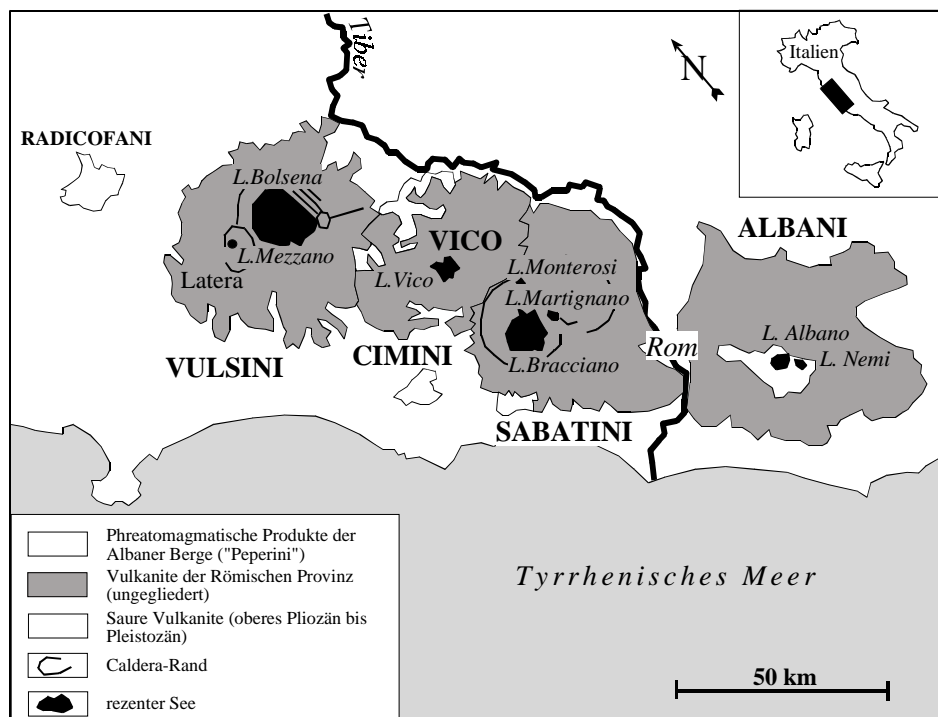
Umstritten sind ebenfalls die tektonischen Prozesse, die hinter der Bildung der Apenninischen Gebirgskette, des Tyrrhenischen Beckens (back-arc) und des quartären alkalinen Vulkanismus stehen. Ninkovich & Hays (1972) postulierten analog zu Indonesien ein klassisches Inselbogensystem, bei dem mit zunehmender Tiefe der nach Südwesten subduzierten Platte der K-Gehalt der Magmen ansteigt. Vorgeschlagen wurden außerdem ein Intraplatten-Rifting (Vollmer *et al.*, 1981) sowie eine Synthese aus Subduktion entlang der inneren Zone des Apennin und anschließendem Rifting (Beccaluva *et al.*, 1991). Vollmer (1990, 1991) hingegen favorisiert ein geotektonisches Modell, bei dem ein Hot Spot und die Rotation der adriatischen Platte entgegen dem Uhrzeigersinn zusammenspielen. Neuere Untersuchungen (z.B. Turco & Zuppetta, 1998) gehen von zwei apenninischen Subduktionsbogensystemen aus, die sich im Laufe der Zeit nach Osten und Südosten verlagerten und damit die Extension und Ausdünnung der Platte in der Internzone des Apennin vorantrieben.



## a) Römische Provinz

**Vulsiner Berge (Monti Vulsini)**

Die Vulsiner Berge, etwa 90 km NW von Rom gelegen, repräsentieren den nördlichsten Vulkandistrikt der Römischen Comagmatischen Provinz (Abb.2.2, Abb.2.3). Sie bestehen aus zwei benachbarten Calderen, dem Lago di Bolsena und der trockenen Caldera di Latera, die beide als Eruptionszentren eine unabhängige Entwicklung durchlaufen haben. Die ältesten Aktivitäten des Paläobolsena-Vulkans setzten vor etwa 600 ka ein (Santi, 1990; Nappi *et al.*, 1995). Sie wurden dominiert durch die Förderung von Bimsaschen (z.B. 576 ka und 568 ka BP; Nappi *et al.*, 1994, 1995) und Ignimbriten mit latitischer bis trachytisch-phonolithischer Zusammensetzung (z.B. *Civitella d'Agliano Formation*, 505 ka BP; Aurisicchio *et al.*, 1992; Nappi *et al.*, 1995). Nach der Bildung der Paläobolsena-Caldera verlagerten sich die Vulkanzentren nach Osten (Bolsena, Montefiascone) und Westen (Latera). Im östlichen Teil herrschten zwischen 400 und 200 ka BP (Nappi *et al.*, 1995) alternierende effusive, strombolianische, plinianische und ignimbrische Aktivitäten vor (Nappi & Marini, 1986; Nappi *et al.*, 1987), die zur Bildung einer weiteren Caldera führten und ihren Abschluß vor ca. 127 ka (Santi, 1990) mit surtseyanischen Eruptionen innerhalb des Bolsena-Sees fanden. Die Aktivitäten des westlich gelegenen, jüngeren Latera-Vulkans (Abb.2.3) waren im wesentlichen durch die Förderung von Leuzit-reichen Laven in der Prä- und Post-Caldera-Phase (400-300 ka BP bzw. 158-145 ka BP; (Nappi *et al.*, 1998) sowie durch ignimbrische Eruptionen zwischen 250 und 160 ka BP (Nappi *et al.*, 1991; Turbeville, 1992) geprägt. Die letzten phreatomagmatischen Ausbrüche erfolgten zwischen 145 und 100 ka BP (Nappi *et al.*, 1998), die u.a. verbunden waren mit der Bildung von Maar- und Kraterseen (z.B. Lago di Mezzano).



**Abb. 2.3:** Übersichtskarte der Römischen Vulkanprovinz (Latium); verändert nach Niessen *et al.* (1993).

### **Ciminer Berge (Monti Cimini) und Vico (Monte Vico)**

Südöstlich der Vulsiner Berge grenzt das Ciminische Vulkangebiet an (Abb.2.2, Abb.2.3). Dieses wird anhand der Petrologie seiner Vulkanite und deren zeitlichen Bildung in zwei verschiedene Vulkangruppen unterteilt. Der ältere Monte Cimino Vulkankomplex ist der toskanisch-römischen anatektischen (kalkalkalinen) Magmenprovinz zugeordnet (Evernden & Curtis, 1965; Barberi *et al.*, 1971; Marinelli, 1975). Seine aktive vulkanische Phase, die von ca. 1,4 bis 0,95 Ma BP andauerte (Nicoletti, 1969), wurde im wesentlichen durch die Förderung von rhyodazitischen Ignimbriten (*Peperino tipico*), latitischen bis olivin-latitischen Laven, sowie durch den Aufbau quarzlatitischer Staukuppen geprägt (Washington, 1906). Der Vico-Stratovulkan, ca. 55 km NW' von Rom gelegen (Abb.2.3), grenzt südlich an den Ciminer Vulkankomplex an. Aufgrund des alkalinen Chemismus seiner Vulkanite, im wesentlichen K-reiche Leuzit-Tephrite bis Trachyte und Leuzit-Phonolithe (Locardi, 1965; Cundari & Mattias, 1974; Barbieri *et al.*, 1988; Perini, 1997), gehört der Vico-Vulkan der Römischen Comagmatischen Alkaliprovinz an (Barberi *et al.*, 1971; Marinelli, 1975). Die frühe effusive/explosive Aktivitätsphase des Vico-Vulkans (ca. 400 ka BP; Sollevanti, 1983) war durch den Aufbau eines Stratovulkans geprägt. Diese Phase schloß vor ca. 150 ka (Sollevanti, 1983; Laurenzi & Villa, 1987) mit der Förderung von drei mächtigen pyroklastischen Einheiten, den Ignimbriten A, B und C, und mit der Bildung der zentralen Caldera ab (Locardi, 1965; Sollevanti, 1983; Perini, 1997). Die darauffolgende Post-Caldera-Phase beschränkte sich innerhalb der z.T. wassergefüllten Caldera (rezent Lago di Vico) auf explosive, hydromagmatische Tätigkeiten (Ignimbrit D und Tufi Finali; 140 und 95 ka BP; Bertagnini & Sbrana, 1986; Laurenzi & Villa, 1987) sowie auf letzte effusive Aktivitäten des Monte Venere.

### **Sabatiner Berge (Monti Sabatini)**

Die Sabatiner Berge bestehen aus einem weitverteilten System von Vulkanschloten rund um die wassergefüllte Caldera di Bracciano, etwa 30 km NW' von Rom gelegen (Abb.2.2, Abb.2.3). Mit einer Dauer von etwa 600 ka BP (Cioni *et al.*, 1993; Villa, 1993) bis 40 ka BP (Mattias & Ventriglia, 1970; De Rita & Zanetti, 1986) überschneiden sich die Aktivitäten dieser Vulkane zeitlich und räumlich mit dem nördlich angrenzenden Vico-Vulkankomplex. Innerhalb der Sabatiner Berge können zwei Hauptkomplexe unterschieden werden: das Sacrofano-Vulkanzentrum im Osten, das durchgehend bevorzugt pyroklastische Einheiten und untergeordnet Laven hervorbrachte, und das Bracciano-Vulkanzentrum im Westen, das eine sehr komplexe Entwicklungsgeschichte mit zwei Calderen-Einbrüchen und Effusionen größerer Lavamengen aufweist. Pyroklastische Einheiten, wie z.B. die gelben *Via Tiberina Tuffe* (600-530 ka BP; Cioni *et al.*, 1993; Villa, 1987; Villa, 1993), die *Peperini Listati Einheit* und die *Grauen Sabatini Tuffe* (450 ka bzw. 430 ka BP; Conticelli *et al.*, 1997) trugen zu Beginn der vulkanischen Aktivitäten im wesentlichen mit zum Aufbau beider Stratovulkane bei. Die spätere Phase war durch Einbrüche mehrerer Calderen geprägt, so z.B. im Anschluß an die Förderungen der gelben *Sacrofano Tuffe* im Osten (288 ka BP; Villa, mündl. Mitteilung 1984, in Fornaseri, 1985) sowie der *Pizzo Prato*, *Vigna di Valle* und *Bracciano Tuffe* im Westen (177 bis 90 ka BP: Bonadonna & Bigazzi, 1970; 85 ka BP: Villa, mündl. Mitteilung 1984, in Fornaseri, 1985). Die letzte Phase der vulkanischen Tätigkeiten endete zwischen 80

und 40 ka BP (De Rita & Zanetti, 1986) mit hydromagmatischen Eruptionen, die zur Entstehung von Tuffringen und Maaren führten (z.B. Baccano, Stracciapappe, Martignano). Insgesamt gesehen reichte die petrologische Entwicklung der vulkanischen Förderprodukte der Sabatiner Berge von phonolithischer bis tephritisch-leuzititischer Zusammensetzung (Appleton, 1972; Conticelli *et al.*, 1997; Washington, 1906).

### **Albaner Berge (Colli Albani)**

Der Vulkankomplex der Albaner Berge, 15 km südöstlich von Rom gelegen (Abb.2.2, Abb.2.3), besteht aus einer kreisförmigen Anordnung von Hügeln, die den Rand einer alten Caldera darstellen (Pichler, 1970a). Die Vulkanite der Albaner Berge überlagern relativ geringmächtige pleistozäne bis pliozäne Sedimente sowie die ca. 2000m mächtige mesozoische Karbonatsequenz des Zentral-Appenin (Amato *et al.*, 1994; Fornaseri & Turi, 1969; Funicello & Parotto, 1978). Es können generell zwei Phasen der vulkanischen Aktivitäten der Albaner Berge unterschieden werden. Während der frühen Tuscolano-Artemisio-Phase, die vor ca. 630 ka einsetzte (Trigila, 1995), kam es durch eine Wechselförderung von Pyroklastika und Effusiva (z.B. *Tufo pisolitico*) zum Aufbau eines Stratovulkans. Die Förderung der *Villa Senni Tuffe* (338 ka BP; Radicati di Brozolo *et al.*, 1981) führte zum Einbruch des Kratergipfels und zur Bildung der großen Caldera. In der darauffolgenden Post-Caldera-Phase (300-240 ka BP; Ferrara *et al.*, 1985) trugen die Förderungen und Ablagerungen von Laven und untergeordneten Pyroklastika zur Entstehung eines neuen Kraters im Zentrum der Caldera bei. Die letzte phreatomagmatische Phase um 106 ka BP (Trigila, 1995) führte u.a. zur Bildung der Maarseen Albano, Nemi, Ariccia und Giuturna (Abb.2.3). Diese letzten, regional verbreiteten pyroklastischen Ablagerungen sind als *Peperini Tuffe* bekannt, deren zeitliche Einstufung bis heute umstritten ist (50 ka bis 20 ka BP; De Vries, 1963 in Alessio *et al.*, 1966; Fornaseri *et al.*, 1963; Andretta *et al.*, 1988a, 1988b; Voltaggio *et al.*, 1994). Die petrologische Zusammensetzung der Vulkanite der Albaner Berge ist im Gegensatz zu allen anderen Vulkaniten der Römischen Provinz einheitlich. Es handelt sich generell um stark SiO<sub>2</sub>-untersättigte, K-reiche Förderprodukte, im wesentlichen um tephritische Leuzitite bis Leuzit-Phonolithe mit den niedrigsten bekannten SiO<sub>2</sub>-Gehalten und höchsten K<sub>2</sub>O-, CaO- und Sr-Gehalten innerhalb der Römischen Comagmatischen Vulkanprovinz (Washington, 1906; Fornaseri *et al.*, 1963).

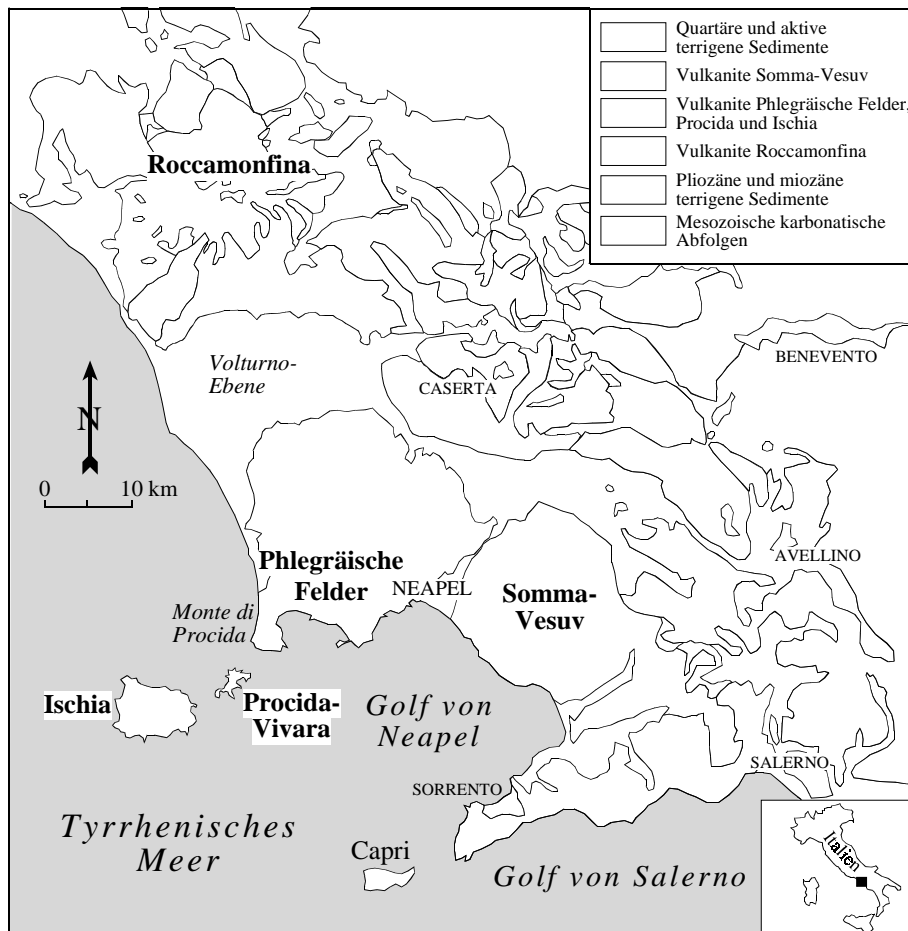
### **Herniker Gebiet (Monti Ernici)**

Die Vulkane der Monti Ernici (Valle Latina), 70 km SE' von Rom gelegen (Abb.2.2), setzen sich aus mehr als 20 kleineren, dicht aneinander grenzenden Ausbruchszentren zusammen. Ihre vorwiegend explosiven Aktivitäten, bei denen große Mengen Leucit-tephritische bis leucititische Pyroklastika und nur untergeordnet Laven gefördert wurden, sind auf Alter zwischen 700 ± 20 ka BP und 80 ± 40 ka BP datiert worden (Basilone & Civetta, 1975; Fornaseri, 1985). Anhand der geochemischen Zusammensetzung der Förderprodukte, die ausführlich von Washington (1906) und Civetta *et al.* (1981) beschrieben wurden, können zwei Aktivitätsphasen unterschieden werden: die erste Phase zwischen 700 und 200 ka mit K-reichen Vulkaniten sowie die zweite jüngere Phase (200-80 ka) mit K-ärmeren Produkten.

## b) Campanische Provinz

### Roccamonfina

Roccamonfina stellt mit seiner Lokation 140 km SE' von Rom und 50 km NW' von Neapel das nördlichste Vulkanzentrum der Campanischen Vulkanprovinz dar (Abb.2.2, Abb.2.4). In seiner relativ komplexen Entwicklungsgeschichte wurden sowohl K-reiche als auch hoch-K-reiche Serien hervorgebracht (De Rita *et al.*, 1997; Radicati di Brozolo *et al.*, 1988). Der Aufbau des Stratovulkans setzte vor ca. 630 ka BP (Ballini *et al.*, 1989) mit der Förderung Leuzit-reicher Pyroklastika und Laven ein. Nach Einbruch des Gipfelkraters kam es zur Ablagerung mächtiger pyroklastischer Einheiten, darunter des *Braunen Leuzititischen Tuffs* (BLT; 385 ka BP, (Luhr & Giannetti, 1987) und des *Weißes Trachytischen Tuffs* (WTT; 317-230 ka BP; Giannetti, 1994, 1996a, 1996b). Die Post-Caldera-Phase war geprägt durch die Entwicklung von latitischen Lava-Domen und die Förderung Leuzit-freier, trachybasaltischer bis trachytischer Pyroklastika. Der *Gelbe Trachytische Tuff* (YTT) zählt zu den letzten geförderten großen pyroklastischen Einheiten. Seine Alterseinstufung steht mit 227 ka BP und 53 ka BP (Giannetti, 1994; Radicati di Brozolo *et al.*, 1988; De Rita *et al.*, 1997) bislang noch zur Diskussion. Thermalquellen an der Westseite des Vulkans sowie eine wahrscheinlich phreato-magmatische Eruption von historischem Alter (276 v.Chr.) sind die letzten rezenten Zeugen der vulkanischen Tätigkeiten (Celico, 1983; Scherillo, 1965; Tedesco, 1965).



**Abb. 2.4:** Geologische Übersichtskarte der Campanischen Vulkanprovinz; verändert nach Orsi *et al.* (1996a).

### **Ischia (Isola di Ischia)**

Die Insel Ischia, am Eingang des Golfes von Neapel gelegen (Abb.2.4), besteht aus einem vulkano-tektonischen Horst, der von den *Grünen Epomeo Tuffen* gebildet wird (Rittmann, 1948). Die vulkanischen Aktivitäten auf Ischia setzten vor mindestens 150 ka ein und hielten zunächst bis etwa 75 ka BP an. Über die Stratigraphie der Förderprodukte aus dieser Phase ist nur wenig bekannt, da der Hauptteil des alten Vulkankomplexes erodiert und nach dem tektonischen Einbruch und der Eruption der *Grünen Monte Epomeo Tuffe* (55 ka BP; Poli *et al.*, 1987) verschwunden ist. Der daraufhin einsetzende Aufstieg des Monte Epomeo-Horstes wurde begleitet durch die Förderung der mächtigen pyroklastischen Einheiten, wie z.B. der *Citara-Tuffe* (44-33 ka BP; Poli *et al.*, 1987). Diese vulkanischen Produkte zeichnen sich petrologisch im wesentlichen durch Alkalitrachyte und untergeordnete Olivin-Latite aus. Ischia war zur Zeit der Griechen und Römer vulkanisch besonders aktiv (Orsi *et al.*, 1996b). Die letzte historische Eruption fand 1302 n.Chr. statt, und derzeit zeugen nur noch fumarolische Aktivitäten von der rezenten vulkanischen Natur der Insel.

### **Prócida-Vivara (Isola di Prócida-Vivara)**

Die Doppelinsel Prócida-Vivara stellt eine im Golf von Neapel zwischen Ischia und den Phlegräischen Feldern gelegene Vulkaninsel dar (Abb.2.4). Die vulkanischen Aktivitäten begannen dort vor etwa 40 ka mit der Bildung des Vivara-Vulkankegels (Alessio *et al.*, 1976). Neben einer Reihe niedrigenergetischer, hydromagmatischer Eruptionen kam es auf Prócida auch zur Förderung mächtiger Pyroklastika (Rosi & Sbrana, 1987; Rosi *et al.*, 1988). Dazu zählen die trachybasaltischen, dunklen Tuffe der *Fiumicello-* (ca. 31 ka BP, Scandone *et al.*, 1991) und *Solchiaro-*Formationen (ca. 19 ka BP; Scandone *et al.*, 1991). Mit der Eruption der alkalitrachytischen *Torre Gaveta Tuffe* des auf dem Festland gelegenen Monte di Prócida endeten die vulkanischen Tätigkeiten vor ca. 14 ka (Alessio *et al.*, 1976).

### **Phlegräische Felder (Campi Flegrei)**

Die Phlegräischen Felder westlich von Neapel (Abb.2.4) stellen ein Gebiet mit noch rezent aktivem explosiven Vulkanismus dar. Zahlreiche Vulkanzentren sind innerhalb der sogenannten Campi Flegrei Caldera (CFC) angeordnet, die aus zwei Haupteinbrüchen, verbunden mit der Förderung des *Campanischen Ignimbrites* (CI, 37 ka BP; Deino *et al.*, 1992, 1994) und der *Gelben Neapolitanischen Tuffe* (NYT; 12 ka BP; Alessio *et al.*, 1973; Alessio *et al.*, 1971; Rosi & Sbrana, 1987; Scandone *et al.*, 1991), resultierte. Die Vulkanite der Phlegräischen Felder gehören petrographisch der shoshonitischen Serie an, die von Trachyten, Phonolithen, mafischen bis intermediären Gesteinen (shoshonitische Basalte, Latite) dominiert wird (Di Girolamo *et al.* 1984 in Melluso *et al.*, 1995). Die ältesten pyroklastischen Einheiten (>CI) wurden auf mindestens 60 ka BP datiert (Orsi *et al.*, 1996a; Pappalardo *et al.*, 1999). Die vulkanischen Aktivitäten innerhalb der Phlegräischen Felder werden derzeit in drei Hauptphasen untergliedert: Die erste Phase, die sogenannte Prä-CI-Phase war durch hochexplosive Tätigkeiten charakterisiert (Pappalardo *et al.*, 1999). Darauf folgte eine ruhigere hydromagmatische Eruptionsphase, die sich auf den Zeitraum zwischen der Förderung des CI und des NYT beschränkte. In

der dritten Phase (12 ka BP – rezent), waren die vulkanischen Aktivitäten auf das Zentrum der NYT-Caldera konzentriert. Hier traten in drei Epochen (12,0-9,5 ka BP, 8,6-8,2 ka BP, 4,8-3,8 ka BP) insgesamt 60 Eruptionen auf (Di Vito *et al.*, 1999), die durch phreatomagmatische Phasen und untergeordnet effusive Tätigkeiten gekennzeichnet waren. Nach einer ca. 3000 jährigen Ruhephase kam es mit dem letzten Ausbruch 1538 n.Chr. zur Bildung des Monte Nuovo. Intensive fumarolische Tätigkeiten (Solfatara), heiße Quellen sowie vulkano-tektonische Untergrunds-bewegungen sind deutliche Anzeichen, daß der Vulkanismus innerhalb der Phlegräischen Felder noch nicht zur Ruhe gekommen ist.

### **Somma-Vesuv (Monte Somma-Vesuvio)**

Der Somma-Vesuv, an dessen Fuße die Megastadt Neapel gelegen ist, gehört zu den berühmtesten und wahrscheinlich auch gefährlichsten Vulkanen der Welt. Er setzt sich aus einem älteren Stratovulkan, dem heutigen Monte Somma Caldera-Rand, und einem jüngeren Intra-Caldera-Kegel, dem Vesuv, zusammen. Die ältesten Laven, die bislang erbohrt werden konnten, sind den Aktivitäten des Monte Somma zuzuschreiben und besitzen Alter zwischen 500 und 300 ka BP (Santacroce, 1987). Die vulkanischen Förderprodukte des Vesuvs hingegen, im wesentlichen Pyroklastika und Laven mit trachytisch-phonolithischer bis phonotephritischer-leucititischer Zusammensetzung, sind auf vulkanische Aktivitäten innerhalb der letzten 35 ka BP beschränkt. Die Eruptionsgeschichte des Vesuvs kann basierend auf Eruptionsstil und Zyklen in vier Perioden unterteilt werden (Santacroce, 1983; De Vivo *et al.*, 1993; Rolandi & Mc Geehin, 1995; Rolandi *et al.*, 1998; Spera *et al.*, 1998): (1) kleine effusive oder explosive/effusive Eruptionen, Aufbau des Somma-Stratovulkans (35-25 ka BP), (2) große plinianische Eruptionen und intermediäre effusive/explosive Aktivitäten (25-14 ka BP), (3) mittlere subplinianische Eruptionen mit Ruhepausen von >4000 Jahren (14-4 ka BP) und (4) große plinianische Eruptionen im Wechsel mit kleinen effusiven oder explosiven / effusiven interplinianischen Tätigkeiten, die zum Aufbau des Vesuv-Kegels beitragen (4 ka BP bis rezent). Die jüngere Aktivitätsperiode des Vesuvs (<19 ka) ist durch vier plinianische Ereignisse gekennzeichnet (*Pomici di Base*: 18,3 ka BP, *Mercato*: 8 ka BP, *Avellino*: 3,6 ka BP, *Pompeji*: 2 ka BP), die jeweils von Calderen-Einbrüchen begleitet wurden und somit zum Aufbau einer polyphasen Calderen-Struktur beitragen (Cioni *et al.*, 1999). Der letzte Ausbruch des Vesuvs fand im Mai 1944 statt. Intensive Fumarolentätigkeiten und vulkano-tektonische Erdbeben (z.B. Oktober 1999) lassen erkennen, daß der Vesuv auch heute noch zu den aktiven Vulkanen zählt.

#### 2.1.2 Sizilianische Vulkanprovinz

Der Sizilianischen Vulkanprovinz gehören nach Pichler (1970a) die auf Sizilien gelegenen Vulkankomplexe Ätna, Monti Iblei und Capo Pásero, die nordwestlich von Sizilien im Tyrrhenischen Meer gelegene Insel Ústica sowie die sich im Kanal von Sizilien befindlichen Vulkaninseln Pantelleria und Linosa an (Abb.2.2). Die Eruptivgesteine der Sizilianischen Vulkanprovinz zeichnen sich im Gegensatz zur

Römischen Comagmatischen Vulkanprovinz durch einen Na-alkalinen (Ätna, Ústica) bis peralkalinen Chemismus (Pantelleria, Linosa) aus.

### **Ätna**

Der Monte Ätna (Abb.2.2, Abb.2.5) zählt zu den größten, aktiven Vulkanen der Welt und ist aufgrund seiner komplexen tektonischen Lage und der geochemischen Diversität seiner Vulkanite besonders für petrologische Untersuchungen interessant. Seine vulkanischen Aktivitäten können in insgesamt vier Perioden untergliedert werden (Romano, 1982; Tanguy, 1980). Die ältesten Laven des Prä-Ätnas wurden zwischen 580 und 300 ka BP gefördert (Romano, 1982; Gillot *et al.*, 1994) und besitzen subalkalinen Charakter (Tholeiite). Der Übergang zu alkalinen basischen Vulkaniten erfolgte vor ca. 217 ka (Condomines *et al.*, 1982) mit dem Ausfluß von hawaiiitischen Laven (Alkali-Olivin-Basalte, Mugearite; Tanguy, 1978), die einen Differentiationstrend erkennen lassen. In der dritten und vierten Aktivitätsphase erfolgte der Aufbau von zwei Stratovulkanen, dem Trifoglietto (75-40 ka BP) und dem jüngeren Mongibello (Ätna), der seit 40 ka BP bis heute permanent aktiv ist. Mit fortschreitendem Differentiationsgrad des basischen Magmas nahm der Anteil an explosiven Tätigkeiten soweit zu, daß es sogar zu Caldera-Einbrüchen (Kieffer, 1970) und zur Ablagerung mächtiger pyroklastischer Einheiten kam (Chester *et al.*, 1987). Zu letzteren wird der *Biancavilla-Montalto Ignimbrit* (15,0-15,5 ka BP; Romano, 1982; Vezzoli *et al.*, 1998) gezählt, dessen Fallablagerungen weit im nördlichen und östlichen mediterranen Raum verbreitet sind.

Ein großer Streitpunkt ist bis heute die Frage nach dem Ursprung der alkalinen Magmen des Ätnas. Ungeklärt ist derzeit, inwiefern diese von entfernteren Mantelquellen stammen (Carter & Civetta, 1977; Chester *et al.*, 1985) oder aus einer multiphasen Fraktionierung der ursprünglich tholeiitischen Schmelzen resultieren (Tanguy, 1978).

### **Pantelleria**

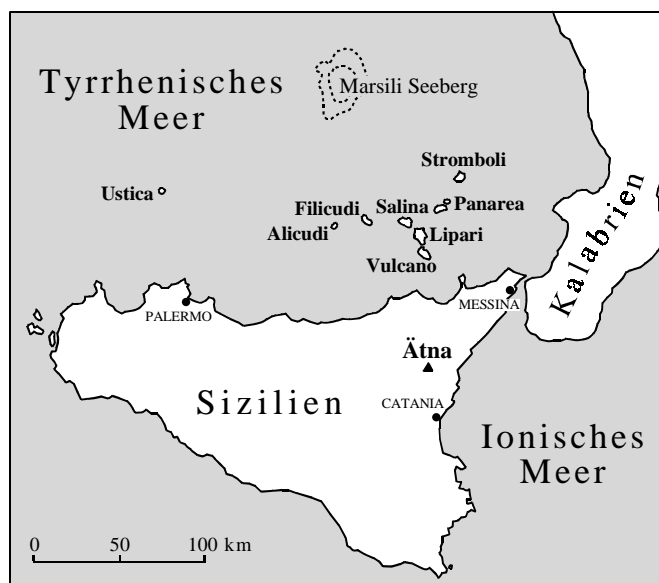
Die rein vulkanisch entstandene Insel Pantelleria ist im Kanal von Sizilien etwa 100 km südwestlich von Sizilien und 70 km von der afrikanischen Küste entfernt gelegen (Abb.2.2). Dieses Gebiet wird von dem NW-SE streichenden Pantelleria-Riftsystem eingenommen, das im Zusammenhang mit der Transtensionstektonik entlang der Nordbegrenzung der afrikanischen Platte steht (Boccaletti *et al.*, 1987). Der intensive Vulkanismus innerhalb der extrem ausgedünnten kontinentalen Kruste brachte eine Reihe von vulkanischen Inseln hervor, von denen Pantelleria die größte Insel darstellt. Pantelleria wird hauptsächlich von sauren, peralkalinen Vulkaniten aufgebaut (Pantellerite bis niedrig-peralkaline Rhyolithe oder Trachyte), während basaltische Gesteine nur untergeordnet vorkommen (Civetta *et al.*, 1984). Hinsichtlich der Entstehung der peralkalinen Schmelzen wurden mehrere Theorien aufgestellt. Diese reichen von Kontaktanatexis silikatischer Kruste unter Beteiligung Na-, Fe- und Ti reicher Fluide (Romano, 1968) über Alkalifeldspat-Fraktionierung aus trachytischer Ausgangsschmelze (Carmichael & MacKenzie, 1963) bis hin zur fraktionierten Kristallisation alkalibasaltischer Ausgangsmagmen (Barberi *et al.*, 1969). Letzteres Modell wird heute weitgehend favorisiert. Der Vulkanismus auf Pantelleria setzte vor etwa  $324 \pm 10$  ka BP mit der Förderung von sauren Laven ein (Mahood & Hildreth, 1986). Diese Einheiten

werden von Bimsstein-Serien, Ignimbriten und Staukuppen-Laven überlagert. Nach einem ersten vulkano-tektonischen Zusammensturz, bei dem die „La Vecchia“-Caldera entstand (114 ka BP; Mahood & Hildreth, 1983), wurden stark verschweißte Ignimbrite, die sogenannten *Einheiten F, D und Z*, gefördert (106 ka bis 79 ka; Mahood & Hildreth, 1986). Mit der Eruption der mächtigen, stark verschweißten *Grünen Tuffe* (49 ka BP; Cornette *et al.*, 1983; Orsi & Sheridan, 1984) kam es zu einem zweiten Caldera-Einbruch mit anschließender Wechselablagerung von Bimsstein-Serien und Staukuppen-Laven. Die letzten Pantellerite wurden vor ca. 4 ka gefördert (Civetta *et al.*, 1998), jedoch zeugen auch hier noch heiße Quellen und Fumarolen von rezenten vulkanischen Aktivitäten der Insel.

### 2.1.3 Äolische Vulkanprovinz

Der Äolische Archipel setzt sich aus den sieben rein vulkanisch entstandenen Inseln Lipari, Vulcano, Stromboli, Salina, Alicudi, Filicudi und Panarea zusammen (Abb.2.5). Diese Inseln befinden sich im südlichen Tyrrhenischen Meer und sind entlang des inneren Randes des Calabro-Peloritanischen Orogengürtels angesiedelt (Abb.2.2). Der aktive, z.T. typisch kalkalkaline Vulkanismus der Äolischen Inseln und die seismischen Aktivitäten im Bereich des Kalabrischen Inselbogens weisen auf noch heute andauernde Subduktionsprozesse hin, die Inselbogen-Charakter besitzen (Caputo *et al.*, 1972; Keller, 1974; Ninkovich & Hays, 1971).

**Abb. 2.5:** Übersichtskarte der süditalienischen Sizilianischen und Äolischen Vulkanprovinz; verändert nach Keller (1974).



Die silikatische Kruste erreicht unter Kalabrien eine Dicke von 40-45 km, dünnt in Richtung des Tyrrhenischen Meeres aus, wo sie einen mehr ozeanischen Charakter annimmt. Sie wird unter den Äolischen Inseln als restliche tyrrhenische Landmasse interpretiert, die bis ins obere Tertiär hinein existierte (Ninkovich & Hays, 1971). Der Meeresboden der Tyrrhenischen Tiefsee-Ebene ist von obermiozänen bis pliozänen tholeiitischen Basalten bedeckt, deren Chemismus auf Backarc-spreading-Prozesse und ozeanische Kruste hindeuten (Barberi *et al.*, 1978a; Ryan *et al.*, 1970). Acht bis zu 2900m hohe Seeberge sind in der tyrrhenischen Tiefsee-Ebene verteilt (Abb.2.2), die wiederum auf großen NNE-SSW streichenden Störungen aufsitzen. Weitere fünfzehn perityrrhenische Seeberge sind mit Gipfelhöhen zwischen -70 und -2000 m im Bereich des tyrrhenischen Kontinental-Abhanges angesiedelt. Zu den aus dem Meer ragenden Bergen gehören Inseln des Äolischen und Pontinischen Archipels sowie die Insel Ústica (Abb.2.2,



Abb.2.5). Der Vulkanismus der Äolischen Inseln kann petrologisch und zeitlich in zwei Gruppen unterteilt werden: Die Inseln Lipari, Salina, Filicudi, Alicudi und Panarea/Basiluzzo waren vom Mittel-Pleistozän bis in historische Zeiten vulkanisch aktiv (Barberi *et al.*, 1974; Keller, 1974; Keller, 1982). Sie bilden eine typisch kalkalkaline Gruppe, die mit den Vulkanen der südlichen Ägäis vergleichbar ist. Die Inseln Vulcano und Stromboli heben sich nicht nur durch ihr jüngeres Alter, sondern auch durch ihre petrologische Entwicklung von hoch-K-kalkalkalinen und kalkalkalinen zu (Leuzit-)shoshonitischen (Vulcano) bis K-alkalinen (Stromboli) Förderprodukten ab (Hornig-Kjarsgaard *et al.*, 1993; Keller, 1982).

Explosive Tätigkeiten innerhalb des Äolischen Archipels sind im wesentlichen von den Vulkaninseln Salina, Lipari, Vulcano und Stromboli bekannt. Hier bilden u.a. die Bimsfallablagerungen der *Grauen Porrituffe* (ca. 67 ka, Kraml, 1997) oder der jüngsten *Pollara-Tuffe* (13 ka; Keller, 1982) typische kalkalkaline Vertreter der Insel Salina. Auf Lipari wurden vorwiegend während der letzten hochexplosiven Phasen (20 ka - 13 ka BP, 11 ka - 1,5 ka BP; Pichler, 1981) rhyolithische bis alkali-rhyolithische Bimssteine und Obsidiane gefördert. Explosive Tätigkeiten des Stromboli fanden dagegen in der älteren Paläo-Stromboli-Phase (200 – 35 ka; Hornig-Kjarsgaard *et al.*, 1993) statt. Als Beispiel sind hier die kalkalkalinen *Petrazza-Tuffe* (ca. 79 ka; Hornig-Kjarsgaard *et al.*, 1993; Morche, 1988) zu nennen, die als distale „Y-9“ Tephra weit bis ins Ionische Meer verbreitet sind (Keller *et al.*, 1978). Die Insel Vulcano ist seit ihrer Bildung (ca. 120 ka; De Astis *et al.*, 1997a; Keller, 1980a) explosiv tätig. Eine voluminöse pyroklastische Einheit stellen hier die *Tufi di Grotte dei Rossi* der jüngeren Fossa-Caldera dar (TGR, ca. 7,7 ka uncal.; De Astis *et al.*, 1997b; De Astis *et al.*, 1997a).

**Tab. 2.2:** Alter und Petrologie der vulkanischen Förderprodukte der Äolischen Inseln nach <sup>(1)</sup> Keller (1982); <sup>(2)</sup> Santo *et al.* (1995); <sup>(3)</sup> Keller (1974), Keller (1980b); <sup>(4)</sup> Keller (1982); <sup>(5)</sup> Keller (1974), Keller (1980a), De Astis *et al.* (1997a); <sup>(6)</sup> Keller (1982), Hornig-Kjarsgaard *et al.* (1993).

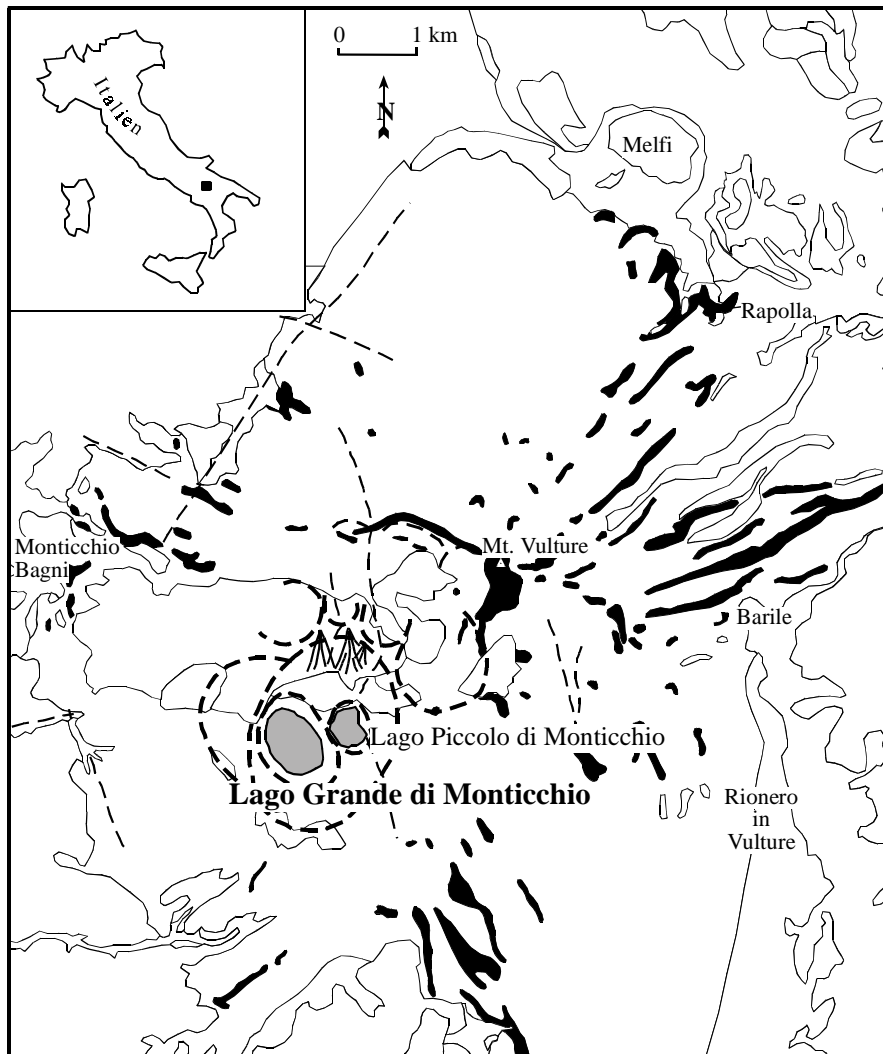
Vulkan-Insel	Alter der Aktivitäten	Petrologie
<b>Panarea</b>	210 - 180 ka <sup>(1)</sup>	Andesite, Dazite
<b>Alicudi</b>	30 - 26.5 ka <sup>(1)</sup>	Basalte bis K-betonte Andesite
<b>Filicudi</b>	1.02 Ma - 40 ka <sup>(1), (2)</sup>	Basalte bis K-betonte Andesite
<b>Salina</b>	435 - 13 ka <sup>(3)</sup>	Al-betonte Basalte bis Dazite, Andesite
<b>Lipari</b>	150 ka - 550 n.Chr. <sup>(4)</sup>	Quarz-Andesite bis Rhyolithe
<b>Vulcano</b>	112 ka - rezent <sup>(5)</sup>	Shoshon. Basalte bis Lc-Tephrite, rezent K-Trachyte - Rhyolithe
<b>Stromboli</b>	200 ka - rezent <sup>(6)</sup>	Al-betonte Basalte bis Andesite, rezent shoshonitische Basalte

## 2.2 Lago Grande di Monticchio – Lokation und Entstehung

Der Maarsee Lago Grande di Monticchio (40°56'N, 15°35'E; 656 m ü.NN) ist in dem Monte Vulture-Vulkangebiet ca. 280 km SE' von Rom und 120 km E' von Neapel in der Region Basilicata (Süditalien) gelegen (Abb.2.2, Abb.2.6). Sowohl Lago Grande als auch der benachbarte, kleinere Lago Piccolo di Monticchio sind vor etwa 130 ka (Brocchini *et al.*, 1994; Laurenzi *et al.*, 1993) während der letzten vulkanischen Aktivitäten des Monte Vulture entstanden. Der Monte Vulture wird aufgrund der K-alkalinen Petrologie seiner Förderprodukte zur Römischen Comagmatischen Vulkanprovinz (Latium, Campanien) gestellt, nimmt aber hinsichtlich seiner einzigartigen geographischen Lage östlich des Apennins eine Sonderposition ein. Seine über eine Fläche von etwa 100 km<sup>2</sup> verbreiteten Vulkanite überdecken die hauptsächlich aus tertiären Flysch-Serien bestehende Molise-Zone in einem Bereich, in dem sich die apenninischen, NW-SE- und die jüngeren tyrrhenischen NE-SW-streichenden Störungssysteme überschneiden (Pichler, 1989). Der 1326 m hohe Monte Vulture besteht im wesentlichen aus einem stark erodierten, großen komplexen zentralen Stratovulkan und mehreren, exzentrisch gelegenen sekundären Förderzentren. Die vulkanischen Aktivitäten setzten vor ca. 740 ka (Laurenzi *et al.*, 1993) mit der Förderung von trachytischen Ignimbriten ein, gefolgt von der Bildung markanter Staukuppen (z.B. Toppo S.Paolo) mit Hauyn-führenden Latiten bis Trachyten (Abb.2.6). In der vulkanischen Hauptaktivitätsphase, die <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Datierungen zufolge zwischen 660 und 560 ka BP stattfand (Bonadonna *et al.*, 1993; Brocchini *et al.*, 1994), wurde durch die Förderung von phonolithischen bis foiditischen Pyroklastika (*Tufi chiari*, *Tufi scuri*) und entsprechenden Laven der zentrale Vulkankegel aufgebaut. Danach kam es zu vulkano-tektonischen Zusammenstürzen, durch die u.a. die „Caldera di Monticchio“ gebildet wurde. Die vulkanischen Tätigkeiten des Monte Vulture endeten, Datierungen von Laurenzi *et al.* (1993) und Brocchini *et al.* (1994) zufolge, vor mindestens 130 ka mit den phreatomagmatischen Eruptionen der beiden Krater von Monticchio in der gleichnamigen Caldera am Westhang des Monte Vulture (Abb.2.6). Die heute wassergefüllten Krater sind trichterartige Aussprengungen im vulkanitischen Prä-Eruptionsgrund und können daher auch als Maare bezeichnet werden. Seit der Bildung der beiden Maarseen Lago Grande und Lago Piccolo di Monticchio sind die vulkanischen Aktivitäten des Monte Vulture bis auf vulkano-tektonische Beben (z.B. 1980, Stärke 6,8) und CO<sub>2</sub>-Entgasungen innerhalb und außerhalb der Seen (Chiodini *et al.*, 1997) eingestellt.

Der Lago Grande di Monticchio nimmt eine Seeoberfläche von ca. 405.000 m<sup>2</sup> ein (siehe Abb.3.1). Seine mittlere Wassertiefe beläuft sich auf ca. 8,7 m, seine maximale dagegen auf etwa 36 m. Das Auftreten und die Morphologie von Uferterrassen lassen vermuten, daß Lago Grande und Lago Piccolo di Monticchio in der Vergangenheit einen gemeinsamen Seespiegel besaßen, der etwa 5m über dem rezenten gelegen haben muß (Zolitschka, 1996). Die beiden Maarseen sind heute von immergrünem Buschwald und Zwerggestrüpp umgeben, welches sich durch intensive Rodungen im 19. Jh. aus dichtem Eichenwald entwickelt hat. Aufgrund der fehlenden Zu- und Abflüsse der Seen ist der klastische Materialeintrag eingeschränkt. Einträge von pyroklastischem Feinmaterial aus der direkten Umgebung („Tufi scuri“: dunkle Hauyn- und Leuzit-führende Phonotephrite,

tephritische Basanite und Tephroidite) sind hauptsächlich äolisch oder durch oberirdischen Abfluß (z.B. Muren) gegeben.



**Legende**

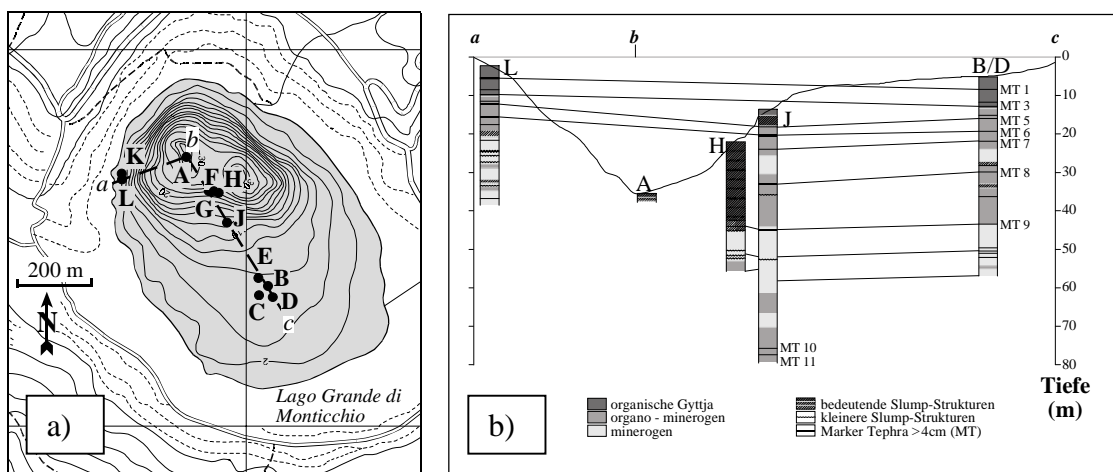
- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Kalkig-mergelig-sandige Sedimentgesteine des Lukanischen Flysches (Oligozän bis Torton)            |  | Leucit-Melilith-Hauynit von Melfi, hauynreiche phonotephritische Lavaströme                                    |
|  | Polygene marine Konglomerate, Sandsteine, blaue Tone (Pliozän bis Pleistozän)                      |  | Lakustrine und fluvio-lakustrine Sedimente des pleistozänen Sees von Melfi                                     |
|  | Trachytisch-phonolithische Ignimbrite  |  | Brecciöse Pyroklastite exzentrisch gelegener Adventiv-Vulkane (Toppo S. Agata, Sette Ponti, Piano della Spina) |
|  | Analcim-Hauyn-Phonotephrite (Toppo S. Paolo)   |  | Schloträumungsbreccien und blockreiche Pyroklastite der letzten Krater-Aktivitäten (u.a. Monticchio)           |
|  | Tephriphonolithische bis tephroiditische helle Pyroklastite ("Tufi chiari")                        |  | Hangschutt und Bergsturzmaterial   |
|  | Phonotephritische, tephritisch-basanitische bis tephroiditische dunkle Pyroklastite ("Tufi scuri") |  | Alluvionen   |
|  | gleichartige Laven   |  | Caldera- und Krateränder   |
|  |  |  | Vermutete Bruchlinien  |

**Abb. 2.6:** Geologische Karte des Monte Vulture Vulkangebietes und Lokation der Laghi di Monticchio; verändert nach Hieke Merlin (1967), La Volpe & Piccarreta (1967) und Pichler (1989).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Bohrung und Probennahme

Bei der ersten Bohrkampagne im Lago Grande di Monticchio-Maarsee im September 1990 wurden die fünf Sedimentkerne LGM-A bis LGM-E entnommen. In der zweiten Bohrkampagne im September 1994 konnten sechs weitere Kernprofile (LGM-F bis LGM-L) gewonnen werden (Abb.3.1, Tab.3.1). Die Bohrungen wurden von einem Floß aus mit einem von H. Usinger (Kiel) modifizierten Livingstone-Kolbenstechlot durchgeführt. Die Sedimentkerne wurden in Abschnitten von 2 m Länge mit einem Durchmesser von 8 cm genommen. Der untere Abschnitt des Kerns LGM-J besitzt einen Durchmesser von 5,5 cm.



**Abb. 3.1** : a) Bathymetrische Karte des Lago Grande di Monticchio sowie b) Lokation und Tiefe der Sedimentprofile LGM-A, -B/D (1990), -H, -L und -J (1994).

Die Kerne LGM-B, -D und -E der ersten Bohrkampagne wurden intensiv für die Herstellung von Großdünnschliffen und geochemisch-sedimentologischen Untersuchungen beprobt. Der Kern LGM-C wurde von Kollegen der University of Edingburgh bearbeitet. Die Kerne der zweiten Bohrkampagne wurden detailliert im unteren Teil beprobt und lagern am GFZ Potsdam. Von den Kernen LGM-L und LGM-J wurde Probenmaterial zur Großdünnschliffherstellung sowie für die Bestimmung von Trocken-dichte, Gesamtchemie, Paläomagnetik und radiometrischer Datierung entnommen. Die zweite LGM-J-Kernhälfte wurde palynologisch an der University of Durham untersucht. Probenmaterial des nahezu gesamten LGM-J-Profiles ist dort noch verfügbar.

**Tab. 3.1:** Wassertiefen und Kerngewinn der im Sommer 1990 und 1994 erbohrten Sedimentsequenzen aus dem Lago Grande di Monticchio.

Bohrung 1990	Wassertiefe	Kernlänge	Bohrung 1994	Wassertiefe	Kernlänge
LGM-A	36,4 m	9,50 m	LGM-F	21,7 m	20,06 m
LGM-B	5,0 m	39,99 m	LGM-G	21,7 m	3,12 m
LGM-C	5,0 m	13,48 m	LGM-H	21,7 m	33,58 m
LGM-D	5,0 m	51,02 m	LGM-J	13,5 m	65,44 m
LGM-E	5,8 m	1,99 m	LGM-K	2,1 m	6,98 m
			LGM-L	2,3 m	35,54 m

Die tephrochronologischen Untersuchungen wurden überwiegend an In-situ-Großdünnschliffen der Sedimentkerne LGM-B, -D und -E (< 75.611 Jahre BP) sowie LGM-J (> 75.611 Jahre BP) durchgeführt. Für die Herstellung dieser Großdünnschliffe wurden etwa 10 cm lange, 2 cm breite und 10 mm dicke Sedimentklötzchen mit jeweils 2cm Überlappung aus den Sedimentkernen herausgeschnitten. Die Klötzchen wurden mit flüssigem Stickstoff schockgefroren und 48 Stunden gefriergetrocknet. Anschließend wurden die Proben schichtweise in Epoxi-Harz (Araldit XW 396-397) eingegossen, ausgehärtet und zu 10 cm langen Dünnschliffen mit einer Dicke von etwa 30 µm verarbeitet. Auf diese Weise blieb die ursprüngliche Sedimentstruktur weitgehend erhalten. Die Beprobung von Tephrenmaterial war nur für die rasterelektronenmikroskopische Bearbeitung notwendig und erfolgte im Sommer 1997 und 1998.

Die mächtigsten Tephralagen des Kompositprofils LGM-B/D/E/J wurden im Vorfeld der Untersuchung mit den Bezeichnungen MT-1 bis MT-11 (MT = Markertephra) durchnummeriert. Geringmächtigere Tephren wurden als „Pyroklastische Lagen“ PL-1 bis PL-75 untergliedert (Zolitschka & Negendank, 1993; Zolitschka, 1996; J. Mingram, unveröffentlichte Daten). Die von Narcisi (1996) aus Kern LGM-D beprobten und korrelierten Lagen erhielten wiederum andere Namen (L-1 bis L-14). Einen Überblick über diese Tephrenbezeichnungen gibt Anhang A. Um der Vielfalt von Abkürzungen zu entgehen, werden in der vorliegenden Arbeit alle Tephralagen mit ihren LGM-Altern angegeben, die wiederum den Warven- und Sedimentationsraten-Altern in Jahren BP (vor 1950) entsprechen.

Für vergleichende Untersuchungen wurden im September 1997 repräsentative Vulkanite des Monte Vulture und Pyroklastika aus dem nahen Uferbereich des Lago Grande di Monticchio beprobt. Im Juli 1998 erfolgte im Rahmen einer Feldexkursion innerhalb der Konferenz „Cities on Volcanoes“ (Rom / Neapel) die Beprobung von fünf proximalen Tephraablagerungen des Vesuvus und der Phlegräischen Felder. Dabei handelte es sich um Bimsmaterial der Vesuv-Ablagerungen „Avellino“, „Mercato“ (Aufschluß Traianello, N' Hang Vesuv) und „Pompeji“ (Aufschluß an Villa Oplontis, Torre Annunziata) sowie der Agnano Monte Spina Tuffe und der Gelben Neapolitanischen Tuffe der Phlegräischen Felder (Aufschluß Verdolino in der Soccavo-Ebene). Tephramaterial der jüngsten Produkte der Albaner Berge wurde im September 1999 freundlicherweise von Prof. G. Cavarretta (CNR Rom) zur Verfügung gestellt.

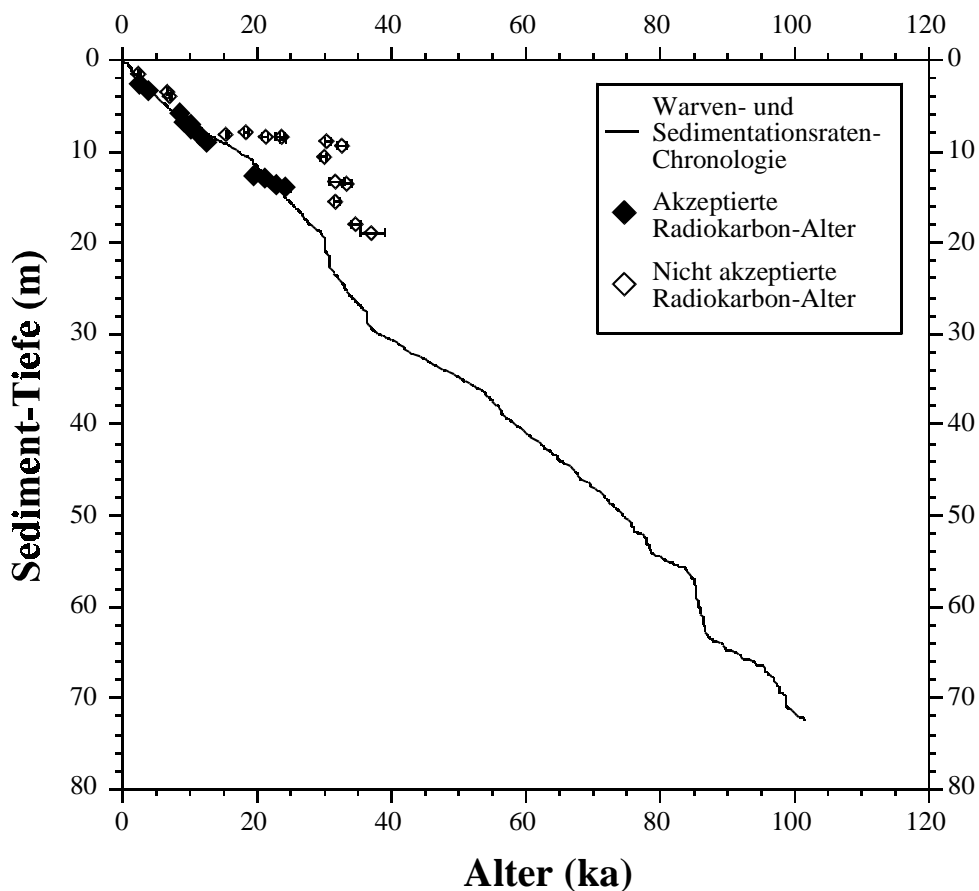
## 3.2 Chronologie

Die Chronologie der Sedimente aus dem Lago Grande di Monticchio beruht ausschließlich auf unabhängigen Datierungsmethoden, wie der Auszählung von laminierten Abschnitten (Warven), der Interpolation von Sedimentationsraten sowie radiometrischen und radioisotopischen Altersbestimmungen an den Sedimenten bzw. Tephren.

### 3.2.1 Warven- und Sedimentationsratenchronologie

Die in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio erhaltenen klastischen und organischen Warven sind mit einem zeitlichen Gesamtanteil von etwa 10 % vertreten. Die

Auszählung dieser Jahreslagen wurde an Großdünnschliffen vorgenommen. Damit konnten im 51m umfassenden Kompositprofil LGM-B/D/E insgesamt 6954 Warven aus unterschiedlichen Sedimentabschnitten erfaßt und vermessen werden (Zolitschka & Negendank, 1993, 1996; Zolitschka, 1996). Da die Jahreslagen jedoch häufig von bioturbaten Ablagerungen unterbrochen werden, mußte eine Extrapolation der Alter mit Hilfe von Sedimentationsraten in diesen unlaminierten Abschnitten vorgenommen werden. Dazu wurden anhand von gemittelten Warvendicken ( $n=5-300$ ) in den angrenzenden laminierten Abschnitten insgesamt 354 Sedimentationsraten errechnet, die im Schnitt bei Werten zwischen 0,36 und 0,73mm/Jahr liegen (Zolitschka, 1996). Mit den vermessenen und interpolierten Sedimentationsraten erfolgte die Erstellung einer Alters-/Tiefenfunktion (Abb.3.2), die es erlaubte, das gesamte Sedimentprofil zu datieren. Somit konnte das Basisalter des Kompositprofils LGM-B/D/E auf 76.344 Jahre BP (vor 1950) bestimmt werden. Eine Verlängerung dieses Profils konnte durch die Einhängung von weiteren 22m des insgesamt 65m langen Kernes LGM-J an die Tephralage PL-60 (LGM-Alter: 75.611 Jahre BP) erzielt werden. Unter gleicher Anwendung der Warvenauszählung und Sedimentationsratenabschätzung wurde damit das absolute Basisalter des Gesamt-Kompositprofils LGM-B/D/E/J auf 101.670 Jahre BP bestimmt (Brandt *et al.*, 1999; Brauer *et al.*, im Druck).



**Abb. 3.2:** Alters-/Tiefenfunktion der Monticchio-Sedimente: Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Kompositprofils LGM-B/D/E/J im Vergleich zu akzeptierten und nicht akzeptierten unkalibrierten Radiokarbon-Altern mit Fehlerbereichen.

Generell ist zu berücksichtigen, daß die auf das Kalenderjahr angegebenen Monticchio-Alter stark von Warven-Zählfehlern, die sowohl zu hoch als auch zu niedrig ausfallen können, abhängig sind. Zu geringe Alter können außerdem aus Sedimentverlusten resultieren, die bei der Bohrung zwischen den jeweiligen 2m-Kernen auftreten. Eine direkte Angabe von Fehlergrenzen bezüglich der Warven- und Sedimentationsratenchronologie ist daher nicht möglich. Zolitschka (1996) und Brauer *et al.* (im Druck) schlagen jedoch als Fehleruntergrenze Werte zwischen 5-10 % vor.

### 3.2.2 Radiokarbon-Datierungen

Sowohl konventionelle  $^{14}\text{C}$ - als auch AMS-Radiokarbon-Datierungen wurden an insgesamt 34 Proben aus drei verschiedenen Sedimentprofilen (LGM-B/-C/-D) des Lago Grande di Monticchio durchgeführt (Watts, 1985; Robinson *et al.*, 1993; Watts *et al.*, 1996a; Hajdas *et al.*, 1998). Aufgrund von Kontaminationen und/oder Umlagerungen des datierten Materials konnten jedoch etwa nur 40 % der  $^{14}\text{C}$ -Daten akzeptiert werden (Tab.3.2).

**Tab. 3.2:** Radiokarbon-Alter der Monticchio-Sedimente im Vergleich mit Altern der Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Kompositprofils LGM-B/D/E/J (LGM-Alter); Referenzen: (1) Watts *et al.* (1996a); (2) Robinson *et al.* (1993); (3) Watts (1985); (4) Hajdas *et al.* (1998); n.a. = Datierung nicht akzeptabel; siehe Zolitschka (1996).

Tiefe (cm)	LGM- Alter (a BP)	$^{14}\text{C}$ -Alter (uncal. a BP)	Fehler ( $\sigma$ )	Methode	n.a.	Bemerkung	Referenzen
150	1890	2460	60	AMS	x	Nymphaea Samen (aquatisch)	(1)
260	3260	2810	70	AMS		Abies Samen	(1)
335	4220	3920	50	AMS		Abies Samen	(1)
340	4270	6600	60	AMS	x	Nymphaea Samen (aquatisch)	(1)
400	5030	7130	120	konv.	x	Gesamtsediment	(2)
600	8610	8590	50	AMS		Holzfragmente	(1)
694.5	10,300	9230	120	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
699.5	10,440	9355	85	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
725	11,000	10,460	60	AMS		Holzfragmente	(1)
752.5	11,640	10,250	130	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
785	12,180	18,290	280	konv.	x	Gesamtsediment	(3)
796.5	12,260	10,550	150	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
810	12,560	15,380	150	konv.	x	Gesamtsediment	(2)
830	13,130	23,670	230	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
839.5	13,440	23,000	190	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste	(4)
839.5	13,440	11,720	120	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
850	13,790	21,200	500	konv.	x	Gesamtsediment	(3)
865	14,120	23,840	360	konv.	x	Gesamtsediment	(3)
880	14,500	30,460	510	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
900	15,000	12,540	130	AMS		Betula Samen	(1)
930	15,820	32,630	630	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
1055	18,500	29,900	410	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
1085	19,090	>33.340		konv.	x	Gesamtsediment (umgel.)	(3)
1290	22,030	19,580	730	konv.		Gesamtsediment	(2)
1315	22,380	21,290	560	konv.		Gesamtsediment	(3)
1335	22,610	31,800	1200	konv.	x	Gesamtsediment (umgel.)	(3)
1365	23,020	33,350	620	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
1382.5	23,280	23,140	360	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
1406.5	23,540	24,400	460	AMS		Terrestrische Pflanzenreste	(4)
1550	24,850	31,830	550	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
1790	27,780	34,755	725	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste (umgel.)	(2)
1885	29,360	36,900	2100/1700	konv.	x	Gesamtsediment (umgel.)	(3)
2305	31,070	25,200	250	AMS	x	Terrestrische Pflanzenreste	(2)
3350	46,590	>39.000		konv.	x	Gesamtsediment (umgel.)	(3)

Zolitschka (1996) begründet die zu hohen Alter der am Gesamtsediment und an aquatischen Pflanzenresten durchgeführten  $^{14}\text{C}$ -Datierungen mit der Kontamination durch vulkanisches juveniles  $\text{CO}_2$ , das sowohl sublakustrin als auch aus dem Randbereich der Monticchio-Caldera austritt. Mit der AMS-Technik durchgeführte Datierungen an terrestrischen Pflanzenresten schließen diese Art der Kontamination weitgehend aus. Hier ist wiederum eine Differenzierung zwischen terrestrischen Pflanzenresten, die kurz nach dem Absterben im See abgelagert worden sind, und denen, die erst nach einer längeren Verweilzeit an Land in den See umgelagert worden sind, schwer möglich. Radiokarbon-Alter, die weder Anzeichen von Kontamination noch von Umlagerung aufweisen (Zolitschka & Negendank, 1993), decken einen Zeitbereich von ca. 3 ka bis 25 ka BP (uncal.) ab und stimmen im gesamten gut mit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie überein (Abb.3.2).

### 3.2.3 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen

Einige Tephren aus dem Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio wurden direkt mit der Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Technik an der University of Toronto (R. Walter) datiert. Aufgrund der erforderlichen Menge an Kalifeldspäten und deren notwendige Grobkörnigkeit ( $> 200\mu\text{m}$ ) konnten für diese Datierungen bislang nur drei Tephralagen berücksichtigt werden (Tab.3.3). Dazu gehören die Markerlagen MT-7 (Y-3), MT-8 (CI) und MT-9 (TVEss). Das jüngste Alter der Tephra MT-7 liegt mit  $31 \pm 8$  ka BP nahe an der unteren Grenze dieser Datierungsmethode und sollte daher mit Vorsicht behandelt werden (Watts, 1994, mündl. Mitteilung in Zolitschka & Negendank, 1996). Der hohe Fehlerbereich wird hier als eine Kontamination der Sanidin-Population durch einzelne ältere Körner gedeutet, so daß das ermittelte Alter von  $31.000 \pm 8000$  Jahren BP als Maximalalter angesehen werden muß. Der Campanische Ignimbrit (MT-8) wurde in zwei Meßserien auf Isochronen-Alter von  $37 \pm 3$  ka BP und  $36 \pm 1$  ka BP datiert, welche in sehr guter Übereinstimmung mit dem von Deino *et al.* (1992, 1994) ermittelten Datum der proximalen Fazies ( $37.1 \pm 0.4$  ka BP) stehen. Bezüglich der Kontamination durch ältere Populationen war die Datierung des Tufo Verde Epomeo *sensu strictu* (MT-9) weitaus problematischer (R. Walter, mündl. Mitteilung 1998). In zwei Meßreihen konnte das Alter der primären Komponente mit  $55 \pm 2$  ka bzw.  $58 \pm 5$  ka BP bestimmt werden. Weitere Alter von etwa 77 ka, 100 ka, 195 ka und 240 ka zeigen detritische Fraktionen an, die auf ältere vulkanitische Einheiten von Ischia zurückzuführen sind.

**Tab. 3.3:** Zusammenstellung der Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter und LGM-Alter (Warven- und Sedimentationsratenchronologie) markanter Tephralagen aus dem Sedimentprofil LGM-B/D des Lago Grande di Monticchio; Daten aus Watts *et al.* (1996a), \* R. Walter, mündl. Mitteilung (1998).

Tiefe (cm) LGM-B/D	Tephra	Bezeichnung	LGM-Alter (Jahre BP)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter (Jahre BP)	n
1431-1458	MT-7	Y-3 (Breccia Museo ?)	23.930	$31.000 \pm 8000$	9
2461-2475	MT-8	Campanischer Ignimbrit	32.970	$37.000 \pm 3000$	8
				$36.000 \pm 1000$ *	9
3814-3850	MT-9	TVEss (Epomeo Tuff)	56.252	$55.000 \pm 2000$	8
				$58.000 \pm 5000$ *	6



#### 3.3 Tephrochronologische Methoden

Vorab-Korrelationen von Tephralagen können durchgeführt werden basierend auf Farbe, Mineralanteilen und stratigraphischer Position der Tephra innerhalb der Sequenz. Diese Kennzeichen können jedoch je nach Distanz zur Eruptionsquelle stark variieren. Während des Transports der Tephra in der Eruptionswolke findet eine äolische Fraktionierung der Komponenten statt, die auf unterschiedliche Fallgeschwindigkeiten zurückzuführen ist. Die Anteile der Komponenten mit geringerer Dichte, wie z.B. vulkanische Gläser oder Leichtminerale (Feldspäte, Quarz, Feldspatvertreter) nehmen daher mit der Entfernung zur Eruptionsquelle zu, während große Anteile von Lithoklasten und Schwermineralen mit hohen Dichten eher auf proximale Liefergebiete hindeuten (Walker *et al.*, 1971; Wilson & Huang, 1979; Bursik, 1998). Anhand einer Modalanalyse der Komponenten kann daher lediglich die relative Entfernung zur Eruptionsquelle abgeschätzt werden, nicht jedoch die ursprüngliche Zusammensetzung der Tephra. Mit dem Sortierungsgrad der Tephra verändert sich auch die chemische Gesamtzusammensetzung der Tephra, da diese mit zunehmender Transportweite SiO<sub>2</sub>-reicher wird (Carey & Sigurdsson, 1982; Fisher & Schmincke, 1984). Eine hilfreiche Methode für die Tephrenkorrelation ist daher die Betrachtung von Einzelkomponenten, wie z.B. die Untersuchung von vulkanischen Gläsern oder Phänokristallen, die in allen Fallout-Ablagerungen vertreten sind. Vulkanische Gläser sind deshalb von so großer Bedeutung, weil sie rasch abgekühltes Magma repräsentieren, dessen Chemismus wiederum den Zeitpunkt der vulkanischen Explosion widerspiegelt. In früheren Arbeiten wurde dieser Chemismus über die Bestimmung der Brechungsindizes der Gläser abgeschätzt (Mathews, 1951; Huber & Rinehart, 1966). Heute erweist sich die Hauptelementanalyse an einzelnen Glas- oder Bimsbruchstücken mit der Mikrosonde als äußerst zuverlässige Methode (Smith & Westgate, 1969). Vorteil dieser Methode ist neben der Präzision der Meßergebnisse die Erkennung von Glaspopulationen mit unterschiedlicher Zusammensetzung, die durch Veränderung der Magmenzusammensetzung innerhalb einer einzigen Eruption entstehen können. Solche Diversitäten des Glas-Chemismus tragen ebenfalls zur Korrelation von Tephren bei. Tephren, die sich nicht anhand der Zusammensetzung des Hauptelementchemismus auseinanderhalten lassen, können mit präziseren, aber auch aufwendigeren Techniken, z.B. der Messung von Spurenelementen an Glaskonzentraten (Laser-ICP-MS, Ionensonde) oder Isotopenverhältnissen, korreliert werden. Für die Nutzung als chronostratigraphische Leithorizonte lassen sich Tephren neben der zeitlichen Einordnung mittels der mineralogisch-geochemischen Korrelation mit einer Reihe von Techniken auch direkt datieren (siehe Kapitel 1.3.3).

Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit wurden nun folgende tephrochronologische Methoden berücksichtigt:

- ◆ Stratigraphische Stellung innerhalb der Sedimentabfolge
- ◆ Mikroskopie des Mineralbestandes
- ◆ Geochemische Analyse der vulkanischen Gläser (Hauptelemente)
- ◆ Korngrößenanalyse der Gesamttephra
- ◆ Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der vulkanischen Gläser

Die Korrelation der Tephren aus dem Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio erfolgte an sich anhand des Vergleichs von geochemischen und mineralogischen Analysendaten mit entsprechenden Literaturdaten proximaler und distaler Tephren-Äquivalente.

### **3.3.1 Mikroskopische Untersuchungen**

Die mikroskopischen Untersuchungen der Tephren wurden anhand von Großdünnschliffen der Kerne LGM-B, -D, -E und -J mit einem Durchlichtmikroskop der Firma Zeiss / Jena durchgeführt. Vorteil dieser Methode ist die Erkennung von Sedimentstrukturen und Korngrößenverteilungen der Tephren, die bei der Analyse von Körnerpräparaten nicht gegeben ist. Ziel dieser Untersuchungen war zunächst die Erkennung und Abgrenzung der Fallout-Tephralagen von umgelagertem vulkaniklastischem Kratermaterial. Die Studien an den In-situ-Dünnschliffen ließen es außerdem zu, daß auch Einkornlagen erfaßt und besonders mächtige Tephralagen hochauflösend betrachtet werden konnten. Zur Charakterisierung der Tephren wurden die Glas-, Mineral- und Lithoklastenbestände petrographisch beschrieben sowie Sedimentstrukturen und maximale Korngrößen bestimmt. Neben der Bearbeitung des Kompositprofils LGM-B/D/E/J wurden zusätzlich Tephren aus dem oberen Abschnitt der LGM-L- und LGM-J-Profile untersucht. Diese Studien stellten die Basis für die Kernkorrelationen dar, die für die Auswertung der sedimentologisch-chemischen und paläomagnetischen Daten notwendig sind.

### **3.3.2 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (REM)**

Für die nähere Betrachtung der vulkanischen Gläser (Form, Rundungsgrad, Porosität, Blasenform) wurden rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen (Anhang, Tafel B) von insgesamt 33 mächtigen oder signifikanten Tephralagen angefertigt. Dazu wurden geringe Mengen Tephrenmaterial (< 1g) beprobt und deren Gläser separiert. Das Material wurde mit 30%-igem Wasserstoffperoxid versetzt, um die eventuell vorhandene organische Substanz aus dem umliegenden tonigen Sediment zu entfernen, anschließend mehrfach vorsichtig mit Wasser und Ethanol geschlänmt und über Nacht getrocknet. Besonders verdreckte Tephren wurden nochmals mit dem Ultraschallbad behandelt und mit Ethanol gewaschen. Auf die Separation der Gläser mittels Dichteflüssigkeiten und magnetischer Abtrennung wurde verzichtet. Stattdessen wurden die Proben mit einem 100µm-Stoffsieb in zwei Korngrößenfraktionen unterteilt, und aus der gröberen Fraktion pro Probe etwa 5-10 unalterierte und repräsentative Gläser per Hand ausgelesen. Diese Gläser wurden auf doppelseitigem Klebeband auf den REM-Probenteller aufgebracht und anschließend mit Kohlenstoff und Gold/Palladium bedampft. Für die Betrachtung mit dem REM (Gerät: DSM 962 von Zeiss) wurde eine Anregungsspannung von 15kV bzw. 10kV und ein Arbeitsabstand von 15mm gewählt.

### **3.3.3 Korngrößenanalysen**

Korngrößenanalysen von unkonsolidierten, pyroklastischen Ablagerungen liefern in Verbindung mit Isopachenkarten Informationen über Eruptionsmechanismen, Lokation

des Ausbruchszentrums, Höhe und Energie der Eruption, Auswurfswinkel, Windbedingungen usw. (Carey & Sparks, 1986; Cas & Wright, 1987; Fisher, 1964; Fisher & Schmincke, 1984; Walker, 1971). Die am häufigsten benutzten Parameter sind maximale Korngröße, mittlerer Korndurchmesser (Median) und Sortierungsgrad der Komponenten. Für die Tephrenkorrelation im Monticchio-Profil spielen diese Parameter aufgrund der Abhängigkeit von Eruptions- und Windbedingungen eine eher untergeordnete Rolle, sie können aber einen ersten Hinweis auf die relative Entfernung zum Ausbruchszentrum geben.

Aufgrund der zum Teil sehr geringen Lagenmächtigkeiten der Tephren aus dem Monticchio-Profil wurden die Korngrößenspektren nicht mittels Siebanalyse, sondern direkt an den Großdünnschliffen bestimmt. Maximale und mittlere Korngröße (Median) wurden zum einen unter dem Mikroskop vermessen und zum anderen mit der Methode der Bildanalyse überprüft. Dazu wurde jeweils ein repräsentativer Teil der Tephralagen fotografiert und die jeweiligen Komponenten (Gläser, Kristalle, Lithoklasten) auf Transparentpapier übertragen. Die Graphiken wurden in einen PC eingescannt und mit dem Bildverarbeitungsprogramm DIAna ausgewertet. Die gewonnenen Flächendaten der einzelnen Körner wurden in Korndurchmesser (Angabe in mm) umgerechnet, wobei die Komponenten als kugelförmige Körper betrachtet werden mußten. Aus diesen Korndurchmessern wurden die scheinbaren durchschnittlichen ( $d_{\text{median}}$  [mm]) und maximalen Korngrößen ( $d_{\text{max}}$  [mm]) ermittelt. Zur Umrechnung der 2D-Dünnschliffwerte auf 3D-Siebwerte wurden Korrekturrechnungen nach der von Harrell & Eriksson (1979) empirisch ermittelten Formel durchgeführt:

$$d_{\text{max kor.}} = 0,121 + 1,030 * d_{\text{max}} \quad \text{bzw.} \quad d_{\text{median kor.}} = 0,121 + 1,030 * d_{\text{median}}$$

Diese Daten wurden zusätzlich in die logarithmischen Formen  $d\phi = -\log_2 d$  (nach Inman, 1952) transponiert. Generell bietet die Methode der Bildanalyse für die Ermittlung des Korngrößenspektrums den Vorteil, wichtige Informationen über maximale Korngrößen zu liefern, die nicht mit der Siebmethode erfaßt werden können. Das mit der Tephra häufig vermischte biogene Material bleibt bei dieser Methode unberücksichtigt; ein weiterer Vorteil ist die Unterscheidung der Korngrößenspektren der einzelnen Tephra-Komponenten (Gläser, Kristalle, Lithoklasten).

#### 3.3.4 Geochemische Analysen

Zur Spezifizierung der Petrologie der Tephren wurden die vulkanischen Gläser auf ihre geochemische Zusammensetzung der Hauptelemente hin mit der Mikrosonde (Camera SX 100) untersucht. Die Gläser wurden nicht, wie normal üblich, separiert, sondern direkt an den In-Situ-Dünnschliffen analysiert. Dazu wurde aus den Sedimentklötzchen, die zur Großdünnschliffherstellung angefertigt wurden, Tephra-führende Segmente in der für Mikrosondenschliffe üblichen Größe herausgeschnitten und zu Dünnschliffen weiterverarbeitet. Die glatte Oberfläche der Schliffe wurde durch eine Blei-Antimon-Politur mit Diamantpulver als Poliermittel (6µm, 3µm, 1µm) erzielt. Anschließend erfolgte eine Bedampfung der Schliffe mit Kohlenstoff. Die Eichung der Hauptelemente (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Cl, F) erfolgte an herkömmlichen Standards. Zur Überprüfung der Kalibrierung wurde ein chemisch homogener Lipari-Obsidian (ca. 8000

Jahre BP) gewählt, der als internationaler Tephren-Vergleichsstandard eingeführt wurde (Hunt *et al.*, 1998; Hunt & Hill, 1996). Für die Mikrosondenmessung (WDS) wurde eine Anregungsspannung von 15 kV, ein Probenstrom von 20 nA und zur Minimierung der „Alkalienverluste“ während der Messung (Hunt & Hill, 1993; Lineweaver, 1963; Nielsen & Sigurdsson, 1981) ein Probenstrom-Durchmesser von 15 oder 20 µm verwendet. Pro Tephralage wurden mindestens 10 möglichst unalterierte Gläser analysiert, die zuvor unter dem Mikroskop gekennzeichnet und vor der eigentlichen Mikrosondenmessung anhand der hohen Kalium und Natrium-Gehalte auf ihre „Echtheit“ geprüft wurden. Ließen sich vulkanische Gläser mit dieser Methode z.B. nicht von Hornblenden unterscheiden, wurde im Anschluß an die Messung erneut der Natrium-Gehalt geprüft, der dann bei Gläsern drastisch reduziert sein sollte (J. Hunt, mündl. Mitteilung, 1998).

**Tab. 3.4:** Mikrosonden-Meßzeiten und Nachweisgrenzen der Hauptelemente sowie deren Verteilung auf die vier einzelnen Spektrometer.

PC1			LIF			PET			TAP		
<b>F</b>	20 s	500 ppm	<b>Fe</b>	20 s	1000 ppm	<b>K</b>	30 s	500 ppm	<b>Si</b>	20 s	500 ppm
						<b>P</b>	30 s	500 ppm	<b>Al</b>	20 s	500 ppm
						<b>Cl</b>	20 s	500 ppm	<b>Mg</b>	20 s	500 ppm
						<b>Ca</b>	20 s	500 ppm			
						<b>Ti</b>	20 s	500 ppm			
						<b>Mn</b>	20 s	500 ppm			

Die Mittelwerte der repräsentativen Analysenwerte wurden errechnet, entsprechend der F- und Cl-Gehalte korrigiert und auf 100 Summenprozent (wasserfrei) normiert. Rohanalysendaten, deren Summen 95,00 Gew.% unterschritten, wurden in den Durchschnittsberechnungen nicht mitberücksichtigt. Die Berechnung der Standardabweichungen  $\sigma$  der unnormierten Rohdaten erfolgte über die Formel:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} \quad n = \text{Anzahl der Meßwerte; } x = \text{Meßwert}$$

Um die Korrelation der chemischen Daten mit Literaturdaten zu quantifizieren, wurde der Ähnlichkeitskoeffizient  $d_{(A,B)}$  nach der Formel von Borchardt *et al.* (1972) verwendet:

$$d_{(A,B)} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

$i$  = Nummer des Elementes  
 $n$  = Anzahl der Elemente  
 $R_i = X_{iA} / X_{iB}$  (für  $X_{iB} > X_{iA}$ ) oder  $X_{iB} / X_{iA}$  (für  $X_{iA} > X_{iB}$ )  
 $X_{iA}$  = Konzentration des Elementes  $i$  in der Probe A  
 $X_{iB}$  = Konzentration des Elementes  $i$  in der Probe B

Für die Berechnung des Ähnlichkeitskoeffizienten  $d_{(A,B)}$  wurden die Gehalte der Oxide SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O berücksichtigt. Die Gehalte von MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cl und F liegen meist dicht an der Nachweisgrenze und sind aufgrund ihrer großen Schwankungsbreite nicht als Korrelationsmerkmale geeignet. Die geochemische Übereinstimmung bzw. die Korrelation zweier Tephren ist umso besser, je näher der Ähnlichkeitkoeffizient an dem Wert 1 liegt.

## 4 Ergebnisse der tephrochronologischen Untersuchungen

### 4.1 Lichtmikroskopische Untersuchungen

Anhand der lichtmikroskopischen Untersuchungen konnten zunächst die Unterschiede zwischen den sublakustrinen Tephra-Fallablagerungen (Fallout-Tephren, n = 344) und der im Einzugsgebiet anstehenden und nachträglich in den See umgelagerten Pyroklastika (vulkaniklastisches Kraterrandmaterial) herausgearbeitet werden. Diese Differenzierung erfolgte in erster Linie an der qualitativen und abschätzenden quantitativen Zusammensetzung der pyroklastischen Lagen, auf die im folgenden kurz eingegangen wird.

#### 4.1.1 Zusammensetzung der sublakustrinen Fallout-Tephren

Sublakustrine Tephra-Fallablagerungen (Fallout-Tephren) unterscheiden sich oft schon makroskopisch anhand ihrer hellen Färbung von den umgelagerten, dunklen vulkaniklastischen Lagen. Viele Fallout-Tephren zeigen zudem große Lagenmächtigkeiten, die bis zu 33,2cm erreichen. Tephralagen mit Mächtigkeiten von <1mm oder Einkornlagen sind in der Regel nur unter dem Mikroskop sichtbar. Bei diesen Lagen handelt es sich nicht selten um umgelagertes Fallout-Material, das nachträglich aus dem Uferbereich in den See verfrachtet wurde. Generell sind die Fallout-Tephren als Glas- bzw. Bimsaschen mit unterschiedlichen Phänokristall- und Lithoklastenanteilen anzusprechen (Abb.4.1); Kristallaschen mit Glasanteilen oder reine lithische Aschen treten nur untergeordnet auf. Die Färbung der Tephren, die von weiß-grau bis braunschwarz reicht, hängt ausschließlich von der Zusammensetzung der Tephra-Komponenten (Gläser, Kristalle, Lithoklasten) ab. Glasaschen mit geringen Phänokristallbeständen erscheinen generell heller als vergleichsweise kristall- und lithoklastenreiche Tephren. In wenigen Ausnahmefällen ist die ursprüngliche Färbung der Tephren durch sekundäre Alteration, wie z.B. durch die Oxidierung des Eisens in extrem SiO<sub>2</sub>-armen Gläsern, verändert worden (Tephren LGM-25.926 und LGM-25.985).

**Abb. 4.1:** Mikroskopische Aufnahme einer sublakustrinen Fallout-Tephra aus dem Monticchio-Profil (LGM-33.040).

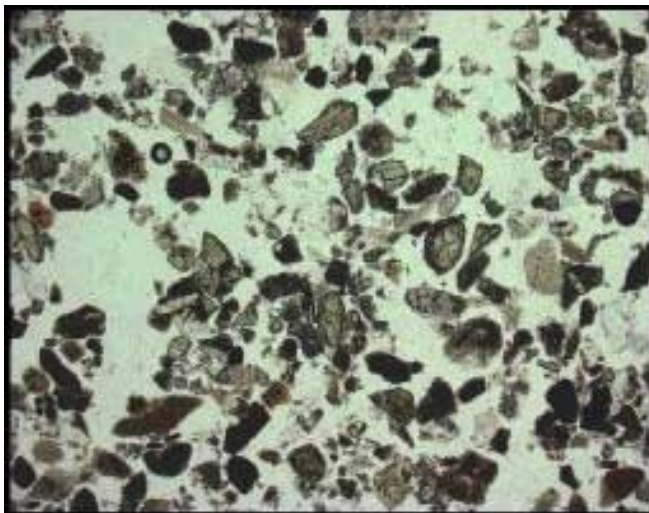


Den Hauptanteil der meisten Fallout-Lagen bilden vulkanische Gläser und Bimse (Abb.4.1, Anhang Tafel A und B). Diese liegen überwiegend im frischen, ungerundeten Zustand vor; lediglich im älteren Profilabschnitt (> 90.000 Jahre BP) weisen sie in einigen wenigen Lagen Hydratationserscheinungen auf (z.B. Tephra LGM-89.146). Idiomorph

ausgebildete Phänokristalle sind in beinahe allen Tephralagen in unterschiedlichen Anteilen vorhanden. Zum Mineralbestand gehören übergeordnet Kalifeldspat (Sanidin), Plagioklas, Klinopyroxen (Augit, Diopsid), Biotit, untergeordnet Nephelin, Leuzit, Hornblende und Apatit. Minerale wie Sodalith, Scapolith und Melanit bilden die Ausnahme. Initiale gesteinsmagnetische Untersuchungen an einigen markanten Tephren (U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000) sowie begleitende auflichtmikroskopische Untersuchungen beweisen außerdem die Anwesenheit von Fe-Ti-Oxiden, wie u.a. Magnetit und Titanomagnetit, die vorwiegend als Mikrolithe in den vulkanischen Gläsern zu finden sind. Lithoklasten sind ebenfalls in nahezu allen Tephren vertreten und liegen zumeist als Vulkanitbruchstücke mit basischer oder intermediärer Zusammensetzung vor. Einen geringen Anteil nehmen sedimentäre Lithoklasten, wie z.B. karbonatische Gesteinsbruchstücke ein, die wiederum ganz spezielle Liefergebiete widerspiegeln.

### 4.1.2 Zusammensetzung des vulkaniklastischen Kraterrandmaterials

Der Uferbereich sowie das weitläufige Einzugsgebiet des Lago Grande di Monticchio ist durch anstehende feinkörnige Pyroklastika („Tufi scuri“) charakterisiert, die durch Erosionprozesse freigelegt und in die Seen verfrachtet worden sind. Dieses umgelagerte vulkaniklastische Kraterrandmaterial ist in allen Sedimentkernen des Lago Grande di Monticchio vertreten. Es bildet entweder die klastische Matrix im Sediment oder ist als reine, z.T. mehrere Zentimeter mächtige klastische Sandlage abgelagert worden. Vergleiche der drei Sedimentprofile LGM-B/D, LGM-L und LGM-J untereinander zeigen, daß dieses Material im gesamten See nicht gleichmäßig verteilt ist. Auffallend ist, daß der Anteil der vulkaniklastischen Lagen im LGM-J-Kern besonders groß ist. Im Kompositprofil LGM-B/D/E befinden sich diese Lagen u.a. gehäuft im oberen Sedimentprofilabschnitt des Kompositprofils, speziell in Tiefen zwischen 18-24,5 m (LGM-Alter: 28.000-32.800 Jahre BP), 31- 32,5 m (41.000-44.000 Jahre BP) und 41-48 m (60.000-72.000 Jahre BP).



**Abb. 4.2:** Mikroskopische Aufnahme (gekreuzte Pol.) von vulkaniklastischem Kraterrandmaterial aus dem Monticchio-Profil (Kern LGM-J8-u, 89cm).

Das umgelagerte Kraterrandmaterial hebt sich makroskopisch durch seine dunkelbraune bis schwarze Farbe von nahezu allen Fallout-Tephren ab. Die Lagen sind ausschließlich normal gradiert und werden in der Regel von sehr feinen Tonbändchen abgeschlossen. Hauptbestandteile

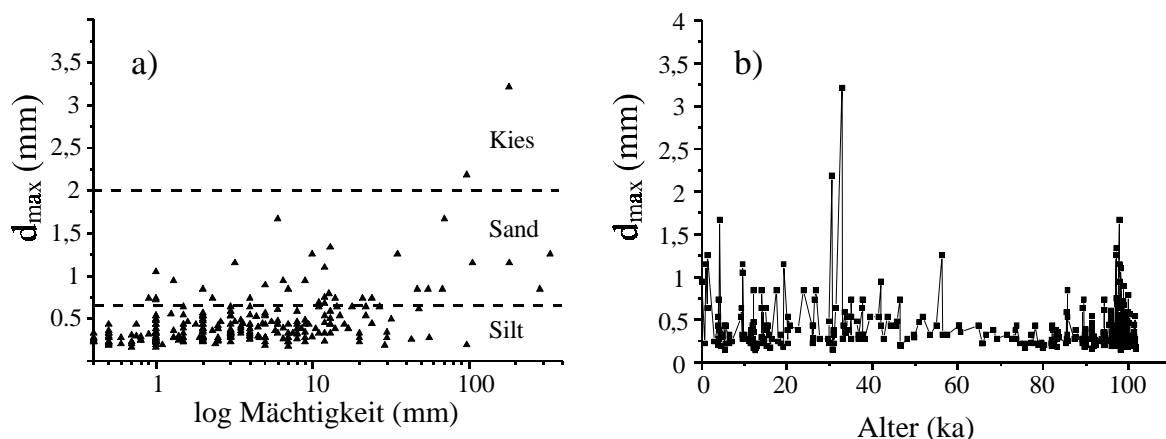
der vulkaniklastischen Lagen sind Phänokristalle und Lithoklasten (Abb.4.2). Zum

Mineralbestand gehören übergeordnet grüner Klinopyroxen (Augit), Hornblende, Kalifeldspat, Plagioklas, Nephelin, Biotit, sowie untergeordnet Hauyn, Leuzit und Sodalith. Die Kristalle sind idiomorph ausgebildet, weisen aber erste Anzeichen von Alterationen auf. Der Anteil der Lithoklasten in den vulkaniklastischen Lagen ist im Vergleich zu den echten Fallout-Tephralagen hoch. Es sind sowohl Vulkanitklasten als auch sedimentäre Bruchstücke (Sandsteine, Karbonate) vertreten.

Vulkanische Gläser sind kaum erkennbar, da diese meist schon in Tonminerale umgewandelt sind. In einigen wenigen vulkaniklastischen Lagen sind umgelagerte Gläser von Fallout-Tephren eingeschaltet, wie z.B. die farblosen und braunen Gläser des Campanischen Ignimbrites im Profilabschnitt zwischen 31,5 ka bis 33,0 ka BP. In solchen Lagen ist eine Unterscheidung von echten Fallout-Tephren oft schwierig.

#### 4.1.3 Sedimentstrukturen und Korngrößen der Fallout-Tephren

Generell bilden die Fallout-Tephralagen einen scharfen Kontakt zum umliegenden Sediment und sind nur selten mit organischem Material vermischt oder bioturbat durchwühlt. Die relativ mächtigen Tephralagen weisen die für Fallablagerungen typischen normalen Gradierungen der Kristalle und Lithoklasten sowie die inversen Gradierungen von vulkanischen Gläsern/Bimsen auf. In den ungradierten Lagen ist die ursprünglich vorhandene Gradierung entweder durch bioturbate Tätigkeiten zerstört worden, oder die Geringmächtigkeit und/oder gute Korngrößensortierung dieser Lagen lassen diese nicht erkennen. Generell fällt beim Vergleich der einzelnen Sedimentprofile auf, daß die Mächtigkeiten der Tephralagen aus den überlappenden Profilen relativ gut übereinstimmen. Diese Gleichmäßigkeit zeigt, daß es sich hier um echte Fallout-Tephren handelt und daß deren Ablagerung trotz der unterschiedlichen Wassertiefen (2-13m) nicht durch intra-lakustrine Prozesse (z.B. Bodenströmung, Turbidite) beeinflußt wurde.



**Abb. 4.3:** Korngrößenspektren der sublakustrinen Fallout-Tephren aus dem Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio; a) Mächtigkeit der Fallout-Tephralagen gegen maximale Korngröße  $d_{\max}$ ; b) Zeitliche Verteilung der maximalen Korngrößen  $d_{\max}$  der Fallout-Tephren (LGM-Alter).

Die Korngrößenspektren der Tephralagen variieren nur unbedeutend. Die mittleren Korngrößen liegen im Feinsand- bis Grobsandbereich (140  $\mu\text{m}$  bis 1,15 mm), wohingegen die maximalen Korngrößen bis in den Feinkiesbereich (150  $\mu\text{m}$  bis 7 mm) hineinreichen (Abb.4.3). Der Sortierungsgrad ist für alle Lagen sehr gut. Es ist daher schwierig, allein anhand der Korngrößenspektren Rückschlüsse auf die Entfernung zum vulkanischen Ausbruchszentrum zu ziehen. Vielmehr spiegeln diese Daten unterschiedliche Eruptionsmechanismen und Windbedingungen wider.

## 4.2 Geochemische Untersuchungen

### 4.2.1 Chemismus der vulkanischen Gläser

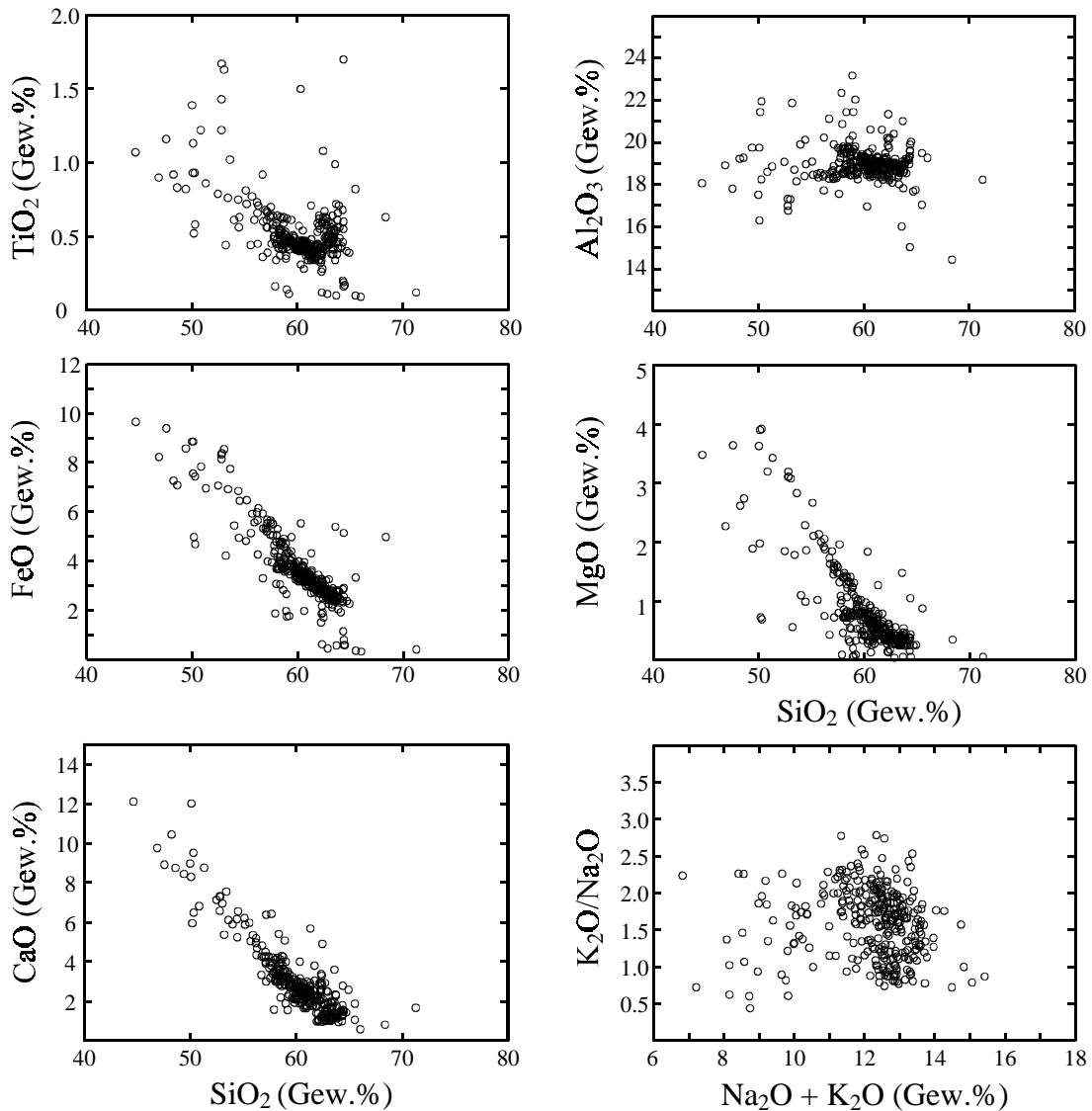
Mittels Mikrosondentechnik wurde der Hauptelementchemismus von mehr als 2700 vulkanischen Gläsern an insgesamt 280 markanten Tephralagen aus dem Monticchio-Sedimentprofil bestimmt. Aufgrund ihrer „Meßbarkeit“ ließen sich insgesamt vier verschiedene Glastypen auseinanderhalten (s.a. Anhang Tafel B):

- (1) farblose bis braune, schwachporöse Bimsbruchstücke mit kleinen rund-ovalen Blasen
- (2) farblose bis braune, hochporöse Bimsbruchstücke mit extrem dünnen Blasenwänden
- (3) farblose bis große, sichel- bis Y-förmige Glasscherben („glass shards“)
- (4) dunkelbraune bis schwarze blasenfreie Schlacken mit Kristalleinschlüssen

Die Glastypen (1) und (3) ließen sich aufgrund der großen, blasenfreien Flächen problemlos messen, wohingegen die Typen (2) und (4) oft zu niedrige Summenprozent (< 95 Gew.%) aufwiesen. Begründet werden diese Summenverluste durch z.T. sehr dünne Blasenwände, die nicht sichtbare Blasen an den Meßstellen verdecken können (hochporöse Bimse), oder durch zu kleine Meßstellen in den kristallreichen Schlacken. Höhere Wassergehalte, die den unalterierten Zustand der Gläser in Frage stellen würden, können für die meisten untersuchten Proben aufgrund der hohen Summenprozent ausgeschlossen werden (siehe Anhang C).

Innerhalb einzelner Tephraproben konnten z.T. signifikante Variationen in der chemischen Zusammensetzung der Glasfraktion festgestellt werden. Diese bi- bis trimodalen Chemismen deuten auf Mischung verschiedenartig zusammengesetzter Magmen hin, die für bestimmte Vulkanprovinzen oft charakteristisch sein können (z.B. Phlegräische Felder, Ätna, Äolische Inseln). Insgesamt decken die Tephren mit  $\text{SiO}_2$ -Gehalten von 44,6 Gew.% bis 71,2 Gew.% (normierte, wasserfreie Daten) ein breites Spektrum von basischen, intermediären und sauren Vulkaniten ab (Abb.4.4). Große Variationen im Chemismus spiegeln u.a. auch die  $\text{FeO}$ - (0,3 - 9,7 Gew.%),  $\text{TiO}_2$ - (0,09 - 1,7 Gew.%),  $\text{MgO}$ - (0,0 - 3,9 Gew.%),  $\text{CaO}$ - (0,6 - 12,1 Gew.%) und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte (14,5 - 23,2 Gew.%) wider (Abb.4.4). Die intermediären Pyroklastika zeichnen sich z.T. durch sehr hohe Alkaliengehalte (6,8-15,4 Gew.%) mit  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnissen zwischen 1 und 2 aus und bilden den Hauptanteil der Tephren (Abb.4.4). Dieser K-betonte, alkaline Chemismus wird lediglich von fünf Tephralagen nicht eingehalten. Bei diesen Lagen handelt es sich um Na-alkaline bis kalkalkaline Pyroklastika mit besonders niedrigen Alkali-Summen (7 - 10 Gew.%).



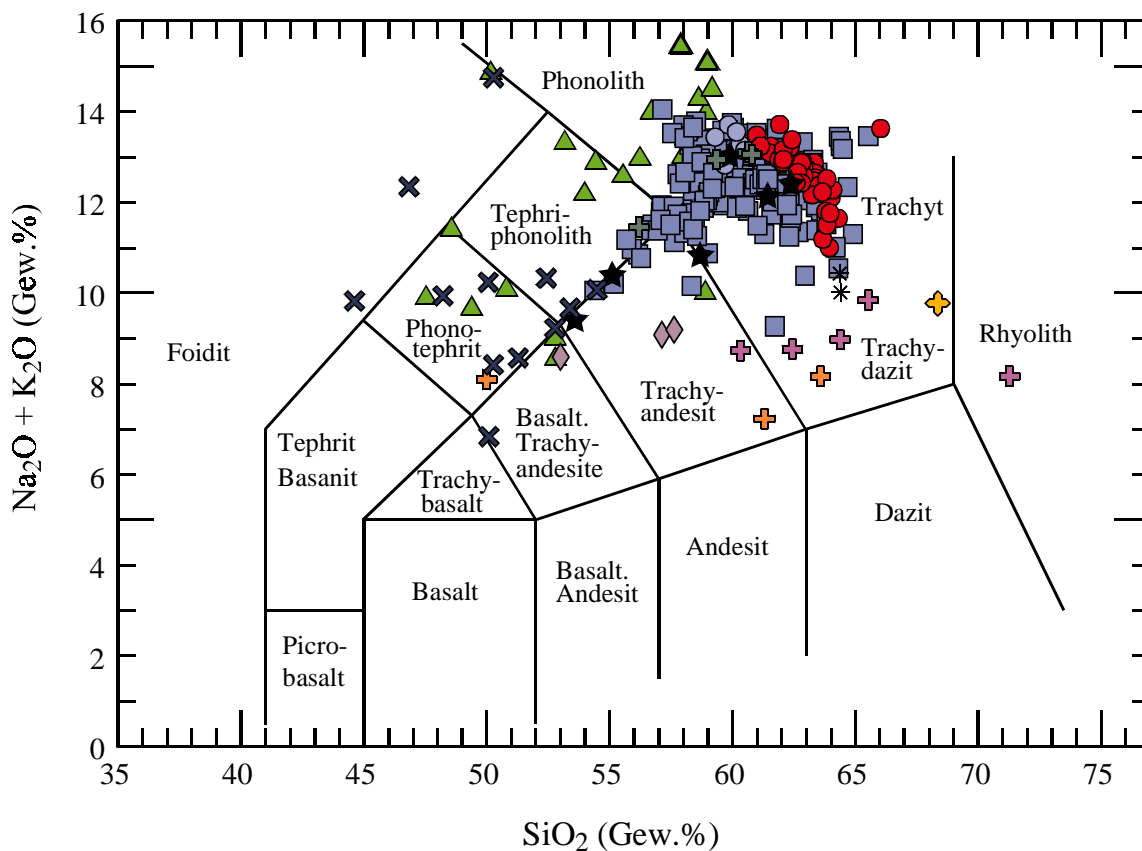


**Abb. 4.4:** Harker-Diagramme zur Darstellung der geochemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser von Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil.

#### 4.2.2 Petrographie und Herkunft der Tephren

Die ermittelten geochemischen Daten der vulkanischen Gläser dienen in erster Linie zur petrographischen Einstufung der Fallout-Tephren, anhand derer die Zuordnung zu den einzelnen Vulkanprovinzen ermöglicht wird. Die petrographische Einteilung der Tephren erfolgte anhand der TAS-Klassifikation (Total-Alkali-Silica) nach Le Bas *et al.* (1986). Tephren mit alkaliner Zusammensetzung decken hier mit Foiditen, Phonotephriten, Tephriphonolithen, basaltischen Trachyandesiten, Latiten, Phonolithen und Trachyten den größten Bereich ab, wobei letztere den Hauptanteil bilden (Abb.4.5). Pyroklastika dieser Art sind typisch für Vulkane der Römischen und Campanischen Provinz in Mittel- und Süditalien. Die Tephren aus der Römischen Vulkanprovinz (Albaner Berge, Sabatiner Berge) zeichnen sich generell durch leuzititische, Leuzit-tephriphonolithische bis phonotephritische Zusammensetzungen aus, wie sie aus der Campanischen Provinz nur von

älteren Produkten von Roccamonfina (> 300 ka) oder rezenten Vulkaniten des Somma-Vesuvus bekannt sind. Die Tephren aus der Campanischen Vulkanprovinz (Somma-Vesuv, Ischia, Phlegräische Felder, Prócida-Vivara) sind vorwiegend durch einen intermediären Chemismus charakterisiert, der jedoch innerhalb der einzelnen Vulkanfelder variiert. So heben sich z.B. die von der Insel Ischia stammenden Pyroklastika durch monotone alkalitrachytischen bis trachytischen Zusammensetzungen von denen der Phlegräischen Felder (CF) ab (Abb.4.5). Bei den CF-Tephren, die ein komplexes System aus Mischung und fraktionierter Kristallisation trachytischer Magmen widerspiegeln (Pappalardo *et al.*, 1999), herrscht ein breites Spektrum von Trachyten, Phonolithen, Trachyandesiten (Latiten) bis Tephriphonolithen vor (Abb.4.5).



#### Legende :

- |                            |                   |                   |
|----------------------------|-------------------|-------------------|
| ▲ Somma-Vesuv              | ◆ Procida-Vivara  | ✚ Ätna            |
| ■ Campi Flegrei            | ✚ Roccamonfina    | ✚ Äolische Inseln |
| ● Ischia                   | ✚ Albaner Berge   | ✚ Pantelleria     |
| ● Campi Flegrei / Ischia ? | ★ Sabatiner Berge | * unbekannt       |

**Abb. 4.5:** Petrologische Einstufung der geochemisch analysierten Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Sedimentprofil anhand des „Total-Alkali-Silica“-Klassifikationsdiagrammes (TAS) nach Le Bas *et al.* (1986). Campi Flegrei = Phlegräische Felder.

Tephren, die von Prócida produziert wurden, sind wiederum latitisch bis basaltisch-trachyandesitisch in ihrer Zusammensetzung und somit mit geringeren Alkaligehalten von allen anderen campanischen Vulkanen abgrenzbar (Abb.4.5). Die Pyroklastika des Somma-Vesuvus zeigen dagegen als einzige eine aus fraktionierter Kristallisation

resultierende petrographische Entwicklung, die von trachytisch über phonolithisch-tephritisch bis rezent foiditisch reicht (Abb.4.5). Auffallend ist hier, daß die ältesten Tephren mit trachytischer Zusammensetzung sowohl im Chemismus als auch in den gesteinsmagnetischen Merkmalen (Fe-Ti-Oxide mit Ulvöspinellanteilen von ca. 35%; U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000) nicht mehr von den Pyroklastika der Phlegräischen Felder unterscheidbar sind.

Bei den wenigen Tephralagen mit Na-alkaliner bis kalkalkaliner Zusammensetzung handelt es sich im wesentlichen um Trachyandesite, Trachydazite und untergeordnet Rhyolithe, wie sie in der Äolischen und Sizilianischen Vulkanprovinz vorkommen.

### 4.3 Korrelation der Tephren

Nachdem die erkennbaren echten Fallout-Tephren abgegrenzt und nahezu alle anhand ihrer geochemischen Merkmale einer bestimmten Vulkanprovinz zugeordnet werden konnten, war es nun in Kombination mit den mineralogischen Daten und stratigraphischen Stellungen der insgesamt 344 Tephralagen möglich, konkrete Korrelationen mit einzelnen vulkanischen Ereignissen vorzunehmen. Diese Korrelationen stützen sich im wesentlichen auf den Vergleich mit Literaturdaten proximaler und distaler Tephra-Äquivalente aus den mediterranen terrestrischen und marinen Ablagerungsräumen. Die Präzision dieser Daten bestimmt die Vertrauenswürdigkeit der Korrelationen. Dabei fällt auf, daß die Verfügbarkeit von Geochemiedaten für die einzelnen Vulkanprovinzen recht unterschiedlich ist. Die jüngeren vulkanischen Einheiten der Campanischen Provinz (Somma-Vesuv, Phlegräische Felder, Ischia) sind z.B. ausreichend untersucht worden, wohingegen adäquate Daten zu den jüngsten Einheiten der Römischen Provinz (< 100 ka; Albaner Berge, Sabatiner Berge, Vico) fehlen. Ein weiteres Problem liegt in der Vergleichbarkeit der auf unterschiedlichen Methoden basierenden Geochemiedaten. An die Präzision der in dieser Arbeit vorgelegten Mikrosondenanalysergebnisse (EMPA) der vulkanischen Gläser reichen lediglich ICP-AES-Analysendaten reiner Glaskonzentrate heran, die wiederum nur eingeschränkt in der Literatur zu finden sind. Stattdessen stehen RFA-Daten der Gesamttephra und semiquantitative SEM-EDS-Glasanalysendaten zur Verfügung, die sich jedoch nicht immer zum direkten Vergleich mit den Mikrosondendaten eignen. Es soll daher betont werden, daß die unter Verwendung dieser Daten erfolgten Tephra-Korrelationen vorläufige Ergebnisse darstellen, die anhand weiterführender Untersuchungen, wie z.B. der Mikrosondenanalyse bekannter proximaler Bimsfallablagerungen oder der Spurenelementanalyse, bestätigt werden müssen. Weiterhin muß bei der fortführenden Anwendung der hier vorgelegten Tephradaten (z.B. Korrelation mit anderen Sequenzen, Zeitreihenanalyse) berücksichtigt werden, daß einige der 344 Tephren sekundär in den Monticchio-Sedimenten abgelagert sein können. Bei diesen Umlagerungen handelt es sich nicht um intra-lakustrine Prozesse, sondern um eine Verfrachtung der am Uferbereich abgelagerten Fallout-Tephren. Mindestens 20 solcher Umlagerungen, hauptsächlich geringmächtige und feinkörnige pyroklastische Lagen im hangenden Sedimentbereich mächtiger Tephra-Einheiten, konnten bislang im Monticchio-Profil nachgewiesen werden (siehe Anhang B).

### 4.3.1 Somma-Vesuv

Anhand der Mineral-, Glas- und Lithoklastenbestände sowie der Glas-Chemiedaten wurden insgesamt 33 diskrete, z.T. umgelagerte Tephralagen mit Ausbrüchen des Somma-Vesuv korreliert (siehe Abb. 4.6, Tab. 4.1, Anhang B, C). In der Regel sind die Tephren des Somma-Vesuv als graue bis schwarze Glasaschen mit z.T. sehr hohen Phänokristall- und Lithoklastenanteilen anzusprechen. Häufig ist eine Gradierung von farblosen, blasenreichen Bimsen an der Basis bis hin zu hellbraunen bis braunschwarzen, einschlußreichen Schlacken im Hangendbereich zu beobachten. Typische Phänokristalle sind grüner, zonierter Klinopyroxen mit diopsidischer bis augitischer Zusammensetzung, Sanidin, Plagioklas, Biotit, Leuzit, selten Nephelin, Ti-arme Fe-Ti-Oxide (Ulvöspinell-Anteil ca. 5%; U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000), Hornblende, Melanit, Sodalith oder Skapolith. Lithoklasten sind als markante Bestandteile sowohl in vulkanitischer als auch karbonatischer Form anwesend.

#### Historische Ausbrüche

Von den zahlreichen, historisch bekannten Ausbrüchen des Vesuv sind insgesamt fünf in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio dokumentiert. Die jüngste Tephra mit einem LGM-Alter von 88 Jahren BP kann anhand der Leuzit-tephriphonolithischen Zusammensetzung dem subplinianischen Ereignis von **1631 n.Chr.** (Rolandi *et al.*, 1993a) zugeordnet werden (Tab.4.1, Tafel A1). Eine Korrelation dieser Asche mit dem letzten Ausbruch von 1944 n.Chr. liegt zwar aufgrund der zeitlichen Stellung nahe, jedoch konnten die typischen roten leuzititischen Schlacken jener Förderprodukte (Santacroce, 1987) bislang in keinem der Monticchio-Kerne nachgewiesen werden.

**Tab. 4.1:** Normierte (wasserfreie) Mikrosondenanalysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Tephren im Vergleich mit Literaturdaten proximaler Tephra-Äquivalente der historischen Ausbrüche des Somma-Vesuv (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Ime2 = Formazione di Terzigno, 1073 n.Chr.; Ilme2 = Formazione di Terzigno, 893 n.Chr.; Referenzen: <sup>(1)</sup> SEM-EDS-Daten, Rolandi *et al.* (1993a); <sup>(2)</sup> SEM-EDS-Daten, Rolandi *et al.* (1998); <sup>(3)</sup> RFA-Daten, Santacroce (1987).

Probe	LGM 88	<i>1631 AD</i> ( <sup>1</sup> )	LGM 818	<i>Ime2</i> ( <sup>2</sup> )	LGM 1072	<i>Ilme2</i> ( <sup>2</sup> )	LGM 1416	<i>Pollena</i> ( <i>Top</i> ) <sup>(3)</sup>	LGM 1441	<i>Pollena</i> ( <i>Basis</i> ) <sup>(3)</sup>
SiO <sub>2</sub>	53,58	<i>53,50</i>	49,75	<i>49,88</i>	47,75	<i>48,22</i>	48,85	<i>49,37</i>	50,62	<i>51,52</i>
TiO <sub>2</sub>	0,44	<i>0,59</i>	0,83	<i>0,90</i>	1,16	<i>1,28</i>	0,84	<i>0,84</i>	0,53	<i>0,52</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,03	<i>21,47</i>	19,90	<i>20,09</i>	17,89	<i>17,86</i>	19,38	<i>18,41</i>	21,64	<i>21,26</i>
FeO <sup>t</sup>	4,24	<i>4,61</i>	8,65	<i>7,44</i>	9,43	<i>9,73</i>	7,11	<i>6,43</i>	5,01	<i>4,54</i>
MnO	0,14	<i>0,25</i>	0,24	<i>0,15</i>	0,20	<i>0,15</i>	0,25	<i>0,14</i>	0,20	<i>0,15</i>
MgO	0,56	<i>0,73</i>	1,91	<i>2,36</i>	3,66	<i>3,07</i>	2,76	<i>3,58</i>	0,72	<i>0,83</i>
CaO	5,41	<i>5,34</i>	8,50	<i>8,34</i>	8,95	<i>9,83</i>	8,79	<i>8,95</i>	6,00	<i>5,29</i>
Na <sub>2</sub> O	6,92	<i>5,99</i>	5,13	<i>4,82</i>	3,87	<i>4,79</i>	4,27	<i>4,04</i>	7,49	<i>5,45</i>
K <sub>2</sub> O	6,47	<i>7,52</i>	4,58	<i>6,01</i>	6,04	<i>5,07</i>	7,19	<i>7,78</i>	7,48	<i>10,30</i>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	<i>0,00</i>	0,50	<i>0,00</i>	1,04	<i>0,00</i>	0,56	<i>0,46</i>	0,32	<i>0,14</i>
Summe	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>
$d_{(A,B)}$		<i>0,89</i>		<i>0,91</i>		<i>0,91</i>		<i>0,93</i>		<i>0,88</i>

Mittelalterliche, relativ hochenergetische Eruptionen, wie die der „**Formazione di Terzigno**“ (1073 n.Chr., 893 n.Chr.; Rolandi *et al.*, 1998) sind anhand von zwei

schwarzen, phonotephritischen Tephralagen (LGM-818, LGM-1072) identifizierbar (Tab.4.1). Diese Leuzit-reichen Schlacken sind dispers im Sediment verteilt und heben sich damit von den älteren, insgesamt 3,8 cm mächtigen Tephren des „Pollena“-Eruptionszyklus (472 n.Chr., 512 n.Chr.) ab. Letzterer ist in Form von zwei Leuzit-phonolithischen bis foiditischen Aschenlagen (LGM-1441, LGM-1416) im Monticchio-Profil vertreten (siehe Tab.4.1, Tafel A2, B1).

Die einzige historische Großeruption plinianischen Charakters, der berühmte „Pompeji“-Ausbruch von 79 n.Chr., konnte bislang nicht in den Monticchio-Sedimenten nachgewiesen werden. Das Fehlen kann mit der nachgewiesenen südöstlichen Verbreitung dieser Leuzit-reichen Aschen (siehe Barberi *et al.*, 1983; Santacroce, 1987) begründet werden.

### Prähistorische Ausbrüche

Weitere 25 Tephralagen im Monticchio-Sedimentprofil sind sowohl petrologisch als auch zeitlich mit den prähistorischen Aktivitäten des Somma-Vesuvus vergleichbar. Es konnten davon allein 16 Tephralagen mit den stratigraphisch zwischen Pompeji- und Avellino-Eruption gelegenen interplinianischen Aktivitäten „AP“ korreliert werden (2,7–3,5 ka BP unkalibriert = uncal., Andronico & Cioni, submitted; Rolandi *et al.*, 1998). Diese Leuzit-phonolithischen bis Leuzit-tephriphonolithischen Lagen (Tab.4.2, Tafel A3, B2, B3) bilden drei übergeordnete pyroklastische Einheiten, deren jüngste am Leuzit-betontesten ist. Mit LGM-Altern von 4153-4146, 4018 und 3994-3971 Jahren BP entsprechen diese Tephra-Einheiten den nach Andronico & Cioni (submitted) klassifizierten Einzel-eruptionen „AP2“, „AP3“ und „AP6“, die bislang nur in proximalen oder nahen distalen Ablagerungen östlich des Vesuvus gefunden wurden. Die großen Mächtigkeiten im Monticchio-Profil von mehr als 2 cm pro Einheit deuten darauf hin, daß die interplinianischen Aktivitäten höherenergetisch waren, als ursprünglich angenommen wurde.

**Tab. 4.2:** Normierte (wasserfreie) Mikrosondenanalysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Literaturdaten proximaler Tephra-Äquivalente der jüngeren prähistorischen Ausbrüche des Somma-Vesuvus (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; IIIpr5, Ipr7, Ipr4 = interplinianische Einheiten (AP); Referenzen: <sup>(1)</sup> SEM-EDS-Daten, Rolandi *et al.* (1998); <sup>(2)</sup> RFA-Daten, Andronico & Cioni (submitted); <sup>(3)</sup> RFA-Daten, Santacroce (1987); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 3971 - 3994	IIIpr5 (1)	AP6 (AR-8) (2)	LGM 4018	Ipr7 (1)	AP3a (VS94 210) (2)	LGM 4146	Ipr4 (AP2) (1)	LGM 4313	Avellino (Basis) (3)
SiO <sub>2</sub>	54,73	55,14	55,70	56,51	56,14	55,78	58,27	57,96	58,17	57,42
TiO <sub>2</sub>	0,56	0,65	0,58	0,46	0,54	0,63	0,34	0,35	0,16	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,23	20,02	19,65	20,33	20,49	19,31	20,97	21,23	22,46	22,48
FeO <sup>t</sup>	4,96	5,03	4,82	4,29	4,05	5,16	3,08	2,83	1,88	1,70
MnO	0,14	0,15	0,15	0,14	0,16	0,14	0,11	0,15	0,13	0,10
MgO	0,99	0,86	2,18	0,75	0,86	1,65	0,46	0,39	0,09	0,20
CaO	5,27	4,83	4,15	4,35	4,42	5,09	3,53	3,35	1,58	1,87
Na <sub>2</sub> O	4,77	5,38	4,06	4,77	5,39	3,86	6,19	7,00	8,28	8,89
K <sub>2</sub> O	8,15	7,94	8,52	8,26	7,95	8,16	6,86	6,74	7,21	7,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,00	0,17	0,15	0,00	0,21	0,18	0,00	0,02	0,02
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,93	0,87		0,94	0,83		0,94		0,86

Als vergleichsweise geringmächtige Lage (6mm) konnte im nahe liegenden Bereich der AP-Lagen die „**Avellino**“-Tephra (3,6 ka BP uncal., Andronico *et al.*, 1995) mit einem LGM-Alter von 4313 Jahren BP ausgemacht werden. Entsprechend ihrer proximalen Äquivalente kann diese phonolithische Lage (Tab.4.2) in zwei Sub-Einheiten untergliedert werden. Der markante Basisbereich wird von grobkörnigen, weißen Bims-Fallablagerungen gebildet, der besondere Phänokristalle wie Nephelin, Sodalith und Skapolith, ein beim Magmenaufstieg mitgeführtes Nebengesteinsmineral, aufweist (Tafel A4). Der geringmächtigere Topbereich setzt sich aus grauen, feinkörnigen Gläsern und einem hohen karbonatischen Lithoklastenanteil zusammen. Die Avellino-Tephra führt als einzige jüngere Vesuv-Tephra keinen Leuzit und ist damit klar von allen anderen pyroklastischen Einheiten des Vesuvs abgrenzbar.

Die „**Mercato**“-Eruption (8,0 ka BP uncal., Andronico *et al.*, 1995) ist mit insgesamt sechs diskreten Tephralagen mit LGM-Altern von 9678, 9620, 9590, 9503, 9317 und 9258 Jahren BP im Monticchio-Profil vertreten. Das eigentliche plinianische Ereignis spiegelt die älteste der Tephralagen (9678 Jahre BP) mit einer Mächtigkeit von 10,6 cm wider. Zu den wichtigsten Korrelationsmerkmalen dieser Tephra zählt ein bimodaler Chemismus der vulkanischen Gläser, der sich als trachytisch-phonolithisch in den farblosen bis hellbraunen Bimsen sowie als tephriphonolithisch in den dunkleren Schlacken erweist (Tab.4.3, Tafel A5, B5). Derartige Zusammensetzungen der Mercato-Tephra sind im distalen Bereich bislang nur von der „**Veliko-Jezero-Tephra**“ aus den adriatischen Lagunensedimenten (Mljet) beschrieben worden (Jahns & van den Bogaard, 1998; Tab.4.3, s.a. Kapitel 6.3.3). Als weitere markante Charakteristika der Mercato-Tephra können die auffällige braungrüne Färbung der Tephra, sowie die zusätzliche Anwesenheit des Minerals Melanit in dem Leuzit-armen Phänokristallbestand angesehen werden.

**Tab. 4.3:** Normierte (wasserfreie) Mikrosondenanalysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Literaturdaten proximaler und distaler\* Tephra-Äquivalente der älteren prähistorischen Eruptionen des Somma-Vesuvs (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> EMPA-Daten, Jahns & van den Bogaard (1998); <sup>(2)</sup> RFA-Daten, Santacroce (1987); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 9678b	<i>Veliko Jezero*</i> <i>(Typ B)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 9678a	<i>Veliko Jezero*</i> <i>(Typ A)</i> <sup>(1)</sup>	<i>Mercato</i> <i>(Basis)</i> <sup>(2)</sup>	LGM 17.560	<i>Verdoline</i> <sup>(2)</sup>	LGM 19.282b	<i>Basali</i> <i>(Top)</i> <sup>(2)</sup>	LGM 19.282a	<i>Basali</i> <i>(Basis)</i> <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	55,79	<i>54,40</i>	59,27	<i>59,02</i>	<i>59,86</i>	60,70	<i>59,92</i>	52,91	<i>52,18</i>	62,02	<i>62,09</i>
TiO <sub>2</sub>	0,44	<i>0,66</i>	0,14	<i>0,21</i>	<i>0,12</i>	0,31	<i>0,40</i>	1,22	<i>0,89</i>	0,35	<i>0,37</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,57	<i>18,05</i>	21,55	<i>21,13</i>	<i>20,96</i>	19,09	<i>18,68</i>	17,02	<i>18,37</i>	18,63	<i>18,33</i>
FeO <sup>t</sup>	5,15	<i>5,28</i>	1,73	<i>1,96</i>	<i>1,95</i>	3,49	<i>4,07</i>	8,16	<i>7,50</i>	3,06	<i>3,17</i>
MnO	0,36	<i>0,42</i>	0,18	<i>0,20</i>	<i>0,16</i>	0,16	<i>0,14</i>	0,16	<i>0,15</i>	0,18	<i>0,16</i>
MgO	1,02	<i>1,18</i>	0,07	<i>0,10</i>	<i>0,08</i>	0,28	<i>0,51</i>	3,21	<i>3,08</i>	0,40	<i>0,37</i>
CaO	6,01	<i>7,43</i>	1,90	<i>1,85</i>	<i>1,56</i>	3,18	<i>3,83</i>	7,34	<i>8,83</i>	3,07	<i>2,80</i>
Na <sub>2</sub> O	7,25	<i>6,87</i>	8,46	<i>7,87</i>	<i>8,68</i>	4,31	<i>3,93</i>	3,14	<i>2,94</i>	4,29	<i>4,25</i>
K <sub>2</sub> O	5,38	<i>5,69</i>	6,69	<i>7,66</i>	<i>6,62</i>	8,42	<i>8,46</i>	5,86	<i>5,52</i>	7,94	<i>8,41</i>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	<i>0,00</i>	0,03	<i>0,00</i>	<i>0,01</i>	0,06	<i>0,05</i>	0,98	<i>0,54</i>	0,06	<i>0,05</i>
Summe	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>
$d_{(A,B)}$		<i>0,89</i>		<i>0,88</i>	<i>0,92</i>		<i>0,86</i>		<i>0,90</i>		<i>0,96</i>

Im großen zeitlichen Abstand zur Mercato-Tephra tritt die „**Verdoline**“-Tephra (16,8 ka BP uncal., Di Vito *et al.*, 1998) mit einem LGM-Alter von 17.560 Jahren BP die nächste

markante pyroklastische Einheit des Vesuvs auf. Diese graue, Leuzit-freie Aschenlage unterscheidet sich von den jüngeren Produkten des Vesuvs durch die trachytische Zusammensetzung der hellen, extrem einschlußreichen vulkanischen Gläser, die eher an die der Pyroklastika der Phlegräischen Felder erinnert (Tab.4.3, Tafel A10, B10).

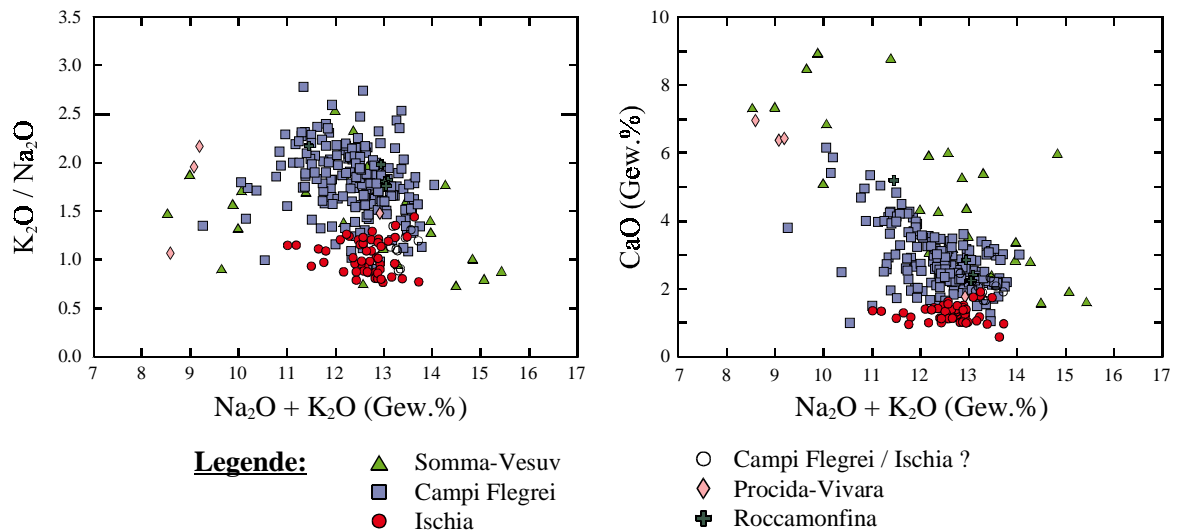
Der „**Pomici di Base**“ (18,3 ka BP uncal., Andronico *et al.*, 1995), häufig auch als „Basali“ oder „Sarno“ bezeichnet, stellt mit 18,2 cm die mächtigste Vesuv-Tephra im Monticchio-Profil dar. Diese mit der Monticchio-Chronologie auf 19.282 Jahre BP datierte Lage ist, ähnlich wie die „Mercato“-Tephra, durch einen bimodalen Chemismus der Gläser charakterisiert, der von trachytisch an der hellen Tephrobasis bis hin zu phonotephritisch-latitisch im dunkelgrauen Hangendbereich variiert (Tab.4.3, Tafel A12, B11). In Übereinstimmung mit gesteinsmagnetischen Untersuchungsergebnissen (U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000) zeigt die Petrologie des „Pomici di Base“ eine deutliche Affinität zu Produkten der Phlegräischen Felder.

Zwei weitere dunkelgraue Aschenlagen mit LGM-Altern von 26.537 und 26.788 Jahren BP zeigen sowohl mineralogische als auch geochemische Ähnlichkeiten mit dem „Pomici di Base“ und wurden daher vorerst den initialen Aktivitäten des Vesuvs zugeordnet (Tafel A17, B18, B19). Die von (Narcisi, 1996) vorgeschlagene Korrelation einer dieser Aschen (LGM-26.788) mit der „Codola“-Tephra (25,1 ka BP uncal.; Alessio *et al.*, 1974) konnte bislang aufgrund unzureichend vorliegender petrologischer Daten nicht bestätigt werden.

### 4.3.2 Phlegräische Felder

Den weitaus größten Anteil an Tephralagen im Monticchio-Profil nehmen die von den Phlegräischen Feldern (Campi Flegrei, CF) stammenden Tephren ein. Mindestens 166 Lagen sind auf geochemischer Basis mit den CF korrelierbar, weitere 40 zeigen die für die Phlegräischen Felder typischen Mineral- und Glasbestände. Der Lithoklastenbestand der CF-Tephren umfaßt ausnahmslos Vulkanit-Bruchstücke und ist in fast allen Tephralagen vorhanden. Übliche Phänokristalle sind Feldspat (Sanidin, Plagioklas), Biotit und intensiv grüngelbter Klinopyroxen mit augitischer Zusammensetzung. Apatit und Leuzit treten in geringen Anteilen als Mikroeinschlüsse in den blasenärmeren Gläsern auf und sind hauptsächlich auf ältere Tephren des Sedimentprofils (>80 ka) beschränkt. Die überwiegend feinkörnigen Fe-Ti-Oxide zeichnen sich gesteinsmagnetischer Messungen zufolge durch hohe Titan-Gehalte aus (Ulvöspinell-Anteil ca. 35 %; U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000), womit eine zusätzliche Unterscheidung der einzelnen campanischen Vulkanfelder möglich ist.

Tephren der Phlegräischen Felder sind generell charakterisiert durch eine phonolithisch-trachytische bis untergeordnete latitisch-tephriphonolithische Zusammensetzung. Sichere Unterscheidungsmerkmale zu den geochemisch ähnlichen Vulkaniten der Insel Ischia sind hohe  $K_2O/Na_2O$ -Verhältnisse ( $\approx 2$ ), CaO-Gehalte von >2 Gew.% und FeO-Gehalte von >3 Gew.% (Abb. 4.6). Typisch sowohl für die jüngeren als auch für die älteren Tephren der Phlegräischen Felder sind außerdem bimodale Zusammensetzungen der Gläser, die sich entweder durch eine Teilung in latitische und trachytische Glaschemismen oder durch Variabilitäten der Alkalienverhältnisse innerhalb der trachytischen Gläser auszeichnen.



**Abb. 4.6:** Geochemische Diskrimination der campanischen Aschen aus dem Monticchio-Profil.

In Anlehnung an Di Vito *et al.* (1999) und Pappalardo *et al.* (1999) können drei Perioden vulkanischer Tätigkeiten der Phlegräischen Felder unterschieden werden:

Periode I : 14 ka BP bis rezent

Die jüngste CF-Einheit im Monticchio-Profil mit plinianischem Charakter stellt die „**Agnano Monte Spina**“-Eruption (4,1 ka BP uncal., Di Vito *et al.*, 1999) dar. Insgesamt sechs Tephralagen, davon zwei weiße (LGM-4619, LGM-4663) und vier geringmächtige, graue Lagen (LGM-5393, -5502, -5635, -5675), lassen sich mit diesem vulkanischen Ereignis korrelieren (Tab.4.4). Mit einer Mächtigkeit von 11mm bildet hier die Tephra LGM-4619 die markanteste Lage und kann eventuell mit den am weitesten nach Osten verbreiteten Fallablagerungen B1 (de Vita *et al.*, 1999) gleichgesetzt werden (Tafel B4).

Zwischen den pyroklastischen Einheiten der „Agnano Monte Spina“-Eruption und der nächst größeren, älteren Einheit, der „Agnano-Pomici Principali“, sind fünf, überwiegend aus geringmächtigen hellbraunen Lagen bestehende Tephra-Einheiten dokumentiert, die auf geochemischer und stratigraphischer Basis den Eruptionsereignissen „**Casale**“ (9,6 ka BP uncal., D' Antonio *et al.*, 1999; LGM-11.207, LGM-11.187 ) und „**Soccavo 4**“ (10,3–9,5 ka BP uncal., Di Vito *et al.*, 1999; LGM-11.983, LGM-11.888, LGM-11.668) zugeordnet werden können. Insbesondere die Korrelation mit der proximal mächtigen Soccavo 4-Tephra ist von großer Bedeutung (Tab.4.4., Tafel B6), da ihre vermutlich nach Osten verbreiteten Fallprodukte bislang nicht im distalen Bereich, d.h. über die Caldera der Phlegräischen Felder hinweg, gefunden wurden (Di Vito *et al.*, 1999). Möglicherweise ist diese pyroklastische Einheit mit der aus Profilen am Nordhang des Vesuvus aufgeschlossenen **VM2**-Einheit vergleichbar (Andronico *et al.*, 1995).

Die „**Agnano Pomici Principali**“-Eruption (APP, 10,3 ka BP uncal.; Di Vito *et al.*, 1999) gehört zu den bedeutendsten Ereignissen in der jüngeren Post-NYT-Caldera-Aktivitätsphase der Phlegräischen Felder. Ihre Fallprodukte sind weit nach Osten verbreitet und ebenfalls im Monticchio-Profil mit zwei Tephralagen dokumentiert. Dabei repräsentiert die graubraune, 47 mm mächtige Lage LGM-12.181 den Basisbereich der APP-Einheit. Die hellbraunen bis braunen Gläser führen in seltenen Fällen idiomorphe



Mikro-Leuzitkristalle und sind generell von phonolithischer Zusammensetzung (Tab.4.4, Tafel A7, B7). Die überlagernde, hellere Tephralage LGM-12.169 kann wiederum aufgrund ihres tephriphonolithischen Chemismus als Äquivalent des Topbereiches der proximalen APP-Einheit interpretiert werden. Unterschiede zur Basistephra sind zum einen in der zusätzlichen Anwesenheit von Hornblende, zum anderen in dem schwächeren Porositätsgrad der Gläser zu suchen (Tafel A6).

**Tab. 4.4:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten der CF-Eruptionen der letzten 12.000 Jahre BP (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; AMS = Agnano Monte Spina; APP = Agnano Pomici Principali; Referenzen: <sup>(1)</sup> ICP-AES-Daten, de Vita *et al.* (1999); <sup>(2)</sup> ICP-AES-Daten, D' Antonio *et al.* (1999); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 4619	AMS (101 B1) <sup>(1)</sup>	AMS (proximal)	LGM 11.668	Soccavo 4, (9711920b) <sup>(2)</sup>	LGM 12.169	APP (97103 PPb) <sup>(2)</sup>	LGM 12.181	APP (97103 PPa) <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	60,51	60,89	61,16	58,35	57,94	55,92	56,95	58,63	57,67
TiO <sub>2</sub>	0,44	0,49	0,48	0,65	0,58	0,77	0,56	0,49	0,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,90	18,51	18,25	18,62	18,73	18,42	18,72	18,77	18,67
FeO <sup>t</sup>	3,51	3,79	3,57	5,34	5,11	5,95	5,02	4,17	4,77
MnO	0,16	0,15	0,15	0,15	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12
MgO	0,63	0,74	0,71	1,48	1,40	2,13	1,77	1,08	1,63
CaO	2,56	2,88	2,83	3,63	4,20	5,07	4,98	3,63	4,55
Na <sub>2</sub> O	4,48	4,55	4,45	3,45	3,68	3,52	3,52	3,90	3,49
K <sub>2</sub> O	8,70	7,87	8,24	7,97	7,93	7,70	8,07	9,05	8,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,13	0,15	0,37	0,29	0,39	0,26	0,15	0,22
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,93	0,95		0,95		0,91		0,89

Periode II : 33 ka bis 14 ka BP

Mit einer der stärksten bekannten Eruptionen der Phlegräischen Felder wird die phreatoplinianische bis phreatomagmatische Förderung der „**Gelben Neapolitanischen Tuffe**“ („Tufo Giallo Napoletano“, NYT) in Verbindung gebracht. Die im proximalen Bereich äußerst mächtigen NYT-Pyroklastika (12,0 ka BP, uncal., Alessio *et al.*, 1973; Alessio *et al.*, 1971; Rosi & Sbrana, 1987; Scandone *et al.*, 1991) sind im Monticchio-Profil mit drei diskreten, dicht aufeinanderfolgenden Tephralagen, deren Gesamtmächtigkeit etwa 2,2 cm beträgt, korrelierbar. Diese weiß-gelblichen Aschen mit LGM-Altern von 14.110 bis 14.120 Jahren BP besitzen geringe Phänokristall- und Lithoklastenbestände sowie bimodale Chemismen der Gläser, die von trachytisch (Basis) bis latitisch-tephriphonolithisch (Top) reichen (Tab.4.5, Tafel A8, B8).

Direkt im Liegenden der „NYT“-Tephren sind drei diskrete weiße Tephralagen eingeschaltet, die anhand der geochemischen Merkmale den von Pappalardo *et al.* (1999) beschriebenen pyroklastischen Einheiten der „**Tufi Biancastri**“ (Sequenzen **V<sub>Ra</sub>** bis **V<sub>re</sub>**) entsprechen. Die markanteste dieser trachytischen Aschen stellt LGM-14.557 mit einer Mächtigkeit von 1,8 cm dar (Tab.4.5, Tafel B9). Diese stratigraphisch zwischen den NYT und der Abfolge des Campanischen Ignimbrites gelegenen Einheiten sind derzeit nur aus dem proximalen oder nahen distalen Ablagerungsraum bekannt. In letzterem sind sie in den Vesuv-Profilen aufgeschlossen und werden dort von Andronico *et al.* (1995) als

**VM1** bezeichnet. Eine zeitliche Einordnung der z.T. erodierten, proximalen Fallablagerungen der „Tufi Biancastri“ erfolgte anhand radiometrischer und radioisotopischer ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) Datierungsmethoden auf Alter zwischen 15 ka und 18 ka (Alessio *et al.*, 1973; Pappalardo *et al.*, 1999).

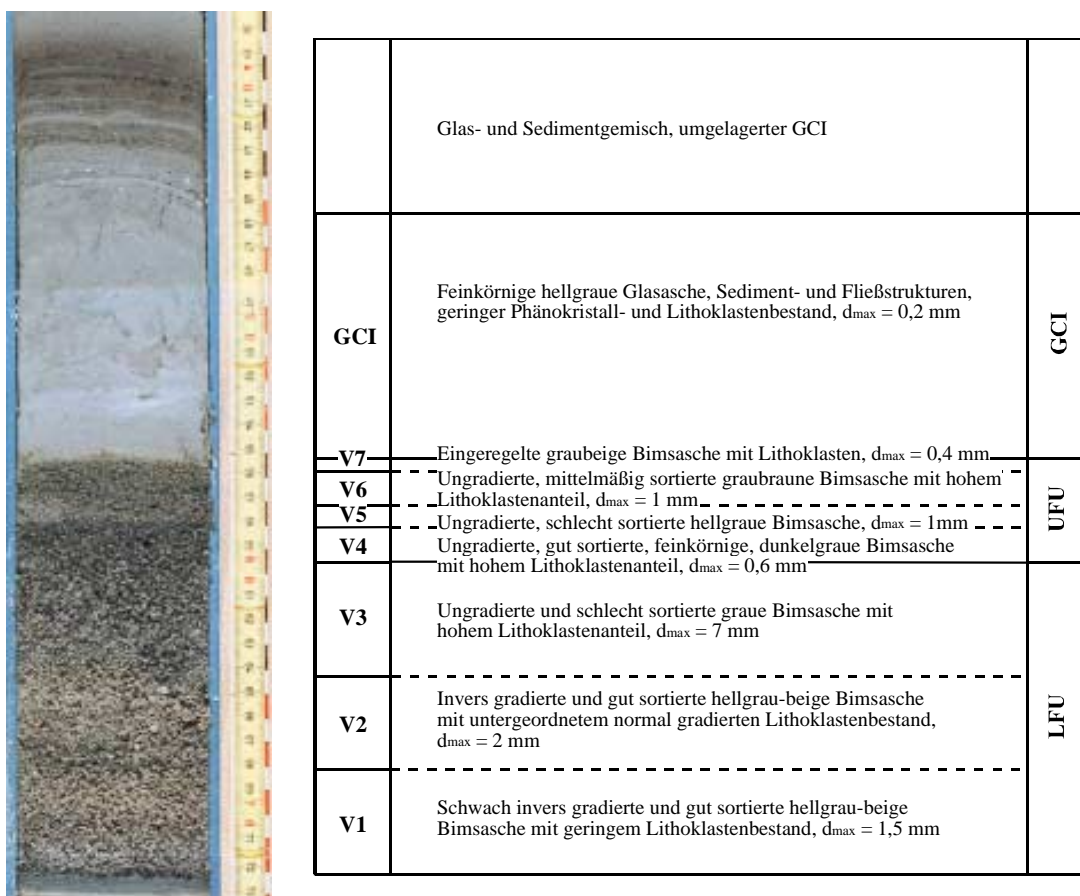
Den „Tufi Biancastri“ unterlagert sind die Produkte der „**Lagno Amendolare**“-Eruption (LA; 13,1 ka BP uncal.; Andronico, 1997). Diese pyroklastische Einheit ist bislang nur aus nahen distalen Profilen bekannt und erst kürzlich mit Eruptionen der Phlegräischen Felder in Verbindung gebracht worden (Andronico, 1997). Die „LA“-Aschen zeigen mit mehreren Tephralagen im Monticchio-Profil eine gute geochemische und zeitliche Übereinstimmung (Tab.4.5). Die beiden mächtigsten trachytischen Tephren mit LGM-Altern von 15.028 und 15.215 Jahren BP heben sich durch einen im Vergleich zu den „Tufi Biancastri“ höheren Phänokristall- und Lithoklastenanteil ab und werden den Hauptereignissen der „LA“-Eruption zugesprochen.

**Tab. 4.5:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten der Phlegräischen Felder (kursiv) für den Zeitraum zwischen NYT- und CI-Eruption (12 ka bis 37 ka BP); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; NYT = Gelber Napolitanischer Tuff; LA = Lagno Amendolare; Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Scarpati *et al.* (1993); <sup>(2)</sup> ICP-AES-Daten, Pappalardo *et al.* (1999); <sup>(3)</sup> RFA-Daten, Santacroce (1987); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM	<i>NYT</i>	NYT	LGM	<i>NYT</i>	LGM	LGM	<i>Tufi Biancastri</i>	LGM	<i>LA</i>
	<b>14.115a</b>	<i>(68 B)</i> <sup>(1)</sup>	<i>(proximal)</i>	<b>14.115b</b>	<i>(75 B)</i> <sup>(1)</sup>	<b>14.458</b>	<b>14.557</b>	<i>(945 VR)</i> <sup>(2)</sup>	<b>15.215</b>	<i>(Basis)</i> <sup>(3)</sup>
SiO <sub>2</sub>	61,96	<i>61,24</i>	62,76	56,96	<i>57,03</i>	61,99	63,52	<i>62,07</i>	61,48	<i>62,46</i>
TiO <sub>2</sub>	0,44	<i>0,36</i>	0,45	0,60	<i>0,60</i>	0,44	0,38	<i>0,40</i>	0,45	<i>0,46</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,44	<i>18,88</i>	18,96	18,57	<i>18,78</i>	18,61	18,42	<i>18,43</i>	18,70	<i>18,10</i>
FeO <sup>t</sup>	2,88	<i>3,26</i>	2,90	5,34	<i>5,53</i>	2,87	2,11	<i>2,86</i>	3,36	<i>3,03</i>
MnO	0,15	<i>0,12</i>	0,14	0,14	<i>0,14</i>	0,13	0,26	<i>0,11</i>	0,09	<i>0,15</i>
MgO	0,44	<i>0,61</i>	0,50	1,63	<i>1,58</i>	0,46	0,36	<i>0,40</i>	0,67	<i>0,47</i>
CaO	2,19	<i>2,54</i>	2,41	4,85	<i>4,74</i>	2,29	1,95	<i>2,82</i>	2,61	<i>2,19</i>
Na <sub>2</sub> O	4,93	<i>4,21</i>	4,22	3,51	<i>3,43</i>	4,64	4,75	<i>4,84</i>	4,17	<i>4,50</i>
K <sub>2</sub> O	8,53	<i>8,64</i>	7,59	8,03	<i>7,81</i>	8,50	8,19	<i>7,99</i>	8,33	<i>8,59</i>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	<i>0,13</i>	0,08	0,36	<i>0,35</i>	0,07	0,04	<i>0,09</i>	0,15	<i>0,06</i>
Summe	100,00	<i>100,00</i>	100,00	100,00	<i>100,00</i>	100,00	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>
$d_{(A,B)}$		<i>0,89</i>	<i>0,93</i>		<i>0,98</i>			<i>0,90 - 0,93</i>		<i>0,91</i>

Die Förderung des „**Campanischen Ignimbrites**“ (CI; 37,1 ka BP, Deino *et al.*, 1992, 1994) zählt zu den bedeutendsten Eruptionen des mediterranen Raumes innerhalb der letzten 200.000 Jahren (Barberi *et al.*, 1978b). Die im proximalen Ablagerungsraum mächtigen Pyroklastika des CI können in mindestens vier Einheiten gegliedert werden (Rosi & Sbrana, 1987): (1) eine basale plinianische Bims-Fallablagerung, (2) eine dünne, teilverschweißte Aschenlage, (3) die hochverschweißten, grauen Ignimbrite der Piperno-Tuffe (GCI) und (4) die jüngere Bimsstrom-Abfolge der Breccia Museo. Die distale Fazies des Campanischen Ignimbrites ist über 1600 km weit nach Osten verbreitet und in den marinen Tiefseesedimenten des östlichen Mittelmeeres als „**Y-5**“-Tephra nachgewiesen worden (Keller *et al.*, 1978). Diese aus einer bimodalen Korngrößenfraktion bestehende Tephra wird als eine kombinierte Fallablagerung aus einer plinianischen und begleitenden co-ignimbritischen Eruptionswolke interpretiert (Cornell *et al.*, 1983) und entspricht den Einheiten (1) und (3) aus dem proximalen Bereich. Im

Monticchio-Profil sind die distalen Ablagerungen des Campanischen Ignimbrites (LGM-Alter: 32.970 Jahre BP) mit enormen Mächtigkeiten zwischen 18,1 cm (Kern LGM-D) und 25,7 cm (Kern LGM-J) vertreten. Die Einheiten (1) und (3) liegen hier nicht, wie in der marinen „Y-5“-Tephra, als Mischfraktion vor, sondern sind erstmalig als diskrete Ablagerungen erkennbar. Auseinander gehalten werden können eine basale, grobkörnige graubeige Bims-Fallablagerung mit variablen Phänokristall- und Lithoklastenanteilen sowie eine hellgraue Glasasche, die mit Korngrößen  $<200 \mu\text{m}$  als co-ignimbritische Einheit angesehen werden kann (GCI). Im Sedimentprofil LGM-J sind zudem zusätzlich die von Rosi *et al.* (1999) beschriebenen Untereinheiten V1 bis V7 der basalen Fallablagerung „LFU“ und „UFU“ identifizierbar (Abb.4.7).



**Abb. 4.7:** Stratigraphie und Zusammensetzung der Sub-Einheiten der plinianischen Bims-Fallablagerungen des Campanischen Ignimbrites im Sedimentkern LGM-J des Lago Grande di Monticchio; Einteilungen und Bezeichnungen in Anlehnung an Rosi *et al.* (1999).

Die Gesamtmächtigkeit der plinianischen Bims-Fallablagerung (LFU, UFU) variiert zwischen 12,5 cm im Kern LGM-B und 17,1 cm im Kern LGM-J. Mit maximalen Korngrößen von 7 mm(!) kann diese Tephra als die mit Abstand grobkörnigste Tephra im Monticchio-Sedimentprofil angesehen werden. Die chemische Zusammensetzung der basalen Abfolge des Campanischen Ignimbrites ist vorwiegend homogen trachytisch mit  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnissen von etwa 1:1 bis untergeordnet 2:1 (Tab.4.6). Die farblosen bis braunen vulkanischen Gläser liegen überwiegend als elongierte oder flammenartige,

hochporöse Bimse vor, die zum Hangenden hin durch Bimsbruchstücke („glass shards“) ersetzt werden (Tafel A20, A21, B20, B21). Typisch für den Topbereich der unteren Fallablagerung (LFU) sind durch Mikrolithe (Fe-Ti-Oxide) schwarz gefärbte Bimse. Der Phänokristallbestand setzt sich im wesentlichen aus den Mineralen Kalifeldspat (Sanidin), Klinopyroxen (Augit), Plagioklas und Biotit zusammen; Mineraleinschlüsse in Gläsern sind eher selten. Der Lithoklastenbestand, der eine große Diversität aus intermediären und basischen Vulkaniten sowie pyroklastischen und sedimentären Gesteinen aufweist, nimmt tendenziell zum Hangenden der oberen Fallablagerung (UFU) zu.

Die überlagernde co-ignimbrische Einheit des „Grauen Campanischen Ignimbrites“ (GCI; Abb.4.7) ist wesentlich geringmächtiger (3 cm bis 9,6 cm) und feinkörniger ausgebildet. Die trachytische GCI-Einheit besteht fast ausschließlich aus farblosen bis hellbraunen „glass shards“, die eine mittlere Korngröße von 50 µm aufweisen. Phänokristalle und Lithoklasten machen nur einen geringen Bestandteil aus. Markant ist außerdem ein chaotisches Fließgefüge (Kern LGM-J), in dem bis zu 0,2 mm große porphyrische Bimse eingeschlossen sind.

**Tab. 4.6:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Tephren mit proximalen und distalen\* Tephra-Äquivalenten der „Campanischen Ignimbrit Serie“ (Phlegräische Felder; kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; BM = Breccia Museo; CI = Campanischer Ignimbrit; Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Rosi & Sbrana (1987); <sup>(2)</sup> RFA-Daten, Keller *et al.* (1978); <sup>(3)</sup> SEM-EDS-Daten, Paterne *et al.* (1988); <sup>(4)</sup> RFA-Daten, Signorelli *et al.* (1999); <sup>(5)</sup> ICP-Daten, Civetta *et al.* (1997); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM	<i>BM</i> <sup>(1)</sup>	<i>Y-3*</i>	<i>C-7*</i>	LGM	<i>C-9*</i>	LGM	<i>LFU</i>	<i>C-13*</i>	LGM	<i>CI</i> <sup>(4)</sup>	<i>C-13*</i>
	<b>23.930</b>	<i>(CFA-2309)</i>	<sup>(2)</sup>	<sup>(3)</sup>	<b>31.939</b>	<sup>(3)</sup>	<b>32.970a</b>	<i>(Vos1)</i> <sup>(5)</sup>	<i>(a)</i> <sup>(3)</sup>	<b>32.970b</b>	<i>(OF592b2p)</i>	<i>(b)</i> <sup>(3)</sup>
SiO <sub>2</sub>	62,54	<i>62,09</i>	<i>62,49</i>	<i>61,86</i>	65,17	<i>65,81</i>	62,36	<i>61,82</i>	<i>62,41</i>	60,34	<i>60,09</i>	<i>61,72</i>
TiO <sub>2</sub>	0,38	<i>0,41</i>	<i>0,43</i>	<i>0,33</i>	0,39	<i>0,22</i>	0,43	<i>0,48</i>	<i>0,35</i>	0,44	<i>0,42</i>	<i>0,31</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,46	<i>18,25</i>	<i>18,46</i>	<i>19,18</i>	17,81	<i>18,11</i>	19,35	<i>19,44</i>	<i>19,37</i>	19,20	<i>18,55</i>	<i>19,22</i>
FeO <sup>t</sup>	3,28	<i>3,13</i>	<i>3,24</i>	<i>2,77</i>	2,27	<i>1,89</i>	2,95	<i>3,53</i>	<i>2,66</i>	3,22	<i>3,67</i>	<i>2,83</i>
MnO	0,13	<i>0,15</i>	<i>0,11</i>	<i>0,00</i>	0,13	<i>0,00</i>	0,24	<i>0,26</i>	<i>0,00</i>	0,17	<i>0,16</i>	<i>0,00</i>
MgO	0,61	<i>0,52</i>	<i>0,93</i>	<i>0,21</i>	0,26	<i>0,03</i>	0,35	<i>0,34</i>	<i>0,08</i>	0,52	<i>0,82</i>	<i>0,33</i>
CaO	2,20	<i>2,21</i>	<i>2,70</i>	<i>3,04</i>	2,59	<i>2,53</i>	1,76	<i>2,09</i>	<i>1,76</i>	2,32	<i>2,87</i>	<i>2,51</i>
Na <sub>2</sub> O	3,87	<i>4,88</i>	<i>4,15</i>	<i>3,68</i>	3,47	<i>3,66</i>	5,57	<i>5,28</i>	<i>5,94</i>	4,92	<i>4,90</i>	<i>3,55</i>
K <sub>2</sub> O	8,40	<i>8,27</i>	<i>7,49</i>	<i>8,93</i>	7,88	<i>7,75</i>	6,93	<i>6,75</i>	<i>7,44</i>	8,78	<i>8,36</i>	<i>9,53</i>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	<i>0,08</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	0,03	<i>0,00</i>	0,04	<i>0,01</i>	<i>0,00</i>	0,09	<i>0,16</i>	<i>0,00</i>
Summe	100,00	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	100,00	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>
$d_{(A,B)}$		<i>0,94</i>	<i>0,90</i>	<i>0,90</i>		<i>0,95</i>		<i>0,93</i>	<i>0,94</i>		<i>0,90</i>	<i>0,88</i>

Neben den aus der distalen Fazies bekannten plinianischen und co-ignimbrischen Fallablagerungen zeigen zwei weitere markante Tephralagen aus dem Monticchio-Profil petrologische Ähnlichkeiten mit der CI-Formation. Zur Korrelation dieser Lagen können u.a. Tiefsee-Aschen aus dem Tyrrhenischen Meer hinzugezogen werden, die von Paterne *et al.* (1988) zur „Campanischen Ignimbrit-Serie“ gestellt wurden. Dazu gehören zum einen die „C-7“-Tephra (26.9 ka BP,  $\delta^{18}\text{O}$ -Alter, Paterne *et al.*, 1988), die geochemisch mit der 28,6 cm mächtigen Tephralage LGM-23.930 im Monticchio-Profil übereinstimmt (Tab.4.6, Tafel A13, B13, B14, B15, B16). Narcisi (1996) korrelierte LGM-23.930 mit den proximalen Fallablagerungen der „Sarno“-Eruption des Vesuvs. Die „Sarno“-Eruption

wird jedoch als Synonym für die „Pomici di Base“-Eruption des Vesuvs angesehen (Prof. R. Cioni, mündl. Mitteilung, 1999; s.a. Kapitel 4.3.1) und kann damit als Korrelationsäquivalent vorerst ausgeschlossen werden. Eine weitaus bessere, sowohl geochemische (Keller & Kraml, mündl. Mitteilung 1999) als auch zeitliche Übereinstimmung dieser markanten Lage besteht mit der aus dem Ionischen Meer bekannten „Y-3“-Tephra (24,8 ka BP; Kraml, 1997), die bisher keiner proximalen pyroklastischen Einheit zugeordnet werden konnte. Gewisse petrologische Ähnlichkeiten der Tephren „Y-3“, „C-7“ und LGM-23.930 bestehen mit der Bimsstromabfolge der „**Breccia Museo**“ (BM; 21,3 ka BP uncal., Lirer *et al.*, 1991; Tab.4.6), der jüngsten proximalen Fazies des Campanischen Ignimbrites (Einheit 4), von der aber weder aus dem proximalen noch distalen Bereich Fallablagerungen bekannt sind.

Die zweite trachytische Bimsasche (LGM-31.393), die Affinitäten zur „Campanischen Ignimbrit-Serie“ zeigt, konnte der marinen „C-9“-Tephra (36,6 ka; Paterne *et al.*, 1988) zugeordnet werden. Die Korrelation dieser relativ feinkörnigen, 27 mm mächtigen Tephralage beruht auf einer geochemischen Übereinstimmung in den ungewöhnlich hohen SiO<sub>2</sub>-Gehalten von > 65 Gew.% (Tab.4.6).

### Periode III : > 33 ka BP

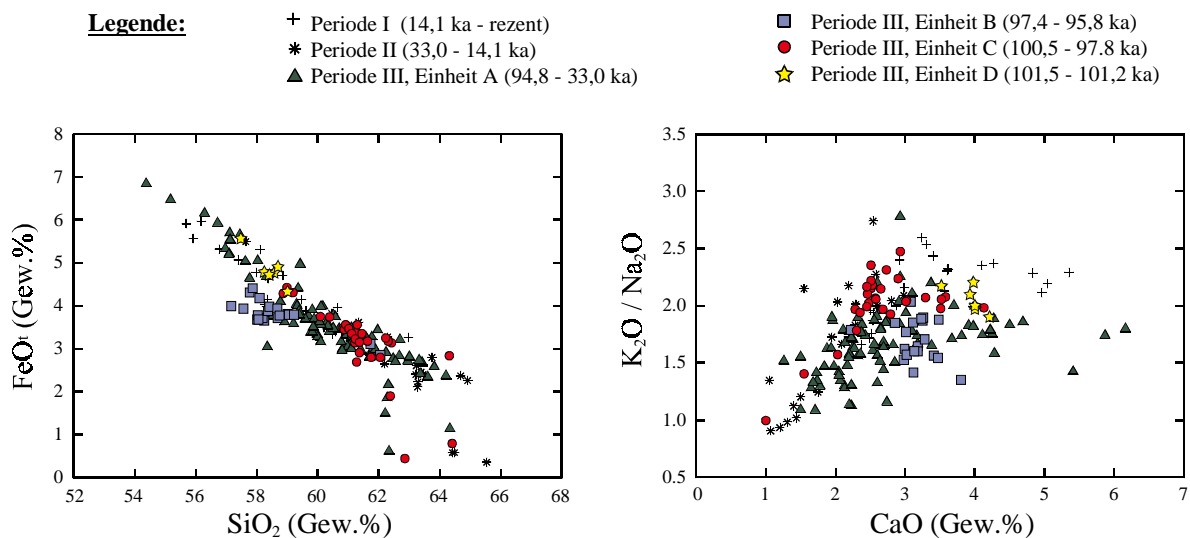
Die weitaus größte Anzahl von Tephralagen aus dem Monticchio-Profil, die mit den Phlegräischen Feldern korreliert werden können, befindet sich im älteren Profilabschnitt zwischen 33 ka und 101 ka. Die meisten dieser z.T. sehr markanten Aschenlagen lassen sich Teil nicht direkt mit diskreten vulkanischen Ereignissen korrelieren, da die stratigraphischen Kenntnisse für diesen Zeitabschnitt bislang unzureichend sind. Basierend auf den typischen CF-Phänokristallbeständen (kf, plg, cpx, bi, ap) und geochemischen Charakteristika (Abb.4.8, Anhang B, C) können im Monticchio-Profil vier übergeordnete Einheiten unterschieden werden:

### Einheit A: 94.790 - 33.560 Jahre BP

Einheit A besteht aus einer Wechselfolge aus weißbeigen, bimodal zusammengesetzten (Trachyte-Phonolithe, Tephriphonolithe-Latite) und beige-violetten trachytischen Tephren (Tab.4.7, Tafel B33, B34), wobei der Anteil der helleren Tephren zum Jüngeren hin zunimmt. Ein genereller Trend im Chemismus der Gläser ist die Abnahme der CaO-Gehalte sowie der K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-Verhältnisse (1,5-1), so daß Tephren aus dem Zeitbereich zwischen 60 ka und 33 ka kaum noch von den peralkalischen Trachyten der Ischia-Vulkanite zu unterscheiden sind. Zu einer eindeutigen Abgrenzung könnten hier eventuell Sr-Isotopenanalysen oder detaillierte gesteinsmagnetische Untersuchungen beitragen. Mehrere, relativ mächtige Tephralagen sind in Einheit A dokumentiert. Dazu gehören die braun-violetten Tephra-Einheiten mit den LGM-Altern von 94.280 bis 94.276 Jahre BP (6,2cm) und 89.841 bis 89.814 Jahre BP (3,5 cm), sowie zwei weiße Tephralagen mit LGM-Altern von 87.267 Jahren BP (3 cm) und 75.611 Jahren BP (2 cm). Jüngere Tephralagen, wie z.B. LGM-56.432 und LGM-49.726 zeigen wiederum geochemische Ähnlichkeiten mit den proximal erbohrten Pyroklastika „TLc“ und „TLf“ (58-45,6 ka BP; Pappalardo *et al.*, 1999; Tab.4.7).

Einheit B: 97.408 - 95.850 Jahre BP

Dominierend sind braun-violette Bimsaschen, die im älteren Basisabschnitt als Trachyte anzusprechen sind, zum Jüngeren hin jedoch zunehmend eine phonolithische bis latitische Zusammensetzung aufweisen. Diese angedeutete Differentiation im Chemismus der Tephren macht sich ebenfalls in den abnehmenden  $K_2O/Na_2O$ -Verhältnissen (2-1,4) bemerkbar (Abb.4.8). Markant sind farblose, braune und schwarze Gläser (Tafel B35), deren gesteinsmagnetischen Merkmale mit den CF-Tephren aus Periode I (z.B. Pomici Principali) vergleichbar sind (U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000). Im Kristallbestand treten neben den üblichen CF-Mineralen zusätzlich Nephelin und Leuzit auf. Als mächtigste Tephra (15,9 cm) fällt die aus mehreren diskreten Lagen bestehende Einheit LGM-95.867 bis LGM-95.850 auf.



**Abb. 4.8:** Chemische Entwicklung der CF-Tephren aus dem Monticchio-Profil für den Zeitraum der letzten 101.500 Jahre.

Einheit C: 100.523 - 97.769 Jahre BP

Graubeige, nahezu reine Glasaschen bilden die Basis dieser zum Teil aus sehr mächtigen Tephralagen bestehenden Einheit. Es handelt sich meist um K-betonte Trachyte, die sich von Einheit D durch höhere  $SiO_2$ -Gehalte (60 - 64 Gew.%) und niedrigere FeO-Gehalte (2,8 - 3,7 Gew.%) abgrenzen. Untergeordnet ist ein bimodaler Chemismus der vulkanischen Gläser zu erkennen, der sich aber nur durch variierende  $SiO_2$ - und FeO-Gehalte auszeichnet. Die hellen Glasaschen werden zum Hangenden hin durch graubraune Bimsaschen abgelöst, die sich kaum von denen aus Einheit B unterscheiden. Einheit C schließt die mächtigen Tephren MT-10 (LGM-Alter: 97.774 bis 97.769 Jahre BP) und MT-11 (LGM-Alter: 98.753 bis 98.734 Jahre BP) ein, auf die noch im Detail eingegangen wird.

Einheit D: 101.466 - 101.204 Jahre BP

Diese geringmächtigen graubraunen bis rosafarbenen Tephren sind trachytisch bis latitisch (K-betont) in ihrer Zusammensetzung und heben sich durch ihre Gehalte in  $SiO_2$  (57,5 - 59 Gew.%), FeO (4,3 - 5,5 Gew.%) und CaO (3,5 - 4,2 Gew.%) von den über-

lagernden Einheiten ab. Dominierend sind farblose und braune Gläser sowie ein für CF-Tephren üblicher Phänokristallbestand aus Klinopyroxen, Biotit, Plagioklas und Sanidin. Leuzit und Apatit kommen als Einschlüsse in den vulkanischen Gläsern eher untergeordnet vor.

Die in Einheit C dokumentierten Tephren MT-10 und MT-11 (LGM-Alter: 97.774 - 97.769 Jahre BP und 98.753 - 98.734 Jahre BP) bilden mit Gesamtmächtigkeiten von 9,8 cm bzw. >19,3 cm die markantesten pyroklastischen Einheiten des gesamten älteren Abschnittes des Monticchio-Profiles. Trotz der Unterschiede in der Komponentenzusammensetzung zeigen beide Aschen geochemische Übereinstimmungen sowohl in der Zusammensetzung der Hauptelemente (Tab.4.7) als auch in den hohen Barium-Gehalten (J. Keller, mündl. Mitteilung 1998). Die graubraune MT-10 ist aufgrund ihrer Grobkörnigkeit als Bims-Fallablagerung anzusprechen und zeichnet sich durch einen hohen Anteil an dunklen Gläsern, Phänokristallen und Lithoklasten aus (Tafel A29, B36). Die im Vergleich dazu helle, extrem feinkörnige, nahezu reine Glasasche MT-11 ist als vorangehende co-ignimbrische Ablagerung zu deuten (Tafel A30). Mächtige pyroklastische Einheiten dieser Art und vergleichbaren Alters sind bislang noch nicht aus den proximalen Ablagerungsräumen bekannt. Aus dem distalen Bereich (Ionisches Meer) bieten sich als Korrelationsmöglichkeiten wiederum die markanten marinen Tephren „X-5“ ( $105 \pm 2$  ka; Kraml, 1997) und „X-6“ („Palinuro“; ca. 107 ka, Kraml, 1997) an. Eine Zuordnung zu wenigstens einer dieser präzise datierten Tephren ist für die Tephrochronologie des Monticchio-Profiles von großer Bedeutung, da sowohl MT-10 als auch MT-11 die einzigen in Frage kommenden unabhängigen Zeitmarker im Basisbereich des Profils darstellen.

Die in den Haupt- und Spurenelementen vergleichbaren chemischen Zusammensetzungen der Aschen MT-10 und MT-11 sprechen für eine Korrelation mit der marinen „X-5“-Tephra (Tab.4.7). Besonders MT-10 zeigt mit ihrer proportional zur „X-5“ stehenden Mächtigkeit und Grobkörnigkeit die besten Übereinstimmungen. MT-11 könnte demnach als co-ignimbrische Begleitablagerung der „X-5“-Eruption interpretiert werden, die entweder als diskrete Aschenlage in den marinen Sedimenten fehlt oder, ähnlich wie beim Campanischen Ignimbricit, als feinkörnige Fraktion innerhalb der „X-5“-Tephra zu suchen ist. Als alleinstehendes Argument gegen eine Korrelation der Tephren MT-10 und MT-11 mit der marinen „X-5“-Asche sprechen bislang nur die unterschiedlichen stratigraphischen Stellungen der Tephren innerhalb der einzelnen Sedimentprofile. Sowohl MT-10 als auch MT-11 liegen pollenanalytischen Daten zufolge (Allen *et al.*, 1999) im Übergangsbereich der marinen Sauerstoffisotopenstadien 5.2 und 5.3. Die „X-5“-Tephra in den Sedimentkernen des Ionischen Meeres befindet sich dagegen stratigraphisch unter dem Sapropel S4 im Grenzbereich der marinen Isotopenstadien 5.3 und 5.4 (Kraml, 1997). Inwieweit jedoch die palynologischen und sedimentologischen Proxydaten des terrestrischen Profils mit den marinen Sauerstoffisotopen-Daten in diesem Zeitabschnitt vergleichbar sind, ist derzeit noch ungeklärt (A. Brauer, pers. mündl. Mitteilung 2000).

Die in den marinen Kernen äußerst mächtige und grobkörnige „X-6“-Tephra zeigt mit ihrem ausgeprägten bimodalen peralkalisch-trachytischen Chemismus (Morche, 1988;

Tab.4.7) dagegen keinerlei Ähnlichkeiten mit einer der markanteren Aschenlagen aus dem Monticchio-Profil. Mit der vermuteten Herkunft der „X-6“-Tephra aus der Campanischen Vulkanprovinz sollte hier eine entsprechend markante Fallablagerung im Monticchio-Profil dokumentiert sein. Da der zeitliche Abstand zwischen „X-5“ und „X-6“ in den marinen Sedimentkernen etwa 2 – 4 ka beträgt (Kraml, 1997), kann man im Monticchio-Profil von einem LGM-Alter von ca. 102 – 103 ka für die „X-6“ ausgehen. Dies bedeutet, daß diese Tephra bislang nicht erbohrt wurde.

**Tab. 4.7:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen und distalen\* Tephra-Äquivalenten der Phlegräischen Felder (kursiv) aus der Prä-CI-Phase (>37.000 Jahre BP); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> ICP-AES-Daten, Pappalardo *et al.*, (1999); Tlf, TLc = Bezeichnung pyroklastischer Einheiten aus der Trefola-Bohrung, Phlegräische Felder; <sup>(2)</sup> unveröffentl. SEM-EDS-Daten, Morche (1988); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 49.726	<i>Tlf</i> <i>(9601 F1)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 56.432	<i>TLc Top</i> <i>(9601 C24)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 97.769	LGM 98.734	<i>X-5*</i> <sup>(2)</sup>	<i>X-6*</i> <i>(a)</i> <sup>(2)</sup>	<i>X-6*</i> <i>(b)</i> <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	60,36	59,71	58,99	58,48	60,63	61,22	61,67	62,54	62,85
TiO <sub>2</sub>	0,43	0,41	0,42	0,42	0,40	0,39	0,36	0,40	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,43	19,83	19,87	20,03	18,78	18,95	18,78	18,41	18,45
FeO <sup>t</sup>	3,36	3,60	3,92	3,89	3,76	3,14	3,46	3,08	2,94
MnO	0,23	0,21	0,29	0,27	0,16	0,15	0,00	0,15	0,03
MgO	0,41	0,41	0,35	0,36	0,75	0,57	0,07	0,00	0,00
CaO	2,15	2,04	2,22	2,06	2,80	2,46	2,72	1,77	2,07
Na <sub>2</sub> O	5,90	5,99	6,51	7,23	4,30	4,07	3,96	7,19	5,76
K <sub>2</sub> O	7,66	7,72	7,37	7,18	8,28	8,56	8,97	6,45	7,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,06	0,05	0,07	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,97		0,97			0,95		

### 4.3.3 Prócida-Vivara

Die vulkanische Doppelinsel Prócida-Vivara förderte während der letzten 40 ka eine Reihe von Pyroklastika, die z.T. petrologische Ähnlichkeiten mit denen der Phlegräischen Felder aufweisen. Dieser eher niedrigenergetische explosive Vulkanismus spiegelt sich auch im tephrochronologischen Profil des Lago Grande di Monticchio wider.

Probe	LGM 20.149	<i>Solchiaro</i> <i>terr.</i> <sup>(1)</sup>	<i>C-4*</i> <sup>(1)</sup>
SiO <sub>2</sub>	53,09	52,90	52,74
TiO <sub>2</sub>	1,63	1,64	1,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,32	19,07	18,59
FeO <sup>t</sup>	8,55	7,51	7,13
MnO	0,15	0,00	0,00
MgO	3,08	3,02	4,44
CaO	6,97	7,01	8,25
Na <sub>2</sub> O	4,16	4,52	4,30
K <sub>2</sub> O	4,45	4,34	3,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,60	0,00	0,00
Summe	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,96	0,86

**Tab. 4.8:** Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler und distaler\* Tephra-Äquivalente der Doppelinsel Prócida-Vivara (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> SEM-EDS-Daten, Paterne *et al.* (1986).

So können nur insgesamt vier geringmächtige (1 - 2 mm) Tephra-lagen mit den Aktivitäten von Prócida-Vivara in Verbindung gebracht werden. Dazu zählt zum einen die „Solchiaro“-Eruption von Prócida (19,6 ka BP uncal., Alessio *et al.*, 1976), die mit



zwei diskreten dunkelbraunen Aschen mit LGM-Altern von 20.149 und 20.229 Jahren BP im Monticchio-Profil vertreten ist. Diese Tephralagen führen Phänokristalle wie Sanidin, Plagioklas, Klinopyroxen und Biotit. Charakteristisch ist zudem ein bimodaler Chemismus der grünbräunlichen Gläser, der von basaltisch-trachyandesitisch bis trachytisch reicht (Tab.4.8). Die distale Fazies der „Solchiaro“-Eruption ist bislang nur als „C-4“-Tephra aus den Tiefsee-Sedimenten des Tyrrhenischen Meeres bekannt (Paterne *et al.*, 1986), womit der Ablagerung im östlich gelegenen Lago Grande di Monticchio eine besondere Bedeutung zukommt.

Zwei weitere dunkle Aschenlagen aus dem Monticchio-Profil fallen durch ihre latitische (trachyandesitische) Zusammensetzung auf, wie sie eher untypisch für die Phlegräischen Felder ist, und werden daher vorerst mit dem Vulkanismus von Prócida-Vivara in Verbindung gebracht (Tafel A22). Die Ablagerung dieser Tephren mit LGM-Altern von 36.367 und 43.509 Jahren BP fällt zeitlich mit dem **Aktivitätsbeginn** des Vivara-Vulkanzentrums (ca. 40 ka BP; Scandone *et al.*, 1991) zusammen, der u.a. durch die Förderung von trachybasaltischen bis trachytischen Pyroklastika gekennzeichnet ist (Rosi *et al.*, 1988b).

### 4.3.4 Ischia

Mindestens 54 Tephralagen aus dem Monticchio-Profil können mit explosiven Eruptionen der Insel Ischia korreliert werden. Dabei handelt es sich um homogene peralkaline Trachyte bis Phonolithe, die anhand der relativ hohen SiO<sub>2</sub>-Gehalte (> 60 Gew.%), der niedrigen CaO- (1-2 Gew.%), FeO-Gehalte (< 3 Gew.%) und K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-Verhältnissen von ca. 1:1 relativ leicht von den Tephren der Phlegräischen Felder, Vesuv und Prócida-Vivara abzugrenzen sind (Abb.4.6). Die Phänokristallbestände zeigen in der Regel eine monotone Zusammensetzung aus Sanidinen, Plagioklasen, Biotiten sowie untergeordnet Klinopyroxenen (blaßgrüne Augite) und Apatiten. Leuzite kommen weder als Phänokristalle noch als Mikroeinschlüsse in Gläsern vor. Die häufig vorhandenen Lithoklasten setzen sich, ähnlich wie in den Tephren der Phlegräischen Felder, aus älterem vulkanischen Material zusammen. Aufgrund der relativ einheitlichen Hauptelement-Chemismen der Ischia-Tephren richten sich die Korrelationen mit proximalen terrestrischen Äquivalenten hauptsächlich nach den stratigraphischen und zeitlichen Stellungen der Tephren. In Anlehnung an Vezzoli (1988) können hier vier Hauptaktivitätsphasen der Vulkaninsel auseinandergehalten werden.

#### Phase I: 7 ka BP – rezent

Die jüngste Ischia-Tephra ist mit einem LGM-Alter von 3042 Jahren BP identifiziert worden. Diese disperse, fast unscheinbare Asche zeigt zum einen chemische Ähnlichkeiten mit der historischen „Cretaio“-Eruption (2,0 – 1,8 ka BP uncal., Orsi *et al.*, 1992; Tab.4.9), könnte aber zum anderen auch aufgrund ihrer zeitlichen Stellung der „Cannavale“-Eruption (2,8 ka BP uncal., Orsi *et al.*, 1996b) zugeordnet werden. Beide Ausbrüche bildeten besonders im Ostteil der Insel Ischia bedeutende Fallablagerungen. Drei dicht aufeinander folgende, dünne Tephרבänder markieren mit LGM-Altern von 6581, 6588 und 6592 Jahren BP die nächstältere, von Ischia stammende pyroklastische

Einheit im Sedimentprofil von Monticchio. Die weißen trachytischen Aschen sind besonders reich an Feldspat-Kristallen, wohingegen Lithoklasten vollkommen fehlen. Tephren mit ähnlicher Zusammensetzung sind z.B. von der „**Piano Liguori-Formation**“ (4,8 ka BP uncal., Orsi *et al.*, 1996b) bekannt (Tab.4.9). Eine weitere, ebenfalls geringmächtige Kristall-Asche (LGM-Alter: 7151 Jahre BP) kann mit den protohistorischen Aktivitäten des „**Cantariello**“-Vulkanzentrums (K/Ar: ca. 7,2 – 5,6 ka BP, Poli *et al.*, 1987) korreliert werden. Ein Unterschied zu den zeitlich naheliegenden „Piano Liguori“-Tephren besteht lediglich in dem zusätzlichen Auftreten von vulkanitischen Lithoklasten.

**Tab. 4.9:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten jüngerer Eruptionen der Phasen 1 und 2 von Ischia (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Orsi *et al.* (1992); <sup>(2)</sup> RFA-Daten, Poli *et al.* (1987); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 3042	<i>Cretatio</i> <i>(OIS200C2)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 6588	<i>Piano Liguori</i> <i>(139)</i> <sup>(2)</sup>	LGM 15.822	<i>Faro di Punta</i> <i>Imperatore (134)</i> <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	62,75	62,07	64,20	64,94	63,00	63,82
TiO <sub>2</sub>	0,61	0,62	0,71	0,38	0,49	0,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,07	18,88	19,14	18,37	19,12	18,88
FeO <sup>t</sup>	2,71	3,01	2,78	2,25	2,85	2,52
MnO	0,15	0,15	0,20	0,00	0,32	0,21
MgO	0,43	0,51	0,46	0,20	0,27	0,29
CaO	1,33	1,54	1,36	1,41	1,02	0,87
Na <sub>2</sub> O	6,38	6,23	5,14	5,93	7,12	6,83
K <sub>2</sub> O	6,52	6,94	5,91	6,52	5,77	6,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,06	0,09	0,00	0,03	0,00
<b>Summe</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,94		0,86		0,92

#### Phase II: 20 ka BP – 11 ka

Die zweite Phase wird durch eine charakteristische Dreilagen-Tephra eingeleitet. Mit LGM-Altern von 11.501, 11.516 und 11.522 Jahren BP können diese hellbraunen, trachytischen Glasaschen den Aktivitäten des „**Selva del Napolitano**“-Vulkanzentrums (K/Ar: ca. 10,4 ka BP, Poli *et al.*, 1987) zugeordnet werden, die nicht nur durch die Förderung von Lava-Domen, sondern auch durch damit assoziierte Bimsfallablagerungen gekennzeichnet waren. Die für Phase 2 markanteste pyroklastische Einheit wird von der 12 mm mächtigen, weißen Bimsasche mit dem LGM-Alter von 15.822 Jahren BP gebildet (Tafel B12). Zeitlich betrachtet kommen für eine Förderung dieser Fallprodukte prinzipiell zwei Vulkanzentren auf Ischia in Frage: zum einen das „Campotese“-Vulkanzentrum, das mit der untergeordneten Förderung von Pyroklastika die letzten vulkanischen Aktivitäten im Südwestteil der Insel repräsentierte, und zum anderen ein bisher unbekanntes Vulkanzentrum im Süden der Insel, das die mächtige „Faro di Punta Imperatore“-Formation (K/Ar: ca. 17,8 – 20,6 ka BP, Poli *et al.*, 1987) hervorbrachte. Obwohl letztere Einheit vorwiegend durch pyroklastische Stromablagerungen gekennzeichnet ist, stehen die Geochemiedaten der zugehörigen Bimse im besseren Einklang mit der LGM-15.822-Tephra als die der geringmächtigen „Campotese“-

Fallablagerungen (Tab.4.9). Eine Korrelation mit der „Faro di Punta Imperatore“-Formation wird daher bevorzugt.

### Phase III: 70 ka – 33 ka BP

Dieser Zeitabschnitt ist durch die Förderung und Ablagerung mächtiger pyroklastischer Einheiten gekennzeichnet. So können zunächst mindestens 17 trachytische Tephralagen mit den „Citara“-Tuffen (K/Ar: ca. 33,0 – 48,0 ka BP, Poli *et al.*, 1987) korreliert werden (Tafel A23, B22, B23, B25). Elf weitere Aschenlagen zeigen in diesem Zeitabschnitt ähnliche geochemische Merkmale, die aber auch typisch für die aus diesem Zeitabschnitt bekannten Pyroklastika der Phlegräischen Felder sind (Tafel B24, B26). Eine Unterscheidung und Zuordnung dieser Tephren ist auch anhand der Ergebnisse gesteinsmagnetischer Messungen nicht möglich (U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000). Generell handelt es sich bei den „Citara“-Tuffen um weiß-beige bis graue Fallablagerungen, deren chemisch-mineralogische Zusammensetzung sich kaum von den anderen Ischia-Tephren unterscheidet. Die LGM-Alter dieser Tephralagen reichen von 33.040 Jahren BP - der mit 5,6 cm mächtigsten Einheit - bis hin zu 46.559 Jahren BP (siehe Anhang B). Aufgrund der Vielzahl und Homogenität dieser Aschen ist es schwierig, nur anhand des Hauptelementchemismus konkrete Korrelationen mit diskreten Einheiten der „Citara“-Formation vorzunehmen.

Die mächtigsten pyroklastischen Ablagerungen in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio stellen die Einheit der „Grünen Monte Epomeo Tuffe“, der sogenannten „Tufo Verde Epomeo“ (TVE), dar. Diese Formation kann in Anlehnung an Vezzoli (1988) in drei Untereinheiten gegliedert werden:

- (1) Einheit 68, von Paterne als „Barano“-Tuffe bezeichnet, wird im proximalen Bereich durch unverschweißte, weiß-gelbliche Asche- und Bims-Stromablagerungen, sowie basale plinianische Fallablagerungen gebildet. K/Ar-Datierungen an Sanidinen ergeben Alter von  $49,0 \pm 1,1$  ka bis  $55,8 \pm 1,8$  ka BP (Poli *et al.*, 1987).
- (2) Einheit 66 besteht aus verschweißten, grünen Ignimbrit-Ablagerungen, die besonders mit Bimsen, Xenolithen, Biotit- und Feldspat-Kristallen angereichert sind. Rosi *et al.* (1988a) bezeichnen diese Einheit als „Tufo Verde Epomeo *sensu strictu*“ (TVEss). Die an Sanidinen ermittelten K/Ar-Alter liegen hier zwischen  $51,5 \pm 2,6$  ka BP und  $56,7 \pm 2,5$  ka BP (Poli *et al.*, 1987). Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen an Sanidinen ergaben sowohl von Watts *et al.* (1996a) als auch von Kraml (1997) ein unabhängiges Alter von  $55 \pm 2$  ka BP.
- (3) Einheit 67 zeigt eine Wechselfolge von gelblichen plinianischen Bimsfällen und ignimbritischen Stromablagerungen, die als „Unità di Monte San Angelo“ (UMSA) die basale Abfolge der „TVEss“-Einheit darstellt. Nach unpublizierten petrologischen Untersuchungsergebnissen von Keller führt die „UMSA“-Formation gelben Acmit und korreliert somit nicht nur aufgrund der übereinstimmenden Glaschemie exakt mit der marinen „Y-7“-Tephra. Kraml (1997) gelang es, das Alter der „UMSA“-Abfolge anhand von Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen an Sanidinen einer distalen UMSA-Einheit auf Stromboli auf  $56,0 \pm 4,0$  ka festzulegen.

Die drei Einheiten des „Tufo Verde Epomeo“ können auf geochemisch-mineralogischer Basis mit diskreten Tephren aus dem Monticchio-Profil korreliert (Tab.4.10) und exakt stratigraphisch und zeitlich eingestuft werden. Einheit 68 („**Barano**“) findet demnach Übereinstimmung mit einer beigen, 5 mm mächtigen Tephra mit einem LGM-Alter von 51.811 Jahren BP (Tab. 4.10, Tafel B27, B28). Einheit 66 („**TVEss**“) ist identisch mit der 33,2 cm mächtigen Tephralage LGM-56.252. Diese beige-grünliche, acmit-freie Asche wird aufgebaut durch eine 2 cm dicke, grobkörnige basale Bimsfallablagerung, die im Hangenden von der feinkörnigen ignimbritischen Fazies abgelöst wird (Tafel A24, B29, B30, B31). Einheit 67 („**UMSA**“) ist mit den vier Aschenlagen LGM-57.568, LGM-60.244, LGM-60.333 und LGM-60.667 vergleichbar (Tafel B32). Hierbei handelt es sich um beige-graue Tephren mit geringen Lagenmächtigkeiten (1,5 – 8 mm), von denen insbesondere die jüngste (LGM-57.568) den für die „UMSA“-Einheit charakteristischen Acmit-Bestand aufweist und somit als distales terrestrisches Äquivalent der marinen „**Y-7**“-Tephra interpretiert werden kann.

Im Liegenden der „Tufo Verde Epomeo“-Formation sind zwei weitere, jeweils 2 cm mächtige Aschenlagen dokumentiert, die mit Altern von 69.169 und 71.548 Jahren BP den Prä-Epomeo-Tuffen zugeordnet werden können. Als konkretes Korrelations-äquivalent bietet sich die „**Pignatiello**“-Formation an, eine bislang undatierte, im proximalen Bereich mächtige hellbraune Bimsfallablagerung, die stratigraphisch zwischen „UMSA“ (ca. 56 ka BP, (Kraml, 1997) und „Parata“-Formation (ca. 73,6 ka BP, Poli *et al.*, 1987) gelegen ist.

**Tab. 4.10:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen und distalen\* Tephra-Äquivalenten der Eruptionsphase 3 von Ischia (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Poli *et al.* (1987); <sup>(2)</sup> RFA-Daten, Keller *et al.* (1978); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 51.811	<i>Barano</i> <i>(108)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 55.000	LGM 56.252	<i>TVEss</i> <i>(114A)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 57.568	LGM 60.333	<i>Y-7*</i> <i>(UMSA)</i> <sup>(2)</sup>	LGM 69.139	LGM 71.548	<i>Pignatiello</i> <i>(107, Lava)</i> <sup>(1)</sup>
SiO <sub>2</sub>	63,08	63,32	62,97	63,10	63,42	62,83	63,22	62,63	62,52	61,54	61,97
TiO <sub>2</sub>	0,46	0,46	0,49	0,58	0,37	0,55	0,60	0,55	0,55	0,42	0,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,91	19,09	18,96	19,07	19,98	19,11	19,12	18,96	19,42	18,96	19,58
FeO <sup>†</sup>	2,65	2,65	2,69	2,67	1,90	2,67	2,65	2,76	2,80	3,13	2,92
MnO	0,17	0,15	0,16	0,28	0,09	0,24	0,25	0,20	0,31	0,23	0,15
MgO	0,42	0,68	0,46	0,35	0,59	0,37	0,34	0,44	0,29	0,40	0,54
CaO	1,65	1,64	1,57	1,16	1,18	1,20	1,14	1,16	1,04	1,93	1,33
Na <sub>2</sub> O	5,82	5,31	5,65	6,80	5,10	6,64	6,70	7,01	7,38	5,65	6,21
K <sub>2</sub> O	6,79	6,69	6,97	5,93	7,33	6,34	5,93	6,28	5,68	7,67	6,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,00	0,09	0,05	0,02	0,06	0,04	0,00	0,03	0,06	0,04
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,94			0,80 - 0,85			0,94 - 0,96			0,86 - 0,87

**Phase IV: 101 ka BP – 73 ka BP**

Nach Vezzoli (1988) dominiert in dieser Aktivitätsphase die Förderung von Laven und Herausbildung von Lava-Domen, die nur untergeordnet mit dünnen pyroklastischen Sequenzen in Form von Bimsfallablagerungen, Aschen und schwarzen, verschweißten Schlacken wechselgelagert sind. Anhand der zeitlichen Stellung der Tephralagen im Monticchio-Profil können vier dieser Sequenzen auseinandergehalten werden. Dabei handelt es sich vorwiegend um geringmächtige Ablagerungen.

Die jüngsten dieser Tephralagen mit LGM-Altern von 73.434 und 73.505 Jahren BP können mit der „**Parata**“-Formation (K/Ar: ca. 73,6 ka BP, Poli *et al.*, 1987) korreliert werden. Die liegende Tephralagenserie LGM-77.175, LGM-77.182, LGM-77.624 und LGM-78.146 zeigt hingegen eine zeitliche Übereinstimmung mit den Aktivitäten des „**Monte Vico**“-Vulkanzentrums (K/Ar: ca. 76,0 ka BP, Poli *et al.*, 1987). Ein geochemischer Vergleich mit den „Parata“- und „Monte Vico“-Formationen ist nur unter Vorbehalt möglich, da sich die publizierten RFA-Daten auf entsprechende Laven anstelle von Pyroklastika beziehen (Tab.4.11).

Die nächstälteren Einheiten, die vier Tephralagen LGM-93.674, LGM-95.337, LGM-95.663 und LGM-96.302, können aufgrund der zeitlichen Übereinstimmung den Pyroklastika des „**Monte S. Angelo**“-Vulkanzentrums (K/Ar: ca. 95,0 bis 100,0 ka BP, Poli *et al.*, 1987) zugeordnet werden. Als mächtigste dieser Lagen (2,4 cm) tritt die ockerfarbene Tephra mit dem LGM-Alter von 95.337 Jahren BP hervor. Der Vergleich der Glaschemiedaten ist auch hier nur mit Geochemiedaten der Effusiva möglich (Tab.4.11).

Für die drei ältesten im Monticchio-Profil abgelagerten Ischia-Tephren LGM-100.237, LGM-100.244 und LGM-100.317 wird eine Korrelation mit dem „**Punta Imperatore**“-Vulkanzentrum vorgeschlagen. Dessen Aktivitäten waren zunächst charakterisiert durch die Förderung alkalitrachytischer Laven (Vezzoli, 1988), an denen eine zeitliche Einstufung zwischen 116 ka und 123 ka (K/Ar, Poli *et al.*, 1987) gelang. Diese effusive Einheit wird z. T. diskordant von einer jüngeren pyroklastischen Fallablagerungen (<116 ka) überdeckt (Vezzoli, 1988). Sowohl das makroskopische Erscheinungsbild als auch die chemische Zusammensetzung dieser Pyroklastika stimmen mit den oben erwähnten Tephren LGM-100.317, LGM-100.244 und LGM-100.237 aus dem Monticchio-Profil überein (Tab.4.11). Bei den beiden älteren Aschen handelt es sich um dichte, beige Glasaschen mit auffällig geringen Phänokristall- und Lithoklastenbeständen, wohingegen die jüngste und damit den Topbereich der „Punta Imperatore“-Fallablagerung markierende Tephra zusätzlich durch das Führen von schwarzen Schlacken gekennzeichnet ist.

**Tab. 4.11:** Vergleich normierter (wasserfreier) chemischer Analysendaten von LGM-Fallout-Tephren mit proximalen Tephra-Äquivalenten der älteren Eruptionsphase 4 von Ischia (kursiv); Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Poli *et al.* (1987); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 77.182	<i>Monte Vico</i> <i>(35J, Lava)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 95.337	<i>Mt. S. Angelo</i> <i>(103, Lava)</i> <sup>(1)</sup>	LGM 100.317	<i>Punta Imperatore</i> <i>(118, Lava)</i> <sup>(1)</sup>
SiO <sub>2</sub>	62,59	62,23	63,16	62,78	63,98	63,48
TiO <sub>2</sub>	0,59	0,54	0,62	0,63	0,56	0,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,60	18,84	19,13	19,20	19,24	19,17
FeO <sup>†</sup>	3,00	2,96	2,87	3,11	2,44	3,16
MnO	0,23	0,25	0,32	0,27	0,26	0,24
MgO	0,44	0,36	0,34	0,24	0,28	0,81
CaO	1,19	0,94	1,02	0,94	0,96	1,00
Na <sub>2</sub> O	6,77	7,96	6,98	7,14	5,95	5,53
K <sub>2</sub> O	6,50	5,90	5,53	5,68	5,81	5,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,02	0,03	0,00	0,09	0,00
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$		0,91		0,93		0,91

#### 4.3.5 Roccamonfina

Im älteren Sedimentabschnitt des Monticchio-Profiles sind fünf Tephralagen dokumentiert, die sich aufgrund ihrer chemischen und modalanalytischen Zusammensetzung nicht eindeutig zuordnen lassen. Charakterisiert sind diese weiß bis beige-grauen Tephren mit LGM-Altern von 79.618, 79.607, 66.564, 65.714 und 65.660 Jahren BP durch eine K-betonte, phonolithische bis trachytische, Leuzit-freie Zusammensetzung, wie sie zunächst typisch für vulkanische Produkte der Campanischen Vulkanprovinz, insbesondere der Phlegräischen Felder ist. Anhand des hohen Anteils an karbonatischen Lithoklasten kann wiederum eine Korrelation mit den Vulkanen Somma-Vesuv oder Roccamonfina vorgeschlagen werden. Da Tephren aus diesem Zeitraum bislang nicht für den Somma-Vesuv nachgewiesen wurden, liegt eine Korrelation mit den letzten Förderprodukten von Roccamonfina, den „**Gelben Trachytischen Tuffen**“ (YTT), nahe. Eine abgesicherte Zuordnung ist jedoch aufgrund nicht zur Verfügung stehender Chemiedaten und der umstrittenen Alterseinstufung der YTT-Formation zwischen 227 ka und 53 ka BP (Giannetti, 1994; De Rita *et al.*, 1997; Radicati di Brozolo *et al.*, 1988) nicht möglich.

#### 4.3.6 Albaner Berge

Aufgrund ihrer geochemisch-mineralogischen Eigenschaften lassen sich insgesamt acht Tephralagen aus dem Lago Grande di Monticchio mit Produkten der Albaner Berge korrelieren. Wichtigste Korrelationsmerkmale sind die hohen Anteile an karbonatischen Lithoklasten sowie die typischen phonolithisch-tephritischen bis foiditischen Zusammensetzungen der grünbraunen Gläser (Tab. 4.12). Aufgrund ihrer zeitlichen Stellung (30.534 bis 25.926 Jahre BP) können diese neun z.T. mächtigen Aschen den letzten hydromagmatischen Produkten der Albaner Berge, den sogenannten „**Peperini**“-Tuffen (20 bis 50 ka; De Vries, 1963 in Alessio *et al.*, 1966; Andretta *et al.*, 1988a; Andretta *et al.*, 1988b; Fornaseri *et al.*, 1963; Voltaggio *et al.*, 1994) zugeordnet werden. Hier sind drei Sub-Einheiten unterscheidbar:

- (1) Die Basisablagerung wird durch die dunkle, 9,7 cm mächtige und extrem grobkörnige lithische Tephra LGM-30.534 gebildet (Tafel A19). Neben den karbonatischen und vulkanitischen Gesteinsbruchstücken sind Phänokristalle wie Klinopyroxen (Augit), Biotit, Sanidin und Leuzit dominierend. Dunkle vulkanische Gläser sind untergeordnet vorhanden; deren Chemismus ist jedoch aufgrund der großen Anzahl von Kristalleinschlüssen mikroanalytisch nicht erfaßbar. Tephra LGM-30.534 zeigt eine exakte petrologische Übereinstimmung mit der proximalen „Einheit 8“ der jüngsten pyroklastischen Stromablagerungen der Peperini-Tuffe (G. Cavaretta, mündl. Mitteilung 2000). Diese konnte anhand von  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Holzkohle zeitlich auf 29,7 ka BP (uncal., De Vries, 1963 in Fornaseri *et al.*, 1963) eingestuft werden.
- (2) Die mittlere Einheit setzt sich aus den drei diskreten, jeweils ca. 1 cm mächtigen Tephralagen mit den LGM-Altern von 29.902, 29.870 und 29.693 Jahren BP zusammen. Die schwarzen bis graubraunen Aschen führen neben dem aus der basalen Einheit bekannten Phänokristall- und Lithoklastenbestand unalterierte,

phonotephritische bis trachyandesitische Gläser (Tab.4.12, Tafel A18), die sich besonders durch hohe Anteile an Apatit- und Ägirinnadel-Einschlüssen hervorheben.

- (3) Der Topbereich der „Peperini“-Tuffe zeichnet sich durch eine Abfolge von vier schwarzbraunen Tephralagen aus (LGM-27.706, -26.132, -25.985 -25.926), die z.T. durch Oxidierung der Fe-reichen Gläser markant ocker bis rötlichbraun gefärbt sind. Leuzit ist sowohl als Glaseinschluß als auch als Phänokristall dominierend, wohingegen Lithoklasten nur untergeordnet vorhanden sind (Tafel A14, A15, A16, B17). Der Chemismus der Gläser reicht von tephriphonolithisch bis phonotephritisch und ist am ehesten mit den typischen Laven-Zusammensetzungen der Albaner Berge vergleichbar (Tab.4.12).

**Tab. 4.12:** Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler Äquivalente der Albaner Berge (kursiv); Angaben in Gew.%. Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten von Laven, Trigila (1995); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 25.926	LGM 25.985	LGM 27.706a	LGM 27.706b	LGM 27.706c	LGM 29.693a	LGM 29.870	LGM 29.902a	<i>Albani</i> <i>(Albano, ca5)<sup>(1)</sup></i>	<i>Albani</i> <i>(45)<sup>(1)</sup></i>
SiO <sub>2</sub>	50,35	48,48	44,75	46,89	50,42	53,41	50,29	51,31	47,95	47,18
TiO <sub>2</sub>	0,94	0,93	1,07	0,90	0,59	0,76	0,93	0,86	0,79	1,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,87	19,34	18,10	18,94	22,01	18,71	18,25	18,86	17,90	16,37
FeO <sup>t</sup>	7,60	7,29	9,68	8,24	4,69	6,93	7,45	6,96	7,63	8,97
MnO	0,19	0,15	0,25	0,16	0,21	0,17	0,16	0,15	0,18	0,20
MgO	1,99	2,64	3,49	2,27	0,69	1,79	3,92	3,43	3,67	5,02
CaO	8,35	10,49	12,14	9,77	6,49	7,55	9,51	8,76	9,51	11,70
Na <sub>2</sub> O	4,33	3,53	4,44	3,26	5,74	2,96	2,58	2,63	2,52	2,58
K <sub>2</sub> O	5,96	6,45	5,40	9,09	9,04	6,70	5,84	5,94	9,26	6,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,42	0,71	0,67	0,48	0,13	0,53	0,70	0,73	0,59	0,47
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ein direkter Vergleich der Glaschemiedaten dieser Tephren mit Pyroklastika der „Peperini“-Tuffe war nur anhand unveröffentlichter Gesamtchemie-Daten möglich (G. Cavaretta, mündl. Mitteilung, 1999). Dieser Vergleich zeigt ebenso wie der mit durchschnittlichen Analysendaten von Laven der Albaner Berge (Tab.4.12) gute Übereinstimmungen. Die Ablagerung der „Peperini“-Tuffe im Lago Grande di Monticchio ist aus zwei Gründen von großer Bedeutung. Zum einen ist mit einer Entfernung zum Eruptionszentrum von ca. 260 km erstmals die distale Fazies der letzten phreatomagmatischen Förderprodukte der Albaner Berge dokumentiert. Ihre Lagenmächtigkeiten und Korngrößenspektren im Monticchio-Profil deuten darauf hin, daß diese Eruptionen höherenergetisch waren, als zuvor angenommen wurde. Anhand der Chronologie der Monticchio-Sedimente ist es zum anderen möglich, die bislang umstrittene zeitliche Stellung der „Peperini“-Tuffe (20 – 50 ka BP) zu präzisieren.

### 4.3.7 Sabatiner Berge

Eine weitere markante pyroklastische Abfolge, deren Ursprung in der Römischen Vulkanprovinz zu suchen ist, kann mit den jüngeren hydromagmatischen Aktivitäten der Sabatiner Berge, den „**Tufi di Baccano**“ (K/Ar: ca. 85,0 ka, Di Filippo, 1993), korreliert werden. Die vier graubeigen Tephralagen mit LGM-Altern zwischen 89.139 und 89.231 Jahren BP zeigen große Variabilitäten sowohl in der Komponentenzusammensetzung als auch im Chemismus (tephriphonolithisch bis trachytisch; Tab.4.13). Charakterisiert sind alle Aschen durch die hydromagmatisch beeinflusste Ausbildung der vulkanischen Gläser, die sich zum einen in der blockigen, blasenarmen Form, zum anderen in der alterierten (hydratisierten) Erscheinung äußert (Tafel A28). Zum Hauptbestand der Phänokristalle gehören Plagioklas, Sanidin, Klinopyroxen (Augit, Titanaugit), Biotit, Leuzit und Apatit. Lithoklasten liegen in vulkanitischer, plutonitischer und sedimentärer Zusammensetzung vor und sind auf den mächtigsten Teil der pyroklastischen Einheit (LGM-89.144 und LGM-89.146) konzentriert.

Eine zeitlich ebenfalls in Frage kommende Korrelation mit den letzten, relativ schwach explosiven Aktivitäten des Vico-Vulkans (Tufi Finali, 90 ka) kann aufgrund der abweichenden Petrologie (Leuzit-Phonotephrite) ausgeschlossen werden (siehe Tab. 4.13). Diese Fallablagerungen sind distal nur aus Sedimenten des Lagaccione-Kraters Vico (Vulsiner Berge; Narcisi & Anselmi, 1998) bekannt.

**Tab. 4.13:** Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler Tephra-Äquivalente der Sabatiner Berge und Vico (kursiv); Angaben in Gew.%. Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Di Filippo (1993); <sup>(2)</sup> RFA-Daten, Narcisi & Anselmi (1998); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 89.127a	LGM 89.127b	LGM 89.139	LGM 89.144	LGM 89.146	LGM 89.231	<i>Sabatini</i> (I Monti, Lava) <sup>(1)</sup>	<i>Vico</i> (Tufi Finali, V8434) <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	58,70	62,40	55,30	61,45	59,90	53,73	54,50	53,55
TiO <sub>2</sub>	0,59	0,39	0,81	0,39	0,43	1,02	0,33	0,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,04	18,55	19,17	19,05	18,93	18,20	19,00	17,29
FeO <sup>t</sup>	4,59	2,50	4,84	3,19	3,59	7,77	6,50	6,69
MnO	0,16	0,10	0,13	0,15	0,16	0,17	0,00	0,13
MgO	1,41	0,46	2,67	0,57	0,68	2,83	3,44	4,04
CaO	3,82	2,80	6,23	2,42	2,73	6,14	6,60	8,01
Na <sub>2</sub> O	3,61	4,51	3,84	4,43	4,47	3,58	3,00	2,68
K <sub>2</sub> O	7,21	7,89	6,59	7,69	8,54	5,85	6,34	6,69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,33	0,43	0,13	0,12	0,70	0,31	0,22
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

### 4.3.8 Ätna

Der auf Sizilien gelegene Mt. Ätna gehört mit der Förderung von alkalibasaltischen Laven eigentlich zu den eher schwächer explosiven quartären Vulkanen Italiens. Mächtige pyroklastische Einheiten mit trachybasaltischer bis trachyandesitischer Zusammensetzung, die aus differenzierten Magmen hervorgegangen sind, kommen nur untergeordnet vor (Chester *et al.*, 1987). Der „**Biancavilla-Montalto-Ignimbrit**“ (15 ka BP, uncal.; Vezzoli



*et al.*, 1998) zählt hier zu den bekanntesten pyroklastischen Formationen. Seine Fallprodukte sind weit in südöstlicher und nördlicher Richtung im östlichen Mittelmeerraum verbreitet. Im distalen Bereich als „Y-1“-Tephra bekannt (Keller *et al.*, 1978; Vezzoli, 1991), sind die Ablagerungen des Biancavilla-Ignimbrites als diskrete Lage in zahlreichen marinen Sedimentkernen sowie in terrestrisch-lakustrinen Sequenzen aus Mittelitalien nachgewiesen worden. Im Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio können zwei einzelne Tephralagen mit LGM-Altern von 16.444 Jahren BP und 17.976 Jahren BP auseinandergehalten werden, die sich wiederum mit dem Biancavilla-Ignimbrit korrelieren lassen. Beide Tephren können als dunkelbraune Aschen angesprochen werden, deren Phänokristallbestände durch die Minerale Plagioklas, Klinopyroxen (Hedenbergit), Kalifeldspat, Hornblende und Apatit bestimmt werden (Tafel A9, A11). Die hellbraunen bis braunen vulkanischen Gläser weisen in der Regel mehrere Populationen auf. Dabei ist die bimodale trachyandesitische bis trachydazitische Zusammensetzung der gering-mächtigeren jüngeren Tephra LGM-16.444 am ehesten mit dem Chemismus der distalen „Y-1“-Tephra vergleichbar (Tab.4.14). Die ältere Tephralage LGM-17.976 weist eine zusätzliche rhyolithische Glaskomponente auf (Tab.4.14), die in der Literatur bislang noch nicht im Zusammenhang mit der „Y-1“-Tephra erwähnt wurde. Für eine Korrelation mit dem proximalen Ablagerungsraum kommen hier die pyroklastischen Einheiten „D1“ und „D2“ der „Biancavilla-Montalto-Formation“ in Frage, die mit Radiokarbonaltern von 15.420 Jahren und 15.050 Jahren BP (uncal.; Vezzoli *et al.*, 1998) in guter zeitlicher Übereinstimmung mit den beiden Monticchio-Tephren stehen. Aus der nahen distalen Fazies (Kern M25/4-13, Ionisches Meer) sind mehrere disperse Tephralagen beschrieben worden (Kraml, 1997), von denen mindestens eine Lage mit der „Y-1“-Tephra korreliert. Zwei dieser Lagen zeigen mit interpolierten Sapropelaltern von 17,6 ka und 16,7 ka BP eine gute zeitliche Übereinstimmung mit den Monticchio-Tephren.

**Tab. 4.14:** Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler und distaler\* Tephra-Äquivalente von Ätna und Pantelleria; Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> naßchemisch, Duncan (1976); <sup>(2)</sup> SEM-EDS-Daten, Calanchi *et al.* (1996a); <sup>(3)</sup> RFA-Daten, Civetta *et al.* (1984); <sup>(4)</sup> SEM-EDS-Daten, Paterno *et al.* (1988); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 16.444a	LGM 16.444b	LGM 17.976a	LGM 17.976b	LGM 17.976c	Biancavilla (Bims) <sup>(1)</sup>	Y-1* (PAL 1E) <sup>(2)</sup>	LGM 85.323	Prä-Ignimbrit (Pantelleria, A 23) <sup>(3)</sup>	P-10* <sup>(4)</sup>
SiO <sub>2</sub>	65,77	60,53	64,56	71,31	62,55	61,63	60,15	68,58	67,42	70,99
TiO <sub>2</sub>	0,82	1,50	1,70	0,12	1,09	1,25	1,43	0,63	0,55	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,11	17,03	15,08	18,24	20,24	16,95	17,83	14,50	14,81	12,85
FeO <sup>t</sup>	3,33	5,55	5,16	0,40	1,70	5,51	5,11	4,99	4,70	4,62
MnO	0,20	0,18	0,19	0,01	0,03	0,19	0,13	0,24	0,21	0,00
MgO	0,88	1,85	1,05	0,05	0,18	1,83	1,88	0,35	0,53	0,01
CaO	1,88	4,02	2,79	1,67	4,92	3,46	4,12	0,82	1,10	0,36
Na <sub>2</sub> O	6,15	5,45	4,64	5,04	6,09	5,86	6,06	5,39	6,26	5,76
K <sub>2</sub> O	3,72	3,30	4,35	3,13	2,67	2,90	3,28	4,42	4,34	4,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,59	0,47	0,04	0,53	0,42	0,00	0,09	0,08	0,00
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$						0,93	0,96		0,88	0,82

### 4.3.9 Pantelleria

Die Aktivitäten der südwestlich von Sizilien gelegenen Vulkaninsel Pantelleria heben sich durch die betont ignimbritische Förderung von sauren Na-alkalinen Gesteinen, den sogenannten Pantelleriten, von denen des Ätnas ab. Die distalen Fallablagerungen dieser mächtigen Ignimbrit-Einheiten sind bislang nur in marinen Sedimentkernen des südlichen Tyrrhenischen Meeres (Paterne *et al.*, 1986, 1988, 1990) gefunden worden. Das Vorhandensein einer dieser Ablagerungen in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio ist daher von umso größerer Bedeutung.

Die 1 mm mächtige, nahezu reine Glasasche ist schon rein makroskopisch von allen anderen Tephralagen des Monticchio-Profiles unterscheidbar. Die vorwiegend farblosen „glass shards“ weisen trachydazitische bis rhyolithische Zusammensetzungen mit Na-Betonung auf (Tab.4.14, Tafel A26, A27). Der Phänokristallbestand beschränkt sich auf wenige Plagioklase, Kalifeldspäte, Klinopyroxene und Apatite; Lithoklasten fehlen gänzlich. Die Petrologie und die zeitliche Stellung (LGM-Alter: 85.323 Jahre BP) dieser markanten Tephra befürwortet eine Korrelation mit den „**Ante-Green-Ignimbriten**“ von Pantelleria, die zwischen 106 ka und 79 ka (Mahood & Hildreth, 1986) gefördert wurden. Eine direkte Zuordnung mit einer der proximalen Fallablagerungen der Ignimbrite F, D oder Z ist aufgrund der untereinander sehr ähnlichen Petrologie dieser Ignimbrite schwierig. Eine außerordentlich gute Korrelationsbasis bietet dagegen die distale Tephra „**P-10**“ aus marinen Sedimentkernen des Tyrrhenischen Meeres (Tab. 4.14). „P-10“ wurde von (Paterne *et al.*, 1986) ebenfalls mit den „Ante-Green-Ignimbriten“ korreliert und anhand der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie der marinen Sedimente auf etwa 84 ka BP datiert (Paterne *et al.*, 1990).

### 4.3.10 Äolische Inseln

Pyroklastika mit kalkalkalinem Charakter, wie sie typisch für die Äolischen Inseln sind, spielen im Monticchio-Profil mit zwei Tephralagen eine eindeutig untergeordnete Rolle. Die einzige Tephralage mit andesitischer bis trachydazitischer Zusammensetzung befindet sich in 50 m Sedimenttiefe und ist mit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie auf ein Alter von 74.538 Jahren BP datiert worden. Die hellbraun-violette, 1,5 mm mächtige Lage zeichnet sich durch einen hohen Phänokristallbestand aus Plagioklasen, Kalifeldspäten, Klinopyroxenen, Orthopyroxenen, Biotiten und Apatiten aus (Tafel A25). Sowohl der bimodale Chemismus der bräunlichen Gläser als auch die zeitliche Stellung stimmen mit der marinen „**Y-9**“-Tephra aus den Tiefseesedimenten des Ionischen Meeres überein ( $\delta^{18}\text{O}$ : ca. 75.3 ka BP; Kraml, 1997; Kraml & Keller, mündl. Mitteilung 1999). Die früher als „X-1“ bezeichnete Aschenlage (Keller *et al.*, 1978) ist ebenfalls aus Sedimentkernen des Tyrrhenischen Meeres bekannt, wird hier jedoch als Tephra **860-03** bezeichnet (77.1 ka; Paterne *et al.*, 1986, 1988). Morche (1988) und Hornig-Kjarsgaard *et al.* (1993) korrelieren die distale „Y-9“-Tephra mit den „**Petrazza-Tuffen**“, die in terrestrischen Profilen auf der Vulkaninsel **Stromboli** aufgeschlossen sind (Tab.4.15). Eine weitere Aschenlage mit dem LGM-Alter von 89.509 Jahren BP ist anhand ihrer Leuzit-phonotephritischen (shoshonitischen) Zusammensetzung mit älteren Vulkaniten

der Insel **Vulcano** vergleichbar (Tab. 4.15). Die mindestens 2,3 mm mächtige, schlackenartige Tephra zeigt eine besonders gute petrologische und zeitliche Übereinstimmung mit den letzten effusiven und pyroklastischen Auffüllprodukten der **Caldera del Piano**, die zwischen  $99,5 \pm 7,0$  ka und  $78,5 \pm 4,5$  ka BP gefördert wurden (De Astis *et al.*, 1997a).

**Tab. 4.15:** Normierte (wasserfreie) chemische Analysendaten vulkanischer Gläser der LGM-Fallout-Tephren im Vergleich mit Geochemie-Literaturdaten proximaler und distaler\* Tephra-Äquivalente der Äolischen Inseln; Angaben in Gew.%.  $d_{(A,B)}$  = Ähnlichkeitskoeffizient; Referenzen: <sup>(1)</sup> RFA-Daten, Hornig-Kjarsgaard *et al.* (1993); <sup>(2)</sup> SEM-EDS-Daten, Paterne *et al.* (1988); <sup>(3)</sup> RFA-Daten, Keller *et al.* (1978); <sup>(4)</sup> RFA-Daten, De Astis *et al.* (1997a); Probenbezeichnungen in Klammern.

Probe	LGM 74.538a	LGM 74.538b	<i>Stromboli</i> ( <i>Petrazza, ST 37</i> ) <sup>(1)</sup>	860-03* (2)	X-1* (3)	LGM 89.509	<i>Vulcano, Piano Caldera</i> <i>Schlacke (VUL508)</i> <sup>(4)</sup>
SiO <sub>2</sub>	61,42	63,74	60,66	59,47	59,55	50,12	52,26
TiO <sub>2</sub>	0,71	0,99	0,77	1,28	0,98	1,39	0,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,93	16,04	17,29	16,05	18,00	17,57	17,89
FeO <sup>t</sup>	4,33	5,41	6,00	7,85	6,34	8,88	9,71
MnO	0,11	0,15	0,15	0,00	0,17	0,19	0,22
MgO	1,27	1,48	2,53	2,88	2,93	3,64	3,91
CaO	5,69	3,60	6,00	6,33	6,78	8,99	8,74
Na <sub>2</sub> O	4,20	4,04	3,39	3,91	3,71	3,42	3,40
K <sub>2</sub> O	3,04	4,14	2,93	2,24	1,55	4,69	2,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31	0,40	0,28	0,00	0,00	1,11	0,29
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$d_{(A,B)}$			0,79 - 0,85	0,74 - 0,75	0,75		0,87

#### 4.3.11 Tephren unsicheren Ursprungs

Nur wenige Tephren (n = 12) konnten nicht direkt mit ihren Eruptionszentren korreliert werden. Dabei handelt es sich überwiegend um Tephren, deren Chemismus entweder noch nicht untersucht wurde oder zu uneindeutig für konkrete Korrelationen ist. Zu einigen dieser Aschenlagen können jedoch anhand der Komponentenzusammensetzung (Minerale, Gläser, Lithoklasten) vorab Vermutungen zu deren Herkunft geäußert werden. So zeigen z.B. zwei dieser geringmächtigen Aschen mit LGM-Altern von 89.566 und 89.569 Jahren BP nicht nur aufgrund ihrer Dunkelfärbung Ähnlichkeiten mit der aus den marinen Tiefsee-Sedimenten beschriebenen „X-4“-Tephra ( $\delta^{18}\text{O}$ : 89,5 ka BP, Kraml, 1997), sondern stimmen auch zeitlich perfekt mit dieser überein. Die „X-4“-Tephra stellt nach Keller *et al.* (1978) und Chester *et al.* (1987) das distale Äquivalent zur pyroklastischen „Acireale“-Formation des Ätnas dar.

Für die drei ältesten Aschenlagen im Monticchio-Profil (LGM-101.658, LGM-101.657, LGM-101.654) war aufgrund der Feinkörnigkeit der vulkanischen Gläser eine Erfassung des Chemismus nicht möglich. Aufgrund der Formbeschaffenheit der „glass shards“ und der geringen Phänokristallbestände sind jedoch Ähnlichkeiten mit den „Ante-Green-Ignimbriten“ von Pantelleria (siehe Tephra LGM-85.323) gegeben.

Zu erwähnen sind außerdem zwei weitere nahezu reine Glasaschen mit LGM-Altern von 78.823 und 78.853 Jahren BP, deren trachydazitische Zusammensetzung eine eventuelle Korrelation mit den Äolischen Inseln impliziert.

#### 4.4 Zusammenfassung der tephrochronologischen Ergebnisse

Nachfolgend soll ein schematischer Gesamtüberblick über die Korrelationen und deren zeitlichen Verteilung der 344 Fallout-Tephren aus dem Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio gegeben werden (Tab.4.16; Abb.4.9). Detailliertere Beschreibungen der Tephren (z.B. Alter, Mächtigkeit, Zusammensetzung, Chemismus der Einzelgläser) sowie mikroskopische bzw. rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen einiger markanter Tephralagen sind neben den in Kapitel 4 aufgeführten Daten in Anhang B bzw. Tafel A und B zu finden.

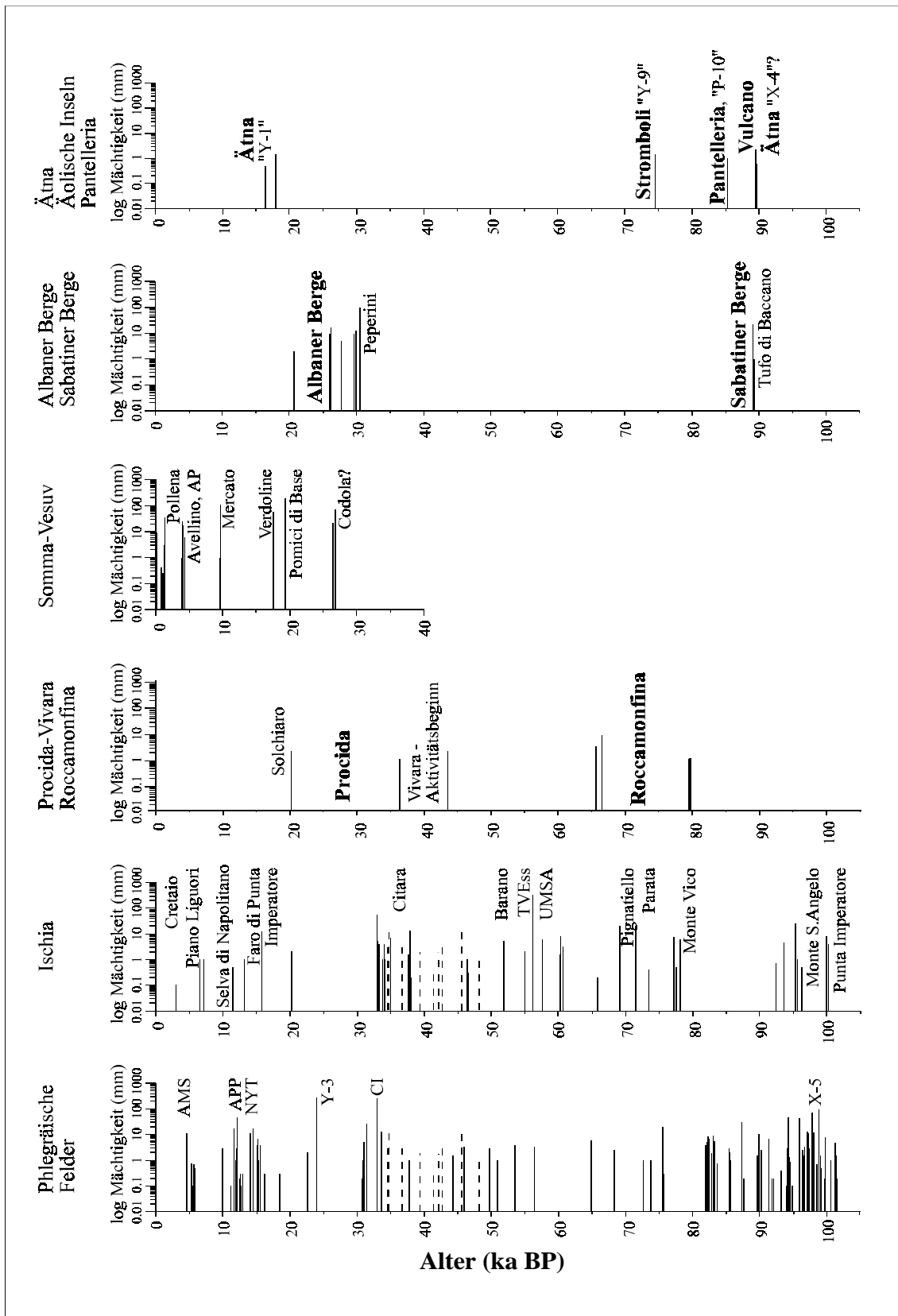
**Tab. 4.16:** Gesamtüberblick über die Zuordnung und Anzahl der im Monticchio-Profil dokumentierten Fallout-Tephralagen.

<i>Vulkan</i>	<i>Tephrenanzahl</i>	<i>Vulkan</i>	<i>Tephrenanzahl</i>
Vesuv	33	Albaner Berge	9
Phlegräische Felder	206	Sabatiner Berge	5
Ischia	54	Ätna	2 - 4
Ischia oder Phlegräische Felder	11	Äolische Inseln	2
Prócida-Vivara	4	Pantelleria	1
Roccamonfina	5	unbekannt	10 -12

Bei den meisten der 344 Tephralagen handelt es sich aufgrund ihrer Korngrößenverteilungen und Komponentenzusammensetzungen um Fallablagerungen aus hochenergetischen plinianischen bis subplinianischen Eruptionswolken. Fallablagerungen aus co-ignimbrischen Eruptionswolken sind nur untergeordnet (ca. 5%) vorhanden. Zu denen zählen u.a. der „Campanische Ignimbricit“ (Phlegräische Felder), der „Tufo Verde Epomeo *sensu strictu*“ (Ischia) sowie der „Ante-Green-Ignimbricit“ (Pantelleria).

Zu den einzelnen Vulkanprovinzen können aufgrund der oben diskutierten Tephrenkorrelationen folgende Informationen hervorgehoben werden:

- ⇒ Die bekannten plinianischen bis subplinianischen Ausbrüche des Somma-Vesuvus (<27 ka BP) sind mit Ausnahme der Pompeji-Eruption als komplette Abfolge im Monticchio-Profil aufgezeichnet.
- ⇒ Ebenso sind alle bekannten hochenergetischen Eruptionen von Ischia und den Phlegräischen Feldern als wahrscheinlich vollständige Sequenz bis 101 ka BP in den Monticchio-Sedimenten abgelagert worden. Für die Phlegräischen Felder konnte in diesem Zusammenhang eine neue Stratigraphie des explosiven Vulkanismus für den Zeitraum von 60 ka bis 100 ka aufgestellt werden.
- ⇒ Mit der Ablagerung im Lago Grande di Monticchio sind die letzten phreatomagmatischen Produkte der Albaner und Sabatiner Berge erstmals im entfernten distalen Bereich gefunden worden. Anhand der Monticchio-Chronologie ist hier zusätzlich eine Festlegung der seit langem diskutierten Eruptionsalter möglich.
- ⇒ Von Ätna, Äolischen Inseln und Pantelleria stammende Tephren spielen im Monticchio-Profil zwar eine untergeordnete Rolle, jedoch sind sie wichtig für die Neuerstellung von Verbreitungsfächern sowie für die Korrelation mit anderen terrestrischen und marinen Sequenzen aus dem östlichen Mittelmeerraum.



**Abb. 4.9:** Verteilung und Mächtigkeiten der Fallout-Tephren im Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio, sortiert nach Vulkanprovinzen. AMS = Agnano Monte Spina; APP = Agnano Pomici Principali; NYT = Gelber Napolitanischer Tuff; CI = Campanischer Ignimbrit; TVEss = Tufo Verde Epomeo *sensu strictu*; UMSA = Unità di Monte San Angelo; AP = Interplinianische Ereignisse zwischen Avellino- und Pompeji-Eruption.

## 5 Diskussion der Chronologie

Um die hochauflösende, unabhängige Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Monticchio-Profiles abzusichern, ist eine Überprüfung durch andere unabhängige Datierungsmethoden notwendig. Hier bietet die große Anzahl von Tephralagen im Monticchio-Profil eine ideale Voraussetzung zur Erstellung eines tephrogestützten Altersmodells. Diese „Tephrochronologie“ stützt sich im wesentlichen auf radiometrisch und radioisotopisch ermittelte Alter von korrelierten Tephra-Äquivalenten und ist somit als eine „indirekte“ Datierungsmethode anzusehen.

Für die Erstellung des tephrochronologischen Modells können aufgrund der vorangegangenen Korrelationen insgesamt 32 Tephrenalter berücksichtigt werden (Tab.5.1, 5.2, 5.3). Diese in der Literatur aufgeführten Alter von proximal-terrestrischen oder distal-marinen Tephra-Äquivalenten beruhen zum einen auf radiometrischen ( $^{14}\text{C}$ -) Altern, die mit den Verfahren nach Stuiver *et al.* (1998) und Bard *et al.* (1998) eigenhändig kalibriert wurden, und zum anderen auf radioisotopischen ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -,  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -) Alter.

**Tab. 5.1:** Radiokarbon-Alter proximaler Tephra-Äquivalente im Vergleich zu Warven- und Sedimentationsratenaltern korrelierter Monticchio-Tephren (LGM-Alter; Zolitschka & Negendank, 1993) mit Fehlerbereichen zwischen beiden Chronologien (Abweichung außerhalb des Fehlerbereichs der kalibrierten Literaturalter). \* Alter aus historischen Überlieferungen; **Abkürzungen:** SV = Somma-Vesuv, CF = Phlegräische Felder, PR = Prócida, AB = Albaner Berge; **Referenzen:** <sup>(1)</sup> Rolandi *et al.* (1993a); <sup>(2)</sup> Rolandi *et al.* (1998); <sup>(3)</sup> Andronico *et al.* (1995); <sup>(4)</sup> Di Vito *et al.* (1999); <sup>(5)</sup> Orsi *et al.* (1996b); <sup>(6)</sup> Alessio *et al.* (1973), Alessio *et al.* (1971), Rosi & Sbrana (1987), Scandone *et al.* (1991); <sup>(7)</sup> Andronico (1997); <sup>(8)</sup> Delibrias *et al.* (1986); <sup>(9)</sup> Vezzoli *et al.* (1998); <sup>(10)</sup> Di Vito *et al.* (1998); <sup>(11)</sup> Alessio *et al.* (1976); <sup>(12)</sup> De Vries (1963) in Fornaseri *et al.* (1963); **Kalibrierungsmethoden:** (A) Baumringchronologie und U/Th-Kalibrierung an Korallen nach Stuiver *et al.* (1998); (B) U/Th-Kalibrierung an Korallen, Formel nach Bard *et al.* (1998):  $(\text{cal BP}) = -3,0126 \cdot 10^{-6} \cdot (^{14}\text{C}\text{-Alter BP})^2 + 1,2896 \cdot (^{14}\text{C}\text{-Alter BP}) - 1005$ .

Vulkan	Ereignis	$^{14}\text{C}$ -Literaturalter (uncal. Jahre BP)	2 $\sigma$ -Altersbereiche der cal. Literaturalter (Jahre BP)	Gerundete LGM-Alter (Jahre BP)	Relative Abweichung (%)
SV	1631 n.Chr.*	319 <sup>(1)</sup>	319	90	262,5
SV	Formazione di Terzigno*	1057, 811 <sup>(2)</sup>	1057, 811	1070, 820	1,1 - 1,2
SV	512 n.Chr.*	1438 <sup>(2)</sup>	1438	1420	1,3
SV	Pollena 472 n.Chr.*	1478 <sup>(2)</sup>	1478	1440	2,6
SV	AP2	3225 ± 140 <sup>(2)</sup>	3830 - 3080 <sup>(A)</sup>	4150	7,7
SV	Avellino	3590 ± 25 <sup>(3)</sup>	3975 - 3780 <sup>(A)</sup>	4310	7,8
CF	Agnano Mt. Spina	4130 ± 50 <sup>(4)</sup>	4830 - 4448 <sup>(A)</sup>	4620	0,0
IS	Piano Liguori	4790 ± 200 <sup>(5)</sup>	5930 - 4890 <sup>(A)</sup>	6590	10,0
SV	Mercato	8000 ± 50 <sup>(3)</sup>	9025 - 8643 <sup>(A)</sup>	9680	6,8
CF	Pomici Principali	10.320 ± 50 <sup>(4)</sup>	12.761 - 11.769 <sup>(A)</sup>	12.180	0,0
CF	NYT	12.000 ± 500 <sup>(6)</sup>	15.710 - 13.000 <sup>(A)</sup>	14.120	0,0
CF	Lagno Amendolare	13.070 ± 90 <sup>(7)</sup>	16.210 - 14.640 <sup>(A)</sup>	15.220	0,0
Ätna	Biancavilla (Y-1)	14.180 ± 260 <sup>(8)</sup>	17.790 - 16.250 <sup>(A)</sup>	16.440	0,0
	D1	15.420 ± 100 <sup>(9)</sup>	19.062 - 17.857 <sup>(A)</sup>	17.980	0,0
SV	Verdoline	16.780 ± 170 <sup>(10)</sup>	20.780 - 19.270 <sup>(A)</sup>	17.560	9,7
SV	Pomici di Base	18.300 ± 180 <sup>(3)</sup>	22.560 - 20.970 <sup>(A)</sup>	19.280	8,8
PR	Solchiaro	19.620 ± 270 <sup>(11)</sup>	24.240 - 22.330 <sup>(A)</sup>	20.230	10,4
AB	Peperini	29.700 ± 400 <sup>(12)</sup>	35.080 - 34.190 <sup>(B)</sup>	30.530	12,0

Die mit dem Somma-Vesuv korrelierten Tephren liefern einen beträchtlichen Anteil an Altersfixpunkten, die sich insbesondere auf den jüngeren Profilabschnitt (< 20 ka) konzentrieren (Tab.5.1). Diese Alter stützen sich zum Teil auf historische Überlieferungen (1631 n.Chr. bis 472 n.Chr.), im wesentlichen aber auf konventionelle Radiokarbon-Datierungen, die an unterlagernden Paläoböden und in den Pyroklastika eingebetteten Holzresten durchgeführt wurden (Andronico *et al.*, 1995; Di Vito *et al.*, 1998; Rolandi *et al.*, 1998). Altersdaten von Tephren, die mit den Phlegräischen Feldern korreliert wurden, sind größtenteils mit AMS-<sup>14</sup>C- (Di Vito *et al.*, 1999) und konventionellen Radiokarbon-Datierungstechniken (Andronico, 1997) ermittelt worden (Tab.5.1). Für den älteren Zeitbereich spielen drei verlässliche <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Alter (Deino *et al.*, 1992; Deino *et al.*, 1994; Kraml, 1997; Pappalardo *et al.*, 1999) eine wichtige Rolle für die Stützung des tephrochronologischen Gerüsts (Tab.5.2). Proximale Tephren von Ischia sind vorwiegend mit der konventionellen K/Ar-Methode (Cassignol-Technik) datiert worden (Poli *et al.*, 1987). Aufgrund der oben beschriebenen Ungenauigkeit dieser Alter wurden nur ältere Ischia-Aschen (> 50 ka) zum Ausbau der Tephrochronologie verwendet. Präzisere Zeitmarker stellen ein AMS-<sup>14</sup>C-Alter einer historischen Ischia-Tephra (Orsi *et al.*, 1996b) sowie zwei Laser-<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Alter der Einheiten des „Tufo Verde Epomeo“ dar (Kraml, 1997; Watts *et al.*, 1996a; Tab.5.2). Weitere konventionelle <sup>14</sup>C-Altersdaten liegen von den proximalen Fallablagerungen des Ätnas (Delibrias *et al.*, 1986; Vezzoli *et al.*, 1998), der Insel Prócida-Vivara (Alessio *et al.*, 1976) und der Albaner Berge vor (De Vries, 1963 in Fornaseri *et al.*, 1963; Tab.5.1). Diese Daten erscheinen an sich vertrauenswürdig, jedoch birgt die Kalibrierung besonders der beiden älteren Tephrenalter (Prócida 19 ka, Albaner Berge 30 ka) gewisse Unsicherheiten. Die jüngsten Vulkanite der Sabatiner Berge wurden wiederum mit Hilfe der konventionellen <sup>40</sup>K/<sup>40</sup>Ar-Methode datiert (Villa, 1984, mündl. Mitteilung in Fornaseri, 1985). Dieses Alter stellt zwar einen wichtigen Fixpunkt für den älteren Chronologieabschnitt dar, weist aber auch den weitaus größten analytischen Fehler auf (Tab.5.2).

**Tab. 5.2:** Radioisotopische Alter proximaler Tephra-Äquivalente im Vergleich zu Warven- und Sedimentationsratenaltern korrelierter Monticchio-Tephren (LGM-Altern; Zolitschka & Negendank, 1993; Brauer *et al.*, im Druck) mit Fehlerbereichen zwischen beiden Chronologien; **Abkürzungen:** CI = Campanischer Ignimbrit; TVEss = Tufo Verde Epomeo sensu strictu; UMSA Unità di Monte San Angelo; CF = Phlegräische Felder; IS = Ischia; SA = Sabatiner Berge; **Referenzen:** <sup>(1)</sup> Pappalardo *et al.* (1999); <sup>(2)</sup> Deino *et al.* (1992, 1994); <sup>(3)</sup> Poli *et al.* (1987); <sup>(4)</sup> Watts *et al.* (1996a); <sup>(5)</sup> Kraml (1997); <sup>(6)</sup> Villa (1984) in Fornaseri (1985).

Vulkan	Ereignis	Radioisotopisches Alter (Jahre BP)	Datierungsmethode	Gerundete LGM-Alter (Jahre BP)	Relative Abweichung (%)
CF	Tufi Biancastri	14.600 ± 600 <sup>(1)</sup>	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	14.560	0,0
CF	CI (Y-5)	37.100 ± 400 <sup>(2)</sup>	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	32.970	11,3
IS	Barano	51.200 ± 1400 <sup>(3)</sup>	<sup>40</sup> K/ <sup>40</sup> Ar	51.810	0,0
IS	TVEss	55.000 ± 2000 <sup>(4), (5)</sup>	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	56.250	0,0
IS	UMSA	56.000 ± 4000 <sup>(5)</sup>	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	57.570	0,0
IS	Parata	73.500 ± 2500 <sup>(3)</sup>	<sup>40</sup> K/ <sup>40</sup> Ar	73.500	0,0
IS	Monte Vico	75.000 ± 3500 <sup>(3)</sup>	<sup>40</sup> K/ <sup>40</sup> Ar	78.150	0,0
SA	Tufo di Baccano	85.000 ± 9000 <sup>(6)</sup>	<sup>40</sup> K/ <sup>40</sup> Ar	89.150	0,0
IS	Monte S. Angelo	98.000 ± 5000 <sup>(3)</sup>	<sup>40</sup> K/ <sup>40</sup> Ar	95.340	0,0
CF	X-5	105.000 ± 2.000 <sup>(5)</sup>	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	97.770	5,3

Neben den radiometrischen und radioisotopischen Altern wurden zur zusätzlichen Stützung des tephrochronologischen Altersmodells interpolierte Alter mariner distaler Aschen aus Tiefseekernen des östlichen Mittelmeeres hinzugezogen (Tab. 5.3). Bei diesen Altern handelt es sich um interpolierte stratigraphische Alter, die im wesentlichen auf den nach Laskar (1990) astronomisch kalibrierten Altern für Sapropel beruhen. Solche Alter wurden speziell für Tephren aus den Tiefseesedimenten des Ionischen Meeres (Kern M25/4-13) errechnet und sind nach Kraml (1997) von relativ hoher Präzision (s.a. Kapitel 6.3.1). Die Altersinterpolation von Tephren aus Sedimentkernen des Tyrrhenischen Meeres erfolgte wiederum anhand einer tephrengestützten Sauerstoffisotopenchronologie (Paterne *et al.*, 1990), deren Verlässlichkeit jedoch von mehreren Autoren (z.B. Morche, 1988; Kraml, 1997) angezweifelt wird.

**Tab. 5.3:** Interpolierte Sapropel- und Sauerstoffisotopen-Alter von Tephren aus den marinen Sedimentkernen des Ionischen (Kraml, 1997) und Tyrrhenischen Meeres (Paterne *et al.*, 1990) im Vergleich zu LGM-Tephrenaltern mit relativen Abweichungen. Die mit \* gekennzeichneten Alter wurden als Fixpunkte für das tephrochronologische Altersmodell der Monticchio-Sedimente verwendet.

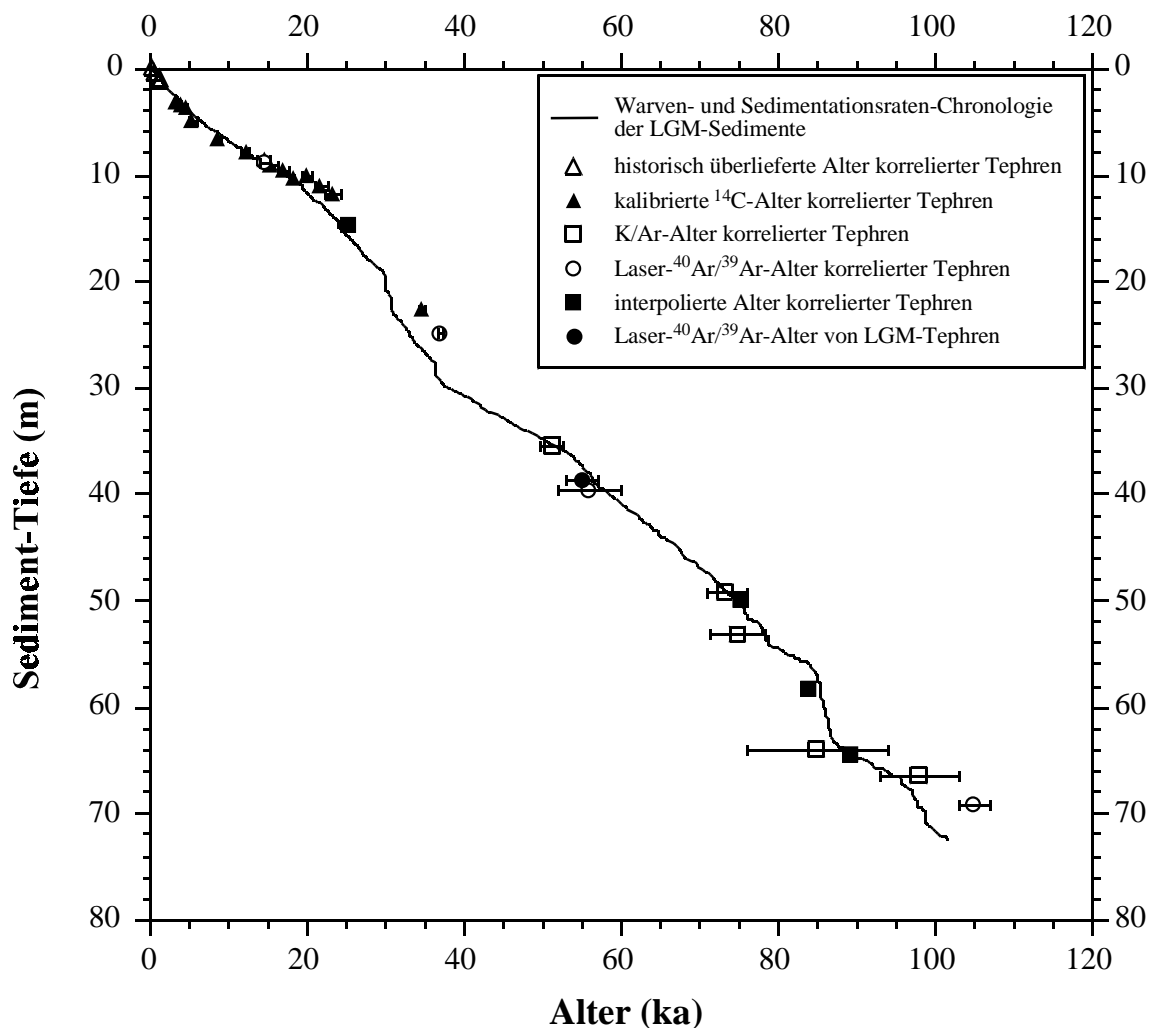
Vulkan	Ereignis	Ionisches Meer	Sapropel-Alter M25/4-13 (ka BP)	Tyrrhenisches Meer	$\delta^{18}\text{O}$ -Alter (ka BP)	gerundete LGM-Alter (Jahre BP)	Relative Abweichung (%)
CF	?	Y-3	25,3*	C-7 ?	26,9	23.930	5,9 - 12,6
ÄO	Petrazza-Tuffe	Y-9	75,3*	860-03	77,1	74.540	1,1 - 3,5
PA	Prä-Ignimbricit	-	-	P-10	84,0*	85.320	1,5
Ätna	Acireale	X-4	89,5*	-	-	89.570 ?	0,1

Unter Verwendung der in Tab.5.1, Tab.5.2 und Tab.5.3 angegebenen Altersdaten ist es möglich, ein vertrauenswürdiges tephrochronologisches Gerüst aufzustellen, welches das gesamte Monticchio-Sedimentprofil abdeckt. Prinzipiell kann mit diesem Altersmodell das von Narcisi (1996) vorgeschlagene, nur 56 ka umfassende tephrochronologische Grundgerüst des Kernprofils LGM-D bestätigt werden. Die Alter der von Narcisi (1996) vermutlich fehlkorrelierten Tephren „Sarno“ (L10) und „Codola“ (L11) wurden in dem neuen Altersmodell nicht berücksichtigt. Ebenso wurden die meisten der von Narcisi (1996) angegebenen Alter korrelierter proximaler Äquivalente durch aktuellere und präzisere Daten ersetzt.

Die neuerarbeitete Tephrochronologie zeigt gute Übereinstimmungen mit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie der Monticchio-Sedimente (Abb. 5.1). Die relativen Abweichungen beider Altersmodelle außerhalb der Fehlergrenzen sind in einzelnen Altersabschnitten unterschiedlich, betragen aber im Durchschnitt unter 5 %. Die größten Abweichungen sind im Topbereich des Kompositprofils zu finden. Anhand der Korrelation der Tephra LGM-88 mit dem Vesuv-Ausbruch von 1631 n.Chr. kann gezeigt werden, daß der Topbereich gestört ist bzw. mindestens 230 Jahre Sediment fehlen. In dem Altersabschnitt von 0,8 ka BP bis 18 ka BP ist trotz des anfänglichen Fehlers im Topbereich eine gute Übereinstimmung beider Chronologien gegeben (Abb.5.1). Lediglich zwischen 3 ka und 10 ka liegen die Warvenalter im Vergleich zu den präzisen



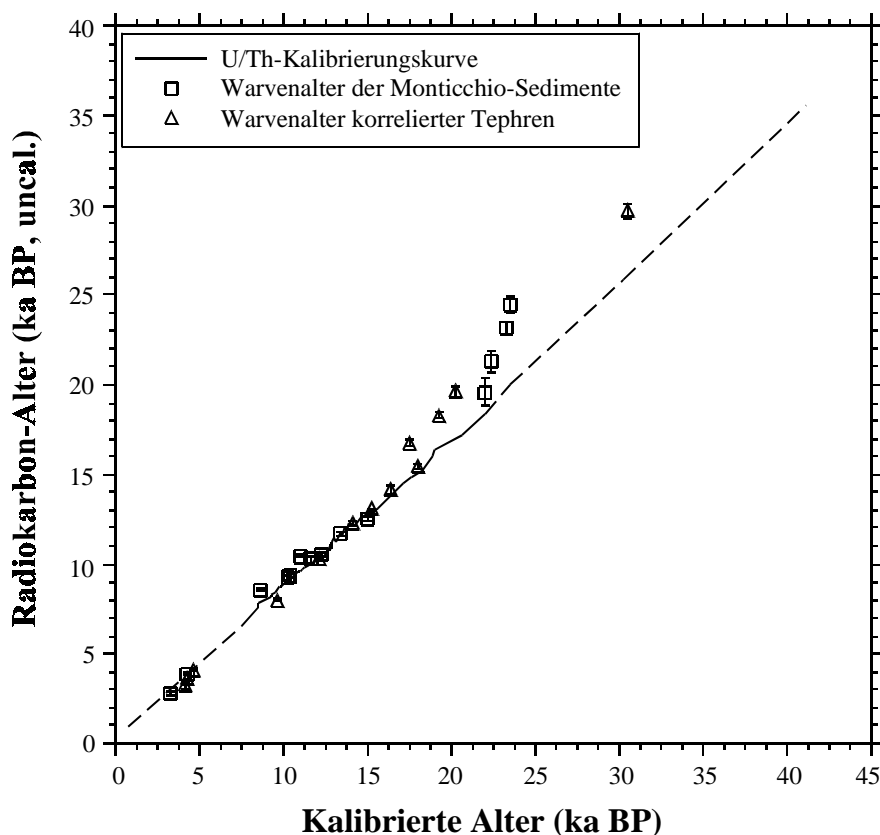
AMS- $^{14}\text{C}$ -Alter um wenige hundert Jahre zu hoch, so daß relative Abweichungen bis zu 10 % möglich sind. Diese Fehler dürfen jedoch nicht überbewertet werden, da die radiometrisch ermittelten Tephrenalter ausschließlich an unterlagernden Paläoböden ermittelt wurden und somit Minimalalter der Eruptionseignisse darstellen. Im Bereich  $> 17$  ka BP nehmen die Warvenalter systematisch zu junge Werte an. Die größte Abweichung von 4000 Jahren (11,3 %) ist bei einem Alter von etwa 33 ka BP erreicht und liegt hauptsächlich in dem präzisen  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter des „Campanischen Ignimbrites“ ( $37,1 \pm 0,4$  ka BP; Deino *et al.*, 1992, 1994; Tab.5.2) begründet. Eine Aufhebung dieses systematischen Fehlers ist bei spätestens 51 ka BP festzustellen. Der exakte Zeitpunkt der Übereinstimmung beider Chronologien kann nicht festgesetzt werden, da für den zwischenliegenden Altersbereich keine weiteren tephrochronologischen Fixpunkte vorliegen (Abb.5.1). Zwischen 51 ka und 95 ka BP sind keine signifikanten Abweichungen zwischen den tephrochronologischen Altern und der warvengestützten Sedimentationsratenchronologie erkennbar. Belegt wird dieses u.a. durch die hochpräzisen  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter der „Grünen Epomeo-Tuffe“ ( $55 \pm 2$  ka,  $56 \pm 4$  ka; Watts *et al.*, 1996a; Kraml, 1997), die mitunter die wichtigsten Stützpunkte der Tephrochronologie darstellen (Abb.5.1).



**Abb. 5.1:** Vergleich der tephrochronologischen Alter einschließlich Fehlerbereiche mit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie der Monticchio-Sedimente.

Im älteren Teil (70 ka – 95 ka BP) bestätigen zum anderen K/Ar- und interpolierte Alter die gute Übereinstimmung beider Chronologien. Diese z.T. mit hohen analytischen Fehlern behafteten Alter reichen jedoch nicht unbedingt an die erforderliche Präzision heran und sollten daher bezüglich ihrer Aussagekraft nicht überschätzt werden. Im Gegensatz dazu deutet das im Basisbereich des Monticchio-Profiles befindliche präzise  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter der „X-5“-Tephra ( $105 \pm 2$  ka BP; Kraml, 1997) auf zu niedrige Warvenalter (ca. 5% Fehler) hin. Die Altersabweichung von 4-5 ka äußert sich ebenfalls im Vergleich der paläomagnetischen Daten der Monticchio-Sedimente mit den Sedimenten des Lac du Bouchet (Brandt *et al.* (1999). Die dabei im unteren Profilabschnitt auftretenden Altersunterschiede von ca. 5 ka wurden von Brandt *et al.* (1999) mit den unterschiedlichen Datierungsmethoden beider Sedimentsequenzen erklärt. Tatsächlich scheint der Fehler jedoch in den Sedimenten des Monticchio-Profiles begründet zu liegen. Bohrartefakte und das generelle Fehlen überlappender Kerne im unteren Profilabschnitt (>75 ka) können hier als mögliche Ursachen der Altersunterschätzung der Sedimente in Betracht gezogen werden.

Zusammenfassend zeigt die neuerstellte Tephrochronologie mit Abweichungen von etwa  $\pm 5\%$  eine sehr gute Übereinstimmung mit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie der LGM-Sedimente. Mit dieser Bestätigung nimmt die Sequenz des Lago Grande di Monticchio bezüglich ihrer zeitlichen Stellung (100 ka) und ihrer hochaufgelösten, unabhängigen Chronologie eine Sonderstellung im europäischen Raum ein.



**Abb. 5.2:** Vergleich der warvenkalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Alter der Monticchio-Sedimente und korrelierten Tephren mit U/Th-kalibrierten Radiokarbon-Daten an Korallen von Barbados, Tahiti, Mururoa und Neu-Guinea (Bard *et al.*, 1998).

Überlegungen werden derzeit angestellt, inwieweit diese Kalenderjahr-Chronologie zur Kalibrierung von Radiokarbon-Altern, besonders für den Altersbereich  $> 10$  ka, geeignet ist. Der Vergleich von Radiokarbonaltern der Monticchio-Sedimente und korrelierten Tephra-Äquivalente, die mit dem standardmäßigen U/Th-Kalibrierungsverfahren nach Bard *et al.* (1998) korrigiert wurden, mit ihren entsprechenden Warven- und Sedimentationsraten-Altern zeigt u.a., daß die Monticchio-Chronologie für den Zeitabschnitt von 15 ka BP bis rezent eine durchaus adäquate Kalibrierungsmethode darstellt (Abb.5.2). Im älteren Bereich (15-30 ka BP) sind signifikante Abweichungen beider Kalibrierungskurven von bis zu 4 ka zu erkennen. Diese Differenz spiegelt sich ebenfalls in den oben beschriebenen tephrochronologischen Ergebnissen wider und liegt eindeutig in einer Ungenauigkeit der Warven- und Sedimentationsratenchronologie begründet. Um die dennoch einzigartige Chronologie des Monticchio-Profiles als zukünftige  $^{14}\text{C}$ -Kalibrierungskurve zu etablieren, muß generell der Datensatz an AMS- $^{14}\text{C}$ -Altern der Monticchio-Sedimente  $> 15$  ka BP vergrößert werden. Wichtig ist zudem eine zusätzliche Absicherung durch präzise, unabhängige Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von Tephren.

## 6 Korrelation terrestrischer und mariner Archive

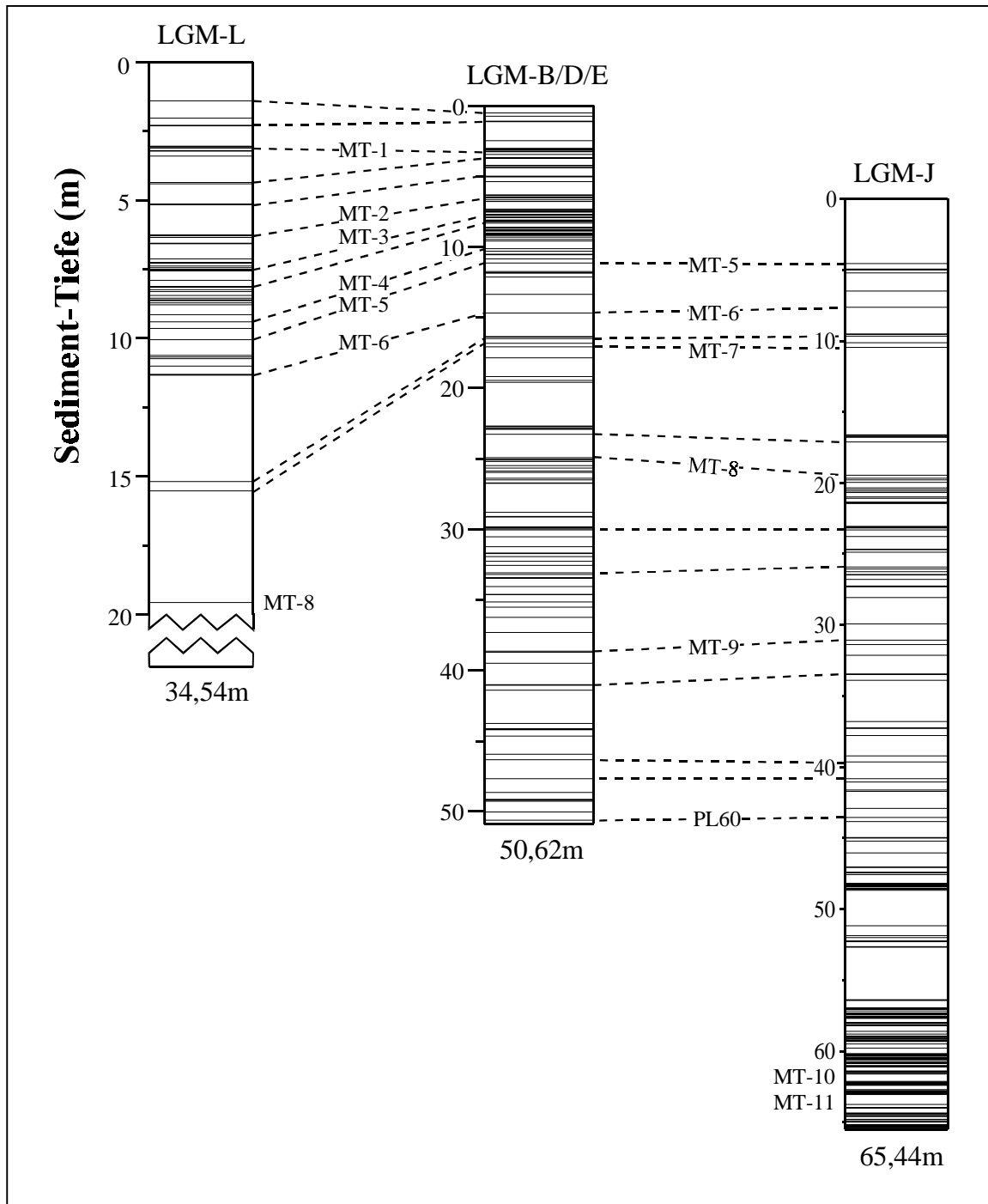
### 6.1 Korrelation der Sedimentkerne des Lago Grande di Monticchio

Die zahlreichen Tephralagen in der Monticchio-Sequenz können zur Korrelation der einzelnen Sedimentprofile aus dem Lago Grande di Monticchio genutzt werden. Als Markerhorizonte stellen sie eine wichtige Grundlage für den Vergleich der sedimentologisch-chemischen (Zolitschka and Negendank, 1996; Brauer *et al.*, 1997; Brauer *et al.*, im Druck) und paläomagnetischen Daten (Brandt *et al.*, 1999; Creer & Morris, 1996; Turton, 1993) der Monticchio-Kerne untereinander dar. Die Korrelationen wurden auf mikroskopischer Basis für das Kompositprofil LGM-B/D/E sowie für die Kerne LGM-L und LGM-J durchgeführt und betreffen ausschließlich den Zeitraum der letzten 75 ka (Abb.6.1, Anhang A). Zunächst kann aufgrund der Verwendung von drei verschiedenen Sedimentkernen davon ausgegangen werden, daß das Kompositprofil LGM-B/D/E mit einer Länge von 50,62 m einer vollständigen Abfolge der im Lago Grande di Monticchio abgelagerten Fallout-Tephren entspricht. Dieses Profil ist somit als intralakustrines, tephrochronologisches Referenzprofil für die letzten 75.611 Jahre anzusehen.

Der Vergleich der Tephren aus Kern LGM-B/D/E mit denen aus dem steilen Westufer-Hangbereich stammenden Kern LGM-L zeigt, daß dieser in mehreren Abschnitten durch Umlagerung der Sedimente gekennzeichnet ist. Anhand einiger markanter Tephralagen (z.B. MT-6) können besonders im unteren Profilbereich des 35,54 m langen LGM-L-Kernes Schichtverdopplungen und -umkehrungen (z.B. MT-8) nachgewiesen werden, die auf die gestörte Ablagerung der Sedimente hindeuten. Im oberen Kernabschnitt bis etwa 15,5 m Sedimenttiefe (< 26.537 Jahre BP) sind die markanten Tephralagen sowohl in ihrer Anzahl als auch in ihren Mächtigkeiten und Zusammensetzungen mit denen im Kompositprofil LGM-B/D/E vergleichbar (Abb.6.1, Anhang A). Lediglich im Topbereich (Kerne L1-o und L1-u) sowie in den Kernen L3-o und L3-u weist das mehrfache Auftreten von identischen Tephralagen (z.B. LGM-Alter 88 bzw. 4619 Jahre BP) auf gestörtes Sedimentmaterial hin. Dieses sollte bei der Interpretation der Proxydaten des LGM-L-Kernes berücksichtigt werden.

Der mit 65,44 m längste Sedimentkern LGM-J überlappt im oberen Profilbereich sowohl mit Kern LGM-L als auch mit dem Kompositprofil LGM-B/D/E. Eine Anknüpfung an beide Kerne ist jedoch erst an der Markertephra MT-5 (19.282 Jahre BP) möglich, da die obersten 4,5 m Sediment des LGM-J-Kernes gestört sind und die rezenten Ablagerungen bei der Bohrung nicht erfaßt wurden. Für die Erstellung des Kompositprofils LGM-L/J konnten daher nur neun Tephralagen, darunter die Markertephren MT-5 und MT-6, verwendet werden (Abb.6.1). Dagegen ließen sich die gesamten oberen 43,56 m Sediment des LGM-J-Kernes (19.282 - 75.611 Jahre BP) mit dem unteren Abschnitt des Referenzprofils LGM-B/D/E korrelieren (Abb.6.1). Bis auf einige wenige, geringmächtige Tephralagen stimmt das Tephrenspektrum beider Profile überein, was auf eine ungestörte Ablagerung der LGM-J-Sedimente schließen läßt. Den ältesten Korrelationshorizont bildet die Tephralage PL-60, die gleichzeitig eine Funktion als Einhängepunkt des LGM-J-Profiles an das kürzere Kompositprofil LGM-B/D/E übernimmt.

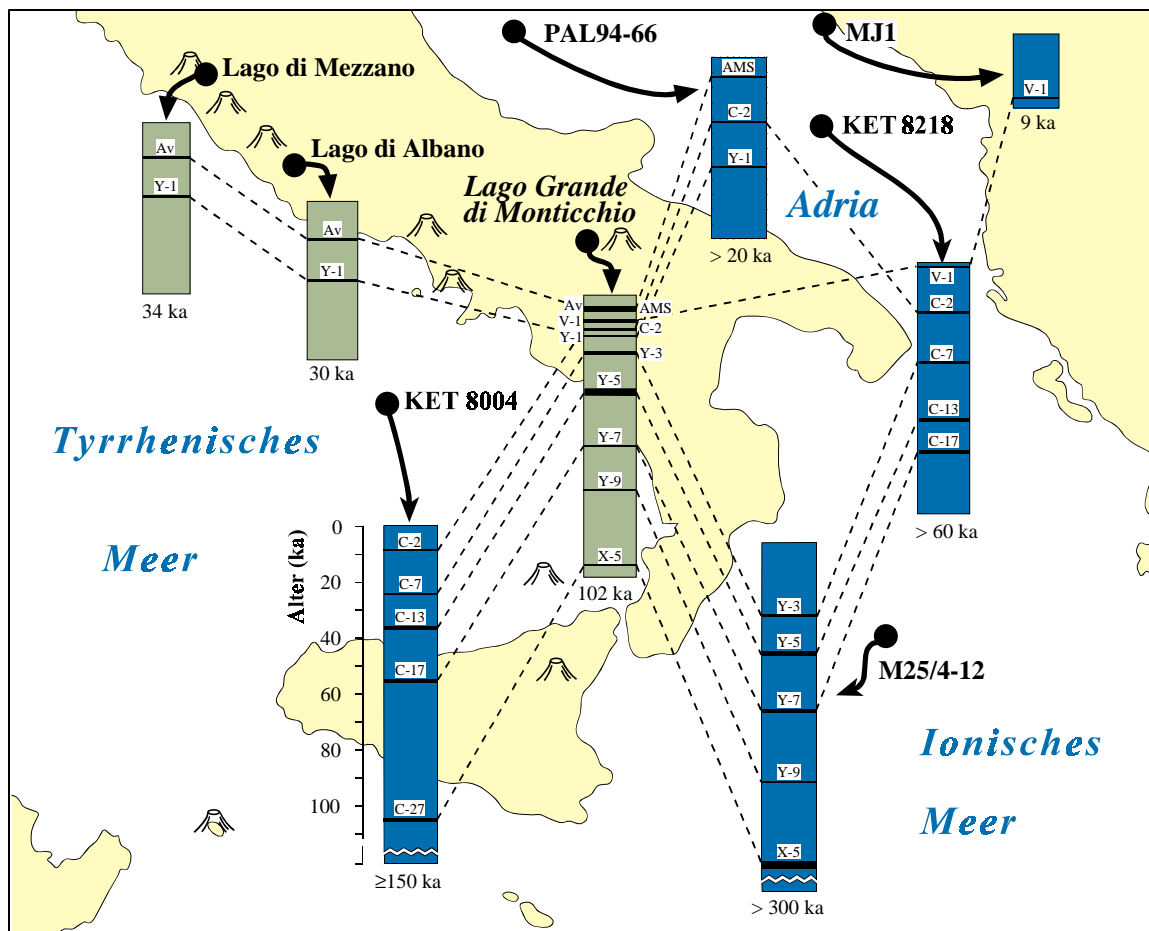
Für den unteren Teil des LGM-J-Profiles zwischen 43,56m und 65,44m (75.611 – 101.670 Jahre BP) existiert kein weiteres, überlappendes Kernprofil (Abb.6.1), so daß die Vollständigkeit des Tephrenspektrums für diesen Bereich vorerst in Frage gestellt werden muß.



**Abb. 6.1:** Korrelation der Sedimentprofile LGM-L, LGM-B/D/E und LGM-J des Lago Grande di Monticchio anhand markanter Tephralagen; MT = Markertephra, PL = Pyroklastische Lage: Bezeichnungen nach Zolitschka & Negendank (1993); eine Gesamtübersicht der Korrelationen ist in Anhang A gegeben.

## 6.2 Korrelation mit terrestrischen Sequenzen

Die Tephren aus dem Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio stellen neben ihrer Funktion als unabhängige Zeitmarker ideale Korrelationshorizonte dar, anhand derer eine Verknüpfung mit bis zu 100 ka alten Sequenzen sowohl aus dem terrestrischen als auch aus dem marinen Mittelmeerraum möglich ist (Abb.6.2). Damit wird die Grundlage für den paläoklimatologischen Vergleich anhand der chemisch-sedimentologischen und paläontologisch-palynologischen Proxydaten des Monticchio-Profiles mit anderen Kernarchiven geschaffen.



**Abb. 6.2:** Korrelation von terrestrischen und marinen Sedimentsequenzen des östlichen und westlichen (zentralen) Mittelmeerraums anhand von Markertephren; Referenzen: *Lago di Mezzano*: Ramrath (1997), Ramrath et al. (1999); *Lago di Albano, Adria (RF93-77)*: Calanchi et al. (1998), Calanchi et al. (1996b); *Tyrrhenisches Meer, Adria (KET 8218)*: Paterne et al. (1986, 1988, 1990); *Ionisches Meer (M25/4-12)*: Kraml (1997); *Adria (Mljet, MJ1)*: Jahns & van den Bogaard (1998).

Im kontinentalen Bereich ist dieser Vergleich bislang auf relativ kurze lakustrine Sequenzen aus Maar- und Kraterseen in Mittelitalien beschränkt. Zwei dieser Sequenzen sind aus den Kraterseen Lago di Albano (PALB) und Lago di Nemi (PNEMI) bekannt, die in 260 km Entfernung zum Lago Grande di Monticchio im Vulkangebiet der Albaner Berge gelegen sind (Abb.2.4, Abb.6.2). Das längste der erbohrten Sedimentprofile des Lago di Albano reicht AMS-<sup>14</sup>C-Datierungen zufolge bis auf ca. 30 ka BP zurück,

wohingegen das einzige Profil des Lago di Nemi lediglich die letzten 10 ka umfaßt (Chondrogianni *et al.*, 1996). In den Sedimenten beider Seen ist die *Avellino*-Tephra des Vesuvs (Av, 3,6 ka BP uncal.) mit vergleichsweise hohen Mächtigkeiten von 2 cm (Albano) und 3 cm (Nemi) dokumentiert (Tab. 6.1). Zusätzlich wurden in einigen Kernen des Lago di Albano (PALB 94/1C, PALB 94/1E) die Fallablagerungen des *Biancavilla-Ignimbrites* (Y-1, Ätna, ca. 17 ka BP) gefunden, die mit Mächtigkeiten von 2 cm ebenfalls als markante Korrelationshorizonte für den Vergleich mit marinen Adria-Kernen genutzt wurden (Calanchi *et al.*, 1998; Calanchi *et al.*, 1996b; Chondrogianni *et al.*, 1996).

Der Maarsee Lago di Mezzano (LMZ) ist ca. 100 km nordöstlich von Rom in der Caldera di Latera (Vulsiner Berge) gelegen (Abb.2.4, Abb.6.2) und weist eine Entfernung von ca. 370 km zum Lago Grande di Monticchio auf. Das 29,7 m lange Sedimentprofil umfaßt einer kombinierten warvengestützten Sedimentationsraten- und Radiokarbon-Chronologie zufolge die letzten 34 ka (Ramrath, 1997; Ramrath *et al.*, 1999). Hier konnten insgesamt vier diskrete pyroklastische Lagen ausgemacht werden, von denen die zwei jüngeren im Rahmen dieser Arbeit tephrochronologisch bearbeitet wurden. Analog zu den Sedimentprofilen von Albano und Nemi lassen sich diese beiden Tephren auf geochemischer Basis mit den oben erwähnten Ereignissen *Avellino* (Av) und *Biancavilla* (Y-1) korrelieren (siehe Tab.6.1). Die jüngere *Avellino*-Tephra weist in Mezzano eine Mächtigkeit von 1 mm auf und konnte anhand der Chronologie der Sedimente auf ein Alter von 3950 Jahre BP eingestuft werden (Ramrath, 1997). Für die 6 mm mächtigen Fallablagerungen des *Biancavilla-Ignimbrites* ergab sich ein anhand von AMS-<sup>14</sup>C-Daten interpoliertes Alter von 14.330 Jahren BP (uncal., Ramrath, 1997).

**Tab. 6.1:** Gegenüberstellung chemischer Analysendaten wichtiger Korrelationstephren aus den terrestrisch-lakustrinen Sedimentprofilen des Lago di Nemi (PNEMI94/1B), Lago di Albano (PALB94/1C), Lago di Mezzano (LMZ) und Lago Grande di Monticchio (LGM). Die Bezeichnungen der Tephren aus den Profilen des Lago di Mezzano und Lago Grande di Monticchio richten sich nach den Altern der jeweiligen Chronologien. \* SEM-EDS-Daten aus Calanchi *et al.* (1996b); # Mikrosondendaten (EMPA), diese Arbeit; Angaben in Gew.%.

Probe	Avellino			Biancavilla		
	PNEMI94/1B*	LMZ-3950 #	LGM-4313 #	PALB94/1C*	LMZ-14.330 #	LGM-16.444 #
SiO <sub>2</sub>	55,82	56,02	57,97	60,38	60,33	60,64
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,18	0,16	1,43	1,40	1,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,12	23,47	22,39	17,75	17,33	17,06
FeO	1,63	1,97	1,87	5,30	5,29	5,55
MnO	0,07	0,14	0,13	0,18	0,19	0,18
MgO	0,10	0,22	0,09	2,05	1,99	1,85
CaO	1,96	2,20	1,58	4,13	4,55	4,03
Na <sub>2</sub> O	9,46	8,42	8,26	5,32	5,79	5,46
K <sub>2</sub> O	7,26	6,74	7,19	3,18	2,82	3,30
Cl	0,56	0,65	0,37	0,28	0,32	0,42
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Mit dem Auftreten dieser beiden petrologisch markanten und präzise datierten Tephralagen in den mittelitalienischen Kernsequenzen und im süditalienischen Monticchio-Profil stehen nunmehr Korrelationshorizonte zur Verfügung, die einen regionalen bis überregionalen Vergleich dieser Sequenzen für den Altersbereich des Holozäns und des letzten Spätglazials erlauben.

Vulkanologisch betrachtet zeigen das Auftreten und die relativ zueinander stehenden Mächtigkeiten der *Avellino*-Tephra und des *Biancavilla-Ignimbrites* in den lakustrinen Sequenzen von Albano, Nemi, Mezzano und Monticchio eine wesentlich weitere und nördlichere Verbreitung dieser Tephren an, als zuvor angenommen wurde. Besonders die Fallablagerung des *Biancavilla-Ignimbrites* stellt aufgrund ihrer Mächtigkeit eine präzise tephrochronologische Zeit- und Korrelationsmarke dar, die auch noch in entfernteren Klimaarchiven nördlich des Lago di Mezzano zu finden sein könnte.

### 6.3 Korrelation mit marinen Sequenzen

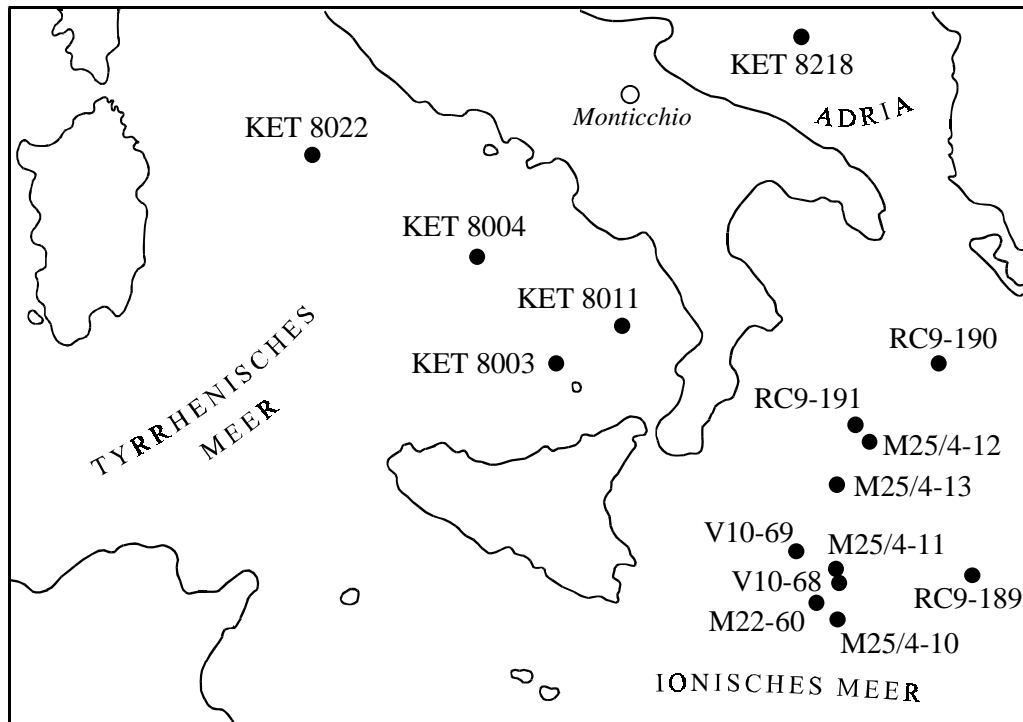
Tiefsee-Sedimente aus dem östlichen und zentralen Mittelmeer bergen eine Vielzahl von Tephralagen, die im wesentlichen von italienischen und griechischen Vulkanprovinzen stammen und sich aufgrund ihrer verschiedenartigsten Zusammensetzungen auszeichnet zur Anwendung von Tephrostratigraphie eignen (Tab.1.1). Eine beträchtliche Anzahl von Aschenlagen, die auf Großeruptionen italienischer Vulkane zurückzuführen sind, bieten erstmalig die Möglichkeit, einen direkten marin-terrestrischen Vergleich von Sedimentarchiven durchzuführen, die den letzten glazialen/interglazialen Zyklus (ca. 100 ka) aufgezeichnet haben. Damit nimmt das Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio gegenüber den anderen, vergleichsweise kurzen terrestrischen Sequenzen eine Schlüsselposition im mediterranen Raum ein, mittels derer u.a. marine Tiefsee-Profile aus der Adria, dem Tyrrhenischen und Ionischen Meer verknüpft werden können (Abb.6.2).

#### 6.3.1 Ionisches Meer

Ein Großteil der marinen Sedimentkerne stammt aus dem östlich bis nordöstlich von Sizilien gelegenen Ionischen Meer (Abb.6.3). Grundlegende Arbeiten zur Tephrostratigraphie dieser Kerne für den Zeitraum der letzten 200 ka wurden im wesentlichen von Keller *et al.* (1978) an den *Vema*-Kernen V10-68, V10-69, den *Robert-Conrad*-Kernen RC9-189, RC9-190, RC9-191 sowie dem *Meteor*-Kern M22-60 durchgeführt. Insgesamt 16 Tephralagen (Z-1, Y-1, Y-3, Y-5, Y-6, Y-7, Y-8, X-1, X-2, X-3, X-4, X-5, X-6, W-1, V-2 und V-3) wurden erstmals mineralogisch und geochemisch (RFA-Gesamtanalyse) charakterisiert und mit Vulkanzentren der Campanischen Provinz, des Ätnas, der Äolischen Inseln und Pantelleria korreliert (siehe Tab.1.1). Erste Alterseinstufungen dieser Aschenlagen erfolgten anhand von Kalibrierungen an marinen Sauerstoffisotopenkurven und Interpolationen von Sapropelaltern. Für den direkten Vergleich mit dem tephrochronologischen Profil des Lago Grande di Monticchio sind derzeit die 1993 im Ionischen Meer erbohrten *Meteor*-Kerne M25/4-10, M25/4-11, M25/4-12 und M25/4-13 (Kraml, 1997) von bedeutendem Interesse (Abb.6.3). Mindestens 17 Tephralagen konnten in diesen bis zu 300 ka umfassenden Sedimentprofilen nachgewiesen werden. Basierend auf den geochemischen Merkmalen ihrer vulkanischen Gläser (Mikrosonde) wurden diese mit den bereits von Keller *et al.* (1978) beschriebenen Äquivalenten korreliert (Z-1, Y-1, Y-3, Y-5, Y-6, Y-7, Y-8, Y-9, X-4, X-5, X-6, W-1, V-2) oder z.T. neu charakterisiert (W-0, V-0, V-4; Keller *et al.*, 1996; Kraml, 1997; Scheld, 1995). Durch Kombination von hochpräzisen Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -



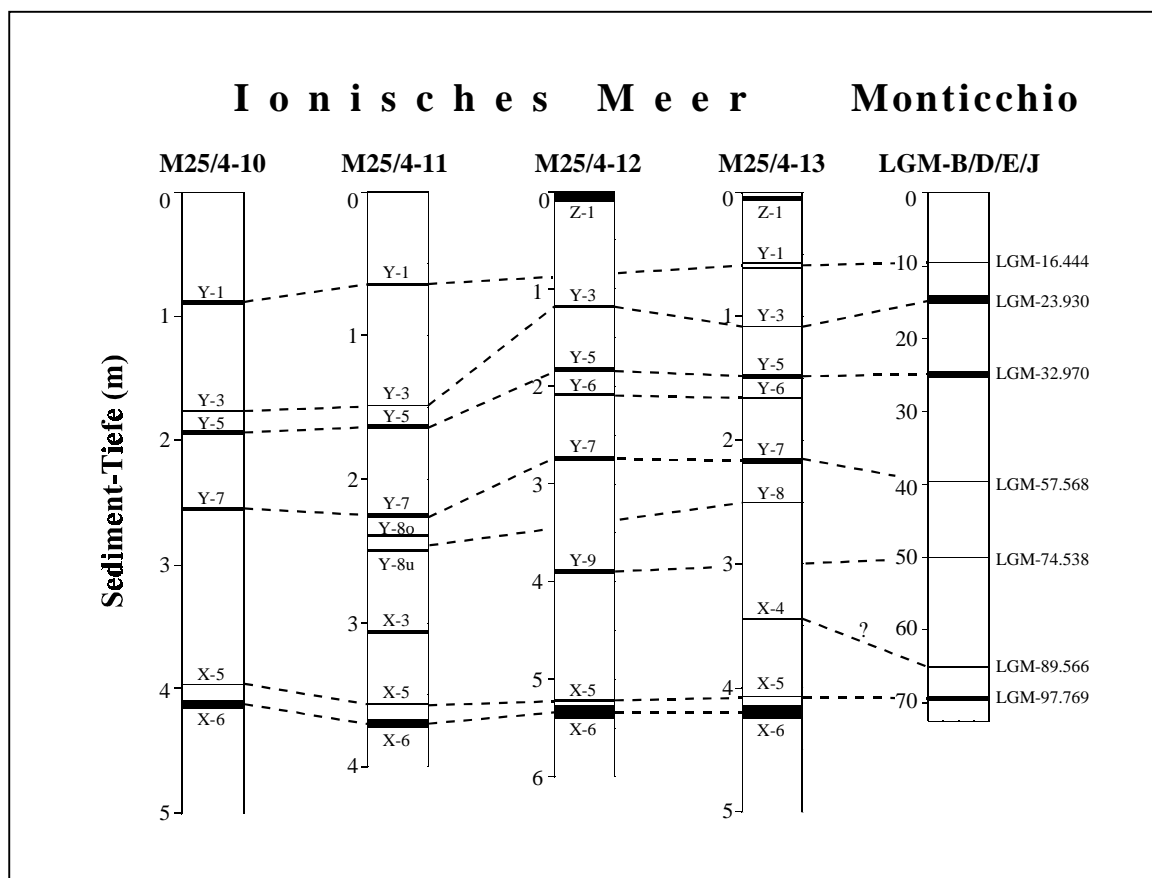
Datierungen an einigen dieser Tiefsee-Aschen bzw. an ihren proximalen Äquivalenten und Interpolationen von Sapropelaltern gelang es hier Kraml (1997), die Alter italienischer Großeruptionen zu präzisieren und damit einen Beitrag zur Kalibrierung der quartären Zeitskala zu leisten. Korrelationen dieser distalen Tiefsee-Aschen mit Tephren aus dem Monticchio-Profil spielen daher auch für die Absicherung der Chronologie des terrestrischen Profils eine große Rolle.



**Abb. 6.3:** Detailkarte der wichtigsten Bohrlokationen mariner Sedimentkerne aus dem Ionischen Meer (Keller *et al.*, 1978; Kraml, 1997), der Adria und dem Tyrrhenischen Meer (Paterne *et al.*, 1986, 1988).

Anhand der Vergleiche mit unveröffentlichten Mikrosondendaten vulkanischer Gläser (J. Keller & M. Kraml, mündl. Mitteilung 1999) zeigen mindestens sechs Aschenlagen aus den erwähnten *Meteor*-Kernen eine nahezu exakte Übereinstimmung mit Geochemiedaten von Monticchio-Tephren (Abb.6.4, Tab.6.2). Zu den jüngsten dieser Korrelationslagen gehört die *Y-1*-Tephra, die mit zwei diskreten Lagen im Kern M25/4-13 dokumentiert ist und deren interpolierte Alter von etwa 17 ka BP (Kraml, 1997) in guter Übereinstimmung mit den  $^{14}\text{C}$ -Daten des terrestrischen „Biancavilla-Ignimbrites“ stehen. Die nächst älteren Korrelationstephren bilden *Y-3* (Phlegräische Felder), *Y-5* (Campanischer Ignimbrit, Phlegräische Felder) und *Y-7* (UMSA, Ischia), deren Alter in Kern M25/4-12 auf 24,8 ka, 36,7 ka bzw. 53,7 ka BP errechnet wurden (Kraml, 1997). Einen weiteren Markerhorizont stellt die *Y-9*-Tephra (Petrazza-Tuffe) dar, die nur in Kern M25/4-12 vorkommt und dort ein sapropelstratigraphisches Alter von 75,3 ka BP besitzt. Die *Y-9*-Tephra, in früheren Arbeiten als *X-1*-Tephra beschrieben, wurde aufgrund ihres kalkalkalinen Chemismus sowie ihrer großflächigen Verbreitung im Ionischen und Ägäischen Meer sowohl mit den Griechischen als auch Äolischen Inseln in Verbindung gebracht (Keller *et al.*, 1978). Unterdessen wurde nachgewiesen, daß *X-1* aus zwei verschiedenen, zeitlich dicht

aufeinanderfolgenden Eruptionen beider Provinzen resultierte, und somit eine Änderung der Nomenklatur erforderlich war. Die Bezeichnung *X-1* wurde für die im Ägäischen Meer verbreitete Tephra beibehalten, wohingegen die aus dem Ionischen Meer bekannte Variante in *Y-9* umbenannt wurde (J. Keller, mündl. Mitteilung, 1999). Die älteste Korrelationslage für den Vergleich mit dem Monticchio-Profil wird durch die *X-5*-Tephra repräsentiert, deren Alter anhand präziser Laser- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen auf  $105 \pm 2$  ka festgelegt worden ist (Kraml, 1997). Bezüglich der Herkunft der *X-5* wurde bislang die Römische Vulkanprovinz in Betracht gezogen (Kraml, 1997; Morche, 1988), jedoch sprechen die petrologischen Merkmale dieser Tephra eher für ein Eruptionszentrum in der Campanischen Provinz (siehe Kapitel 4.3.2).



**Abb. 6.4:** Tephrochronologischer Vergleich mariner Sedimentkerne aus dem Ionischen Meer (Kraml, 1997) mit dem terrestrisch-lakustrinen Profil des Lago Grande di Monticchio.

Die vom Ätna stammende *X-4*-Tephra (Acireale; 89,5 ka BP; Kraml, 1997) kann als zusätzliche Korrelationsmarke hinzugezogen werden, doch muß beachtet werden, daß bislang noch keine geochemische Absicherung für das Monticchio-Äquivalent LGM-89.566 vorliegt.

Die holozäne Vesuv-Tephra *Z-1* (ca. 2 ka) konnte als marin-terrestrischer Korrelationshorizont nicht verwendet werden, zumal ihre Zuordnung zu einem bestimmten Ereignis bislang noch zur Diskussion steht. Keller *et al.* (1978) korrelieren die tephritische *Z-1*-Tephra mit der „Avellino“-Eruption des Somma-Vesuvus (ca. 3,6 ka BP uncal.), berücksichtigen dabei jedoch nicht die hohen Leuzit-Gehalte, die eher typisch für den

jüngeren Pompeji-Ausbruch von 79 n.Chr. oder die in dieser Arbeit beschriebenen interplinianischen Eruptionen (AP, ca. 3,2 ka BP uncal.) sind. Eine geochemische Unterscheidung dieser beiden Ereignisse ist nur schwer möglich, jedoch stützen der zusätzliche Melanit-Mineralbestand in der Z-1-Tephra (Keller *et al.*, 1978) sowie die betonte südöstliche Verbreitung dieser Asche eine mögliche Korrelation mit der Pompeji-Eruption. Diese Vermutung wird ebenfalls durch die Ergebnisse gesteinsmagnetischer Messungen untermauert, die an der Z-1-Tephra (J. Keller & M. Kraml, Material freundlicherweise zur Verfügung gestellt) und den in Frage kommenden proximalen und distalen pyroklastischen Äquivalenten durchgeführt wurden (U. Frank, mündl. Mitteilung, 2000).

**Tab. 6.2 :** Land-Meer-Korrelationen (Monticchio – Ionisches Meer – Tyrrhenisches Meer) anhand individueller Tephralagen, abgeleitet von Morche (1988) und Kraml (1997); Altersdaten aus <sup>(1)</sup> Kraml (1997); <sup>(2)</sup> Paterne & Guichard (1993), Paterne *et al.* (1986, 1988, 1990); # = interpolierte Sapropelalter aus Kern M25/4-13 (Ionisches Meer); \* = Literaturalter (<sup>14</sup>C uncal., K/Ar) terrestrischer Tephra-Äquivalente; § = korrigierte Korrelationen nach Morche (1988); SV = Somma-Vesuv, CF = Phlegräische Felder, PR = Prócida, IS = Ischia, ÄI = Äolische Inseln, PA = Pantelleria, CP = Campanische Provinz; NYT = Gelber Napolitanischer Tuff; GCI = Grauer Campanischer Ignimbrit; UMSA = Unitá di Monte San Angelo (Tufo Verde Epomeo).

Vulkan	Ereignis	Ionisches Meer	Sapropel-Alter M25/4-12 (ka) <sup>(1)</sup>	Tyrrhenisches Meer	$\delta^{18}\text{O}$ -Alter (ka) <sup>(2)</sup>	Monticchio Alter (Jahre BP)
CF	NYT	-	-	C-2	12,3*	14.115
Ätna	Biancavilla	Y-1	16,7 / 17,6 #	Et-1	14,2*	16.444 / 17.976
PR	Solchiaro	-	-	C-4	19,6*	20.229
CF	CI-Serie ?	Y-3	24,8	C-7	26,9	23.930
CF	CI-Serie ?	-	-	C-9	36,0	31.393
CF	GCI	Y-5	36,7	C-13 §	40,0*	32.970
IS	Barano	-	-	C-16	51,0*	51.811
IS	UMSA	Y-7	53,7	C-17 §	55,4*	57.568
ÄI	Petrazza-Tuffe	Y-9	75,3	860-03	77,1	74.538
PA	Prä-Ignimbrit	-	-	P-10	84,0	85.323
Ätna	Acireale	X-4	89,5 #	-	-	89.566
CF	?	X-5	103,5	C-27 §	?	97.769
CP	Palinuro	X-6	107,2	958-04 §	?	-

### 6.3.2 Tyrrhenisches Meer

Die Tiefsee-Sedimentkerne des nördlich von Sizilien gelegenen Tyrrhenischen Meeres, (Abb.6.3) bergen aufgrund der Nähe zu den aktiven italienischen Vulkanprovinzen (Äolische Inseln, Campanische Vulkane) eine weitaus größere Anzahl von Tephralagen als die des entfernter gelegenen Ionischen Meeres. Paterne *et al.* (1986, 1988, 1990) konnten in vier Kolbenlotkernen (KET 8003, 8004, 8011, 8022; Abb.6.3) für den Zeitraum der letzten 190 ka insgesamt 151, zumeist disperse Tephralagen identifizieren, von denen neun Lagen mit datierten proximalen Land-Äquivalenten italienischer Vulkane

korreliert wurden. Die Alter dieser Aschenlagen, im wesentlichen unkalibrierte  $^{14}\text{C}$ -Alter und K/Ar-Alter (Cassignol-Methode), wurden als Fixpunkte für das Altersmodell verwendet, und die übrigen unkorrelierten Tephren anhand der vorliegenden  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve zeitlich eingestuft. Diese Chronologie ist jedoch aufgrund der nachgewiesenen Umlagerungen von Aschen (Calanchi *et al.*, 1994; McCoy & Cornell, 1990) und den daraus resultierenden Fehlkorrelationen (Morche, 1988) mit großen Unsicherheiten behaftet. Es konnte u.a. gezeigt werden, daß Turbiditschüttungen die Sedimentation im Tyrrhenischen Meer stark beeinflussen, und Tephren nur in Ausnahmefällen als Fallout-Lagen erhalten sind (Hieke *et al.*, 1990; McCoy & Cornell, 1990). Die meisten vulkaniklastischen Turbidite zeigen heterogene Zusammensetzungen der Gläser mit unterschiedlichen Liefergebieten an und sind somit nicht zur Korrelation mit Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil geeignet.

Paterne *et al.* (1986, 1988) entwickelten für markante Tephren aus Sedimenten des Tyrrhenischen Meeres und der Adria eine eigenständige Nomenklatur, die sich im wesentlichen nach Eruptionsquelle oder Sedimenttiefe der einzelnen Lagen richtet. In Anlehnung an Morche (1988) und Kraml (1997) lassen sich einige dieser markanten Lagen mit marinen Tephren aus den Sedimenten des Ionischen Meeres vergleichen (siehe Tab.6.2). Bezüglich des tephrochronologischen Referenzprofils des Lago Grande di Monticchio können insgesamt elf Tephralagen zur Korrelation mit den Tiefsee-Sedimenten des Tyrrhenischen Meeres herangezogen werden. Sechs dieser Korrelationslagen sind identisch mit den Aschen Y-1, Y-3, Y-5, Y-7, Y-9 und X-5 aus dem Ionischen Meer (siehe Kapitel 6.3.1) und werden von Paterne *et al.* (1986, 1988) als *Et-1*, *C-7*, *C-13*, *C-17*, *860-03* bzw. *C-27* bezeichnet (Abb.6.5, Tab.6.2).

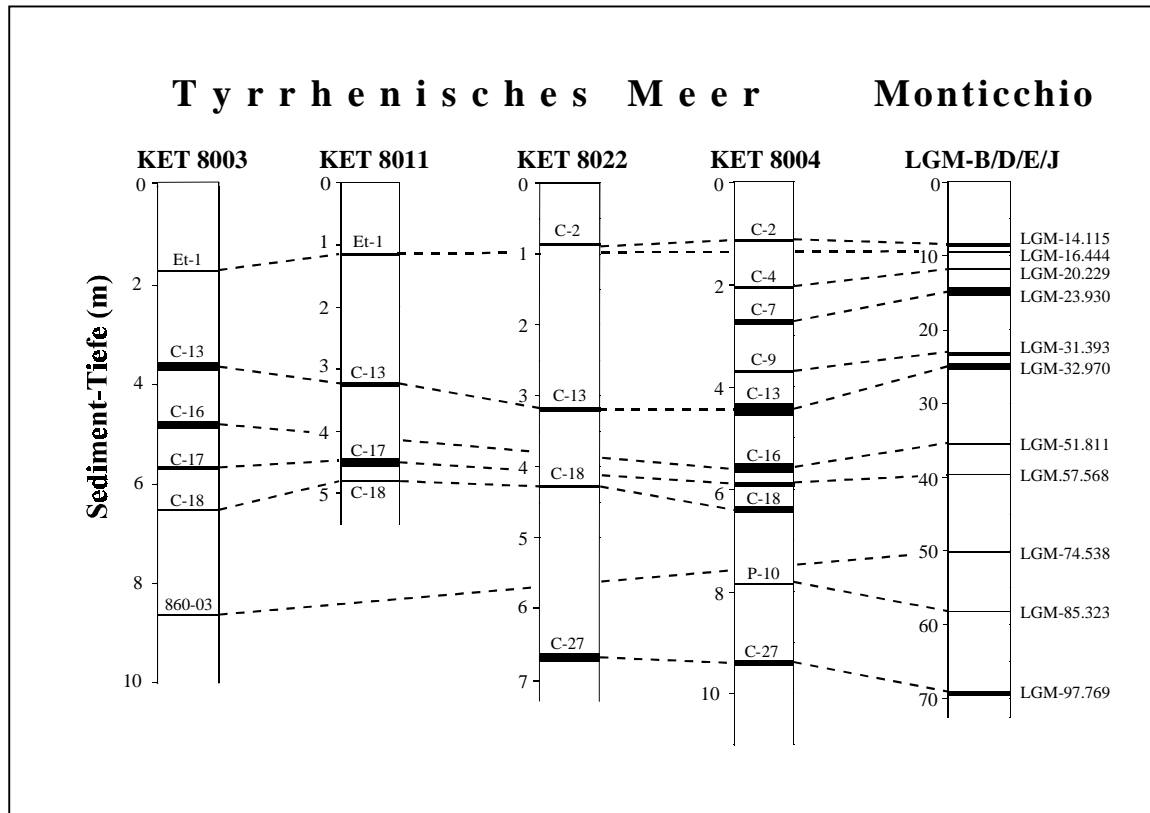
Bei den restlichen fünf Tephralagen handelt es sich um Großeruptionen, deren Fallablagerungen auf einer eher östlichen bis nordöstlichen Hauptverbreitungssachse liegen und bislang noch nicht im Ionischen Meer gefunden wurden. Dazu gehört zunächst der „Gelbe Napolitanische Tuff“ (NYT, 12,0 ka BP uncal., Alessio *et al.*, 1973; Alessio *et al.*, 1971; Rosi & Sbrana, 1987; Scandone *et al.*, 1991), der als *C-2*-Tephra weit bis in den adriatischen Raum verbreitet ist (Paterne *et al.*, 1986).

Die Fallprodukte der „Solchiaro“ Eruption von Prócida (19,6 ka BP uncal. (Alessio *et al.*, 1976), distal bislang nur aus terrestrischen Profilen auf Ischia und als *C-4*-Tephra aus dem marinen Sedimentkern KET 8004 des Tyrrhenischen Meeres bekannt, zeigen mit der Ablagerung im Lago Grande di Monticchio eine weitaus größere Verbreitung an als zuvor angenommen.

Einen weiteren Korrelationshorizont bildet die *C-9*-Tephra, die von Paterne *et al.* (1986) zur Campanischen Ignimbrit-Serie gestellt und zeitlich anhand der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie des Kernes KET 8004 auf 36,0 ka BP eingestuft wurde (siehe Kapitel 4.3.2).

Die von Ischia stammende Tephra *C-16* wurde von Paterne *et al.* (1986) mit der Barano-Eruption der „Grünen Epomeo Tuffe“ (51 ka BP; Poli *et al.*, 1987) gleichgesetzt und ist mit der Monticchio-Tephra LGM-51.811 vergleichbar.

Zu den besonders markanten Korrelationshorizonten zählt der Prä-Ignimbrit *P-10* von Pantelleria, der von Paterne *et al.* (1988) zunächst anhand der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie auf ein Alter von 77,1 ka BP datiert, jedoch in der Folgearbeit (Paterne *et al.*, 1990) auf etwa 84 ka BP korrigiert wurde.



**Abb. 6.5:** Tephrochronologischer Vergleich mariner Sedimentkerne aus dem Tyrrhenischen Meer (Paterne *et al.*, 1986, 1988, 1990) mit dem terrestrisch-lakustrinen Profil des Lago Grande di Monticchio.

### 6.3.3 Adria

Tiefsee-Bohrungen in dem zwischen Italien und den Balkanstaaten gelegenen adriatischen Meer stehen derzeit im Vordergrund mehrerer paläoklimatisch bezogener Projekte. In der zentralen Adria erweisen sich die kontinuierlichen und hohen Sedimentationsraten im Schelf- und Tiefseebeckenbereich, sowie die distale „Downwind“-Position zu den hochexplosiven Vulkanen der campanischen und römischen Provinz als günstige Voraussetzungen für die Entwicklung unabhängiger tephrochronologischer Profile. Die von Paterne *et al.* (1988) bearbeitete > 60 ka Sedimentsequenz KET 8218, deren Bohrlokation ca. 200 km ENE' von Monticchio gelegen ist (Abb.6.3, Abb.6.7), stellt hier mit 23, z.T. dispersiv verteilten Tephren das zur Zeit längste tephrochronologische Profil aus dem adriatischen Raum dar. Die Alter der meisten Aschen beruhen, ähnlich wie die der Tephren aus den Sedimenten des Tyrrhenischen Meeres, auf Interpolation von Sauerstoffisotopenaltern, die durch wenige radiometrische und radioisotopische Fixalter korrelierter Tephren gestützt werden. Die Herkunft der Tephren aus Kern KET 8218 ist nach Paterne *et al.* (1988) ausschließlich auf die Campanische Vulkanprovinz beschränkt. Demzufolge wird erwartet, daß die meisten dieser Aschen auch im Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio dokumentiert sind.

Aufgrund mangelnder veröffentlichter Geochemiedaten der Adria-Tephren können zunächst nur fünf diskrete Lagen als Korrelationsmarker definiert werden (Tab.6.3). Die jüngste pyroklastische Einheit stellt die vom Vesuv stammende und von Paterne *et al.* (1988) als *V-1* bezeichnete „Mercato“-Tephra dar (8 ka BP, uncal.; Andronico *et al.*, 1995). Die *V-1*-Tephra unterscheidet sich mit einer rein phonolithischen Zusammensetzung der vulkanischen Gläser (Paterne *et al.*, 1988) sowohl von dem trimodalen Chemismus des Monticchio-Tephraäquivalents LGM-9678 als auch der *Veliko Jezero*-Tephra. Letztere ist als 1-2 cm mächtige Ablagerung in den Lagunen-Sedimenten auf der Insel Mljet (Kroatien), ca. 120 km N' von KET 8218, dokumentiert und wurde aufgrund ihrer zeitlichen Stellung und phonolithisch-trachytischen-phonotephritischen Zusammensetzung (Tab.4.3) eindeutig den proximalen Fallprodukten der Mercato-Eruption zugeordnet (Jahns & van den Bogaard, 1998).

Als weitere Korrelationslagen für den Vergleich des Adria-Kernes KET 8218 mit dem Monticchio-Profil kommen die Tephren *C-1* und *C-2* in Frage, die sich beide durch einen ähnlichen bimodalen, trachytisch-latitischen Chemismus der Gläser auszeichnen. *C-1* wurde von Paterne *et al.* (1988) mit den „Pomici Principali“ der Phlegräischen Felder korreliert und zeitlich anhand der Sauerstoffisotopenstratigraphie auf 9,2 ka BP datiert.

*C-2* entspricht den „Gelben Napolitanischen Tuffen“ (NYT, Phlegräische Felder, ca. 12 ka BP uncal., Alessio *et al.*, 1973; Alessio *et al.*, 1971; Rosi & Sbrana, 1987; Scandone *et al.*, 1991) und ist im Gegensatz zu *C-1* auch in den Sedimenten des Tyrrhenischen Meeres abgelagert (Paterne & Guichard, 1993; Paterne *et al.*, 1986, 1988).

Die der „Campanischen Ignimbrit-Serie“ der Phlegräischen Felder zugeordneten Aschen *C-7* (Y-3; 26,9 ka BP, Paterne *et al.*, 1988) und *C-13* (GCI; 37,1 ka BP, Deino *et al.*, 1992, 1994) können als nächst ältere Korrelationshorizonte in Betracht gezogen werden. Im Adria-Kern KET 8218 sind von Paterne *et al.* (1988) außerdem die Ischia-Tephren *C-16* und *C-17* identifiziert worden. Diese mit der pyroklastischen Einheit der „Tufo Verde Epomeo“ korrelierten Aschen weisen neben der typischen peralkalisch-trachytischen Zusammensetzung ( $K_2O/Na_2O \approx 1$ ) eine zusätzliche K-betonte trachytische Komponente auf, die einen direkten Vergleich mit den Monticchio-Tephren LGM-51.811 und LGM 57.568 vorerst offen läßt.

Im Rahmen des PALICLAS-Projektes (**P**alaeoenvironmental Analysis of **I**talian **C**rater **L**ake and **A**driatic **S**ediments; Guilizzoni & Oldfield, 1996) wurden neben den in Kapitel 6.2 beschriebenen terrestrischen Sequenzen des Lago di Albano und Lago di Nemi zehn weitere Sedimentprofile aus dem westlichen zentraladriatischen Schelfbereich gewonnen (z.B. PAL94-66, CM-92-42, RF93-30, siehe Abb.6.6, Abb.6.7). Die Chronologien dieser Sedimentprofile, die zum Teil bis auf 70 ka BP zurückreichen, beruhen im wesentlichen auf AMS-<sup>14</sup>C-Datierungen (Langone *et al.*, 1996), biostratigraphischen (Asioli, 1996; Trincardi *et al.*, 1996) und tephrochronologischen Untersuchungen (Calanchi *et al.*, 1998; Calanchi *et al.*, 1996a, 1996b). Anhand von Suszeptibilitätsmessungen wurden hier insgesamt 30 Aschen identifiziert, von denen sechs diskrete Lagen vulkanischen Ereignissen zugeordnet werden konnten (Calanchi *et al.*, 1998; Tab.6.3). Dazu zählen die Ablagerungen der „Agnano Mt. Spina“-Eruption (AMS / Phlegräische Felder; 4,1 ka BP uncal.; Di Vito *et al.*, 1999), die „Gelben Napolitanischen Tuffe“ (NYT, *C-2* /

Phlegräische Felder) sowie der „Biancavilla Ignimbrit“ (Y-1 / Ätna, 15 ka BP, uncal.; Vezzoli *et al.*, 1998). Diese Tephren zeigen eine gute geochemische Übereinstimmung mit den entsprechenden Tephra-Äquivalenten aus dem Monticchio-Profil.

**Tab. 6.3:** Land-Meer-Korrelation (Monticchio – Adria) anhand individueller Tephralagen. AP4 = Interplinianisches Ereignis; AMS = Agnano Monte Spina; NYT = Gelber Napolitanischer Tuff; LA = Lagno Amendolare; GCI = Grauer Campanischer Ignimbrit; UMSA = Unità di Monte San Angelo; VJ1,MJ1 = Kernbezeichnungen. Daten: (1) Paterne *et al.*, (1988) \* = Literaturalter ( $^{14}\text{C}$  uncal., K/Ar) terrestrischer Tephra-Äquivalente; (2) Jahns & van den Bogaard (1998); (3) Calanchi *et al.* (1998) Tiefen- und Kernbezeichnungen unidentifizierter Tephren; § = neue Korrelationen, diese Arbeit.

Vulkan	Ereignis	Adria KET 8218	$\delta^{18}\text{O}$ -Alter (ka) <sup>(1)</sup>	Mljet VJ1, MJ1 <sup>(2)</sup>	Zentrale Adria <sup>(3)</sup>	Monticchio- Alter (Jahre BP)
SV	AP4	-	-	-	530-RF93-30 §	4018
CF	AMS	-	-	-	AMS	4619
SV	Mercato	V-1	8,2*	Veliko Jezero	-	9678
CF	Pomici Principali	C-1	9,2	-	-	12.181
CF	NYT	C-2	12,3*	-	C-2	14.115
CF	LA	?	?	-	266-PAL94-66 §	15.215
Ätna	Biancavilla	-	-	-	Y-1	16.444
SV	Pomici di Base	?	?	-	400-CM92-42 §	19.282
CF	Y-3	C-7	26,9	-	-	23.930
CF	GCI	C-13	40,0*	-	450-CM92-42	32.970
IS	Citara	C-14	41,8	-	450-CM92-42	?
IS ?	Barano ?	C-16 ?	51,0*	-	-	51.811 ?
IS ?	UMSA ?	C-17 ?	55,4*	-	-	57.568 ?
CP	?	-	-	-	C-20	?

Drei weitere Aschen wurden von Calanchi *et al.* (1998) ohne Beachtung der z.T. von Morche (1988) nachgewiesenen Fehlkorrelationen mit den aus tyrrhenischen und adriatischen Tiefseekernen stammenden Tephren C-10 (Campanische Ignimbrit Serie / Phlegräische Felder,  $33,5 \pm 1,8$  ka BP, Paterne *et al.*, 1988), C-14 (Citara-Tuffe / Ischia; 41,8 ka BP; Paterne *et al.*, 1988) und C-20 (unbenannt / Campanische Provinz; 67,5 ka BP, Paterne *et al.*, 1988) korreliert. Beim Vergleich dieser Daten mit Monticchio-Geochemiedaten fallen z.T. mehrere Unstimmigkeiten auf.

Zunächst läßt Tephra C-10 in Kern CM92-42 in 400 cm Tiefe eine polymodale chemische Zusammensetzung erkennen (Trachyte bis Tephriphonolithe, Tab.6.4), die eher typisch für die Fallablagerungen des „Pomici di Base“ (Vesuv; 18,3 ka BP uncal.; Andronico *et al.*, 1995) als für die interpretierten Fallablagerungen des Campanischen Ignimbrites.

Eine weitere Tephralage im selbigen Kern in 450 cm Tiefe stellt nach Calanchi *et al.* (1998) wiederum eine Mischfraktion aus zwei verschiedenen Eruptionen, die des Campanischen Ignimbrites (Y-5, Phlegräische Felder, 37,1 ka BP; Deino *et al.*, 1992, 1994) und die der „Citara-Tuffe“ (Ischia, 44-33 ka BP; Poli *et al.*, 1987), dar. Bei letzterer soll es sich nach Calanchi *et al.* (1998) speziell um die aus dem Adria-Kern KET 8218 bekannte C-14-Tephra handeln (41,8 ka BP; Paterne *et al.*, 1988), die jedoch im Monticchio-Profil aufgrund der Vielzahl von Tephralagen der „Citara“-Eruption nicht festgelegt werden konnte. Aufgrund der Vermischung mit den Fallablagerungen des

„Campanischen Ignimbrites“ im Adria-Kern CM92-42 kann nunmehr vermutet werden, daß die entsprechende Monticchio-Tephra im zeitlich nahen Bereich dieser Eruption zu suchen ist (z.B. LGM-34.140 bis LGM-33.783). Die *C-14*-Tephra wurde in den adriatischen Sedimenten zusätzlich in Kern RF93-77 in 449 cm Tiefe nachgewiesen (Calanchi *et al.*, 1998); hier zeigt sie jedoch eine ähnliche geochemische Zusammensetzung mit den pyroklastischen Ablagerungen des „Tufo Verde Epomeo“ (TVEss, Ischia; 55 ka BP).

Die Tephra *C-20*, bislang nur aus den Sequenzen des Tyrrhenischen Meeres bekannt (67,5 ka BP; Paterne *et al.*, 1988), ist sowohl in den Adria-Kernen RF93-77 (797 cm Tiefe) als auch CM92-42 (710 cm Tiefe) nachgewiesen worden (Calanchi *et al.*, 1996b, 1998). Ihre geochemische Zusammensetzung und zeitliche Stellung entspricht im Monticchio-Profil am ehesten den relativ geringmächtigen Tephren LGM-64.816 und LGM-68.304.

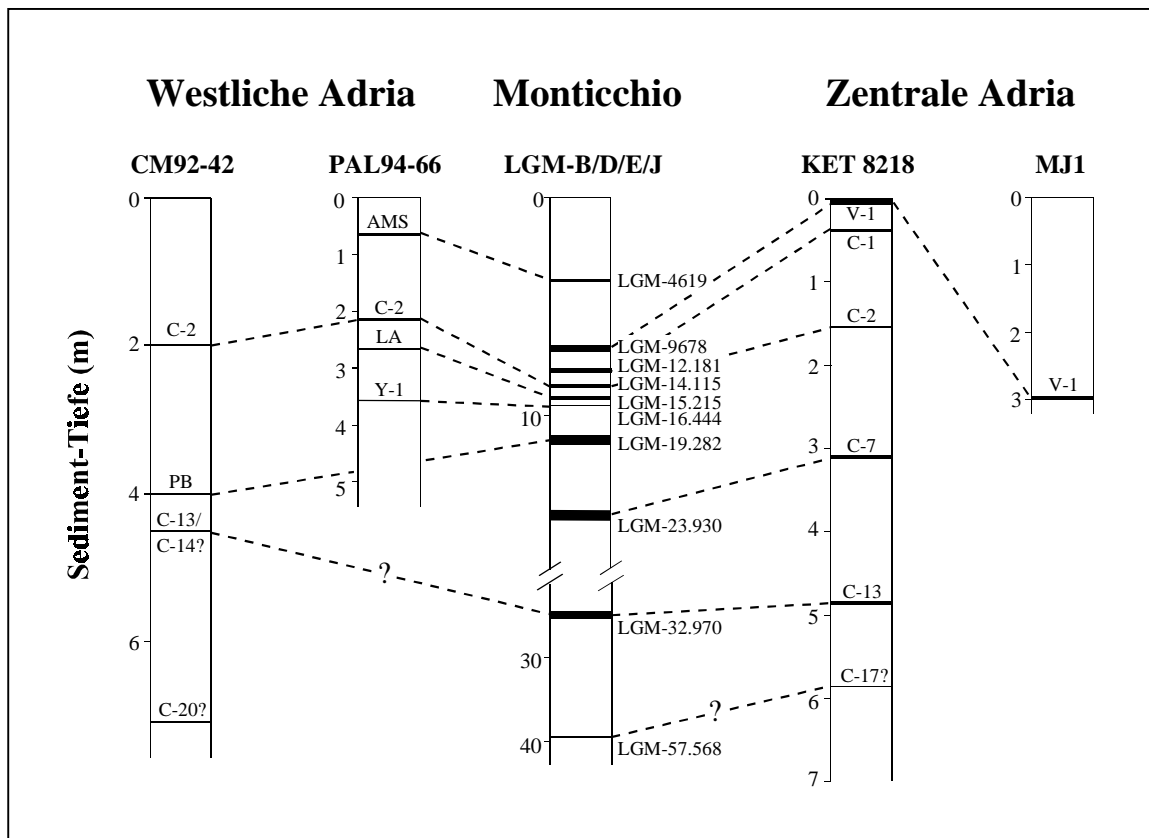
**Tab. 6.4:** Gegenüberstellung chemischer Analysendaten distaler Tephralagen aus dem Lago Grande di Monticchio (EMPA-Daten; Angaben in Gew.%) und dem Zentral-Adriatischen Meer (SEM-EDS-Daten, Calanchi *et al.* (1998).

Probe	LGM RF93-30		LGM PAL94-66		LGM	LGM	CM92-42 400 cm		
	4018	530 cm	15.215	266 cm	19.282a	19.282b	a	b	c
SiO <sub>2</sub>	56,59	56,24	61,56	60,54	62,06	53,43	60,15	53,25	50,71
TiO <sub>2</sub>	0,46	0,36	0,45	0,33	0,35	1,23	0,42	0,92	0,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,36	20,72	18,73	18,96	18,64	17,19	19,51	19,53	20,32
FeO	4,30	4,09	3,36	3,63	3,06	8,24	3,05	6,74	6,68
MnO	0,14	0,07	0,09	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,04
MgO	0,75	0,60	0,67	0,70	0,40	3,24	0,35	2,20	1,60
CaO	4,36	4,45	2,61	2,63	3,07	7,41	3,05	6,95	8,37
Na <sub>2</sub> O	4,77	4,94	4,18	3,99	4,29	3,18	4,29	3,19	3,30
K <sub>2</sub> O	8,27	8,52	8,34	9,15	7,95	5,92	9,06	7,10	8,02
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<i>d</i> <sub>(A,B)</sub>		0,93		0,93					

Neben den sechs korrelierten Tephralagen aus den Sedimentkernen der zentralen Adria werden fünf weitere unbekannte Aschen beschrieben, von denen sich zwei anhand des geochemischen Vergleichs mit Monticchio-Tephren identifizieren ließen. Nach Calanchi *et al.* (1998) zeigt die in Kern RF93-30 einzig vorhandene Tephra in 530cm Tiefe zwar eine für die Pompeji-Eruption des Vesuvs typische phonolithische Zusammensetzung, ist aber nach dem kalibrierten AMS-<sup>14</sup>C-Alter von 3660 ± 100 Jahren BP direkt überlagernder Sedimente eher mit der Avellino-Tephra (3,8 ka BP) vergleichbar. Aufgrund dessen wurde erstmalig eine eventuelle Korrelation mit den zeitlich zwischen Pompeji- und Avellino-Eruption gelegenen subplinianischen Ereignissen diskutiert (Calanchi *et al.*, 1996b). Diese Korrelation kann anhand des Vergleiches mit den Geochemiedaten der Monticchio-Tephren bestätigt werden (Tab.6.4). Eine eindeutige Übereinstimmung der Adria-Tephra ist demzufolge mit dem interplinianischen Ausbruch AP4 gegeben, welcher wiederum der Tephra LGM-4018 im Monticchio-Profil entspricht.



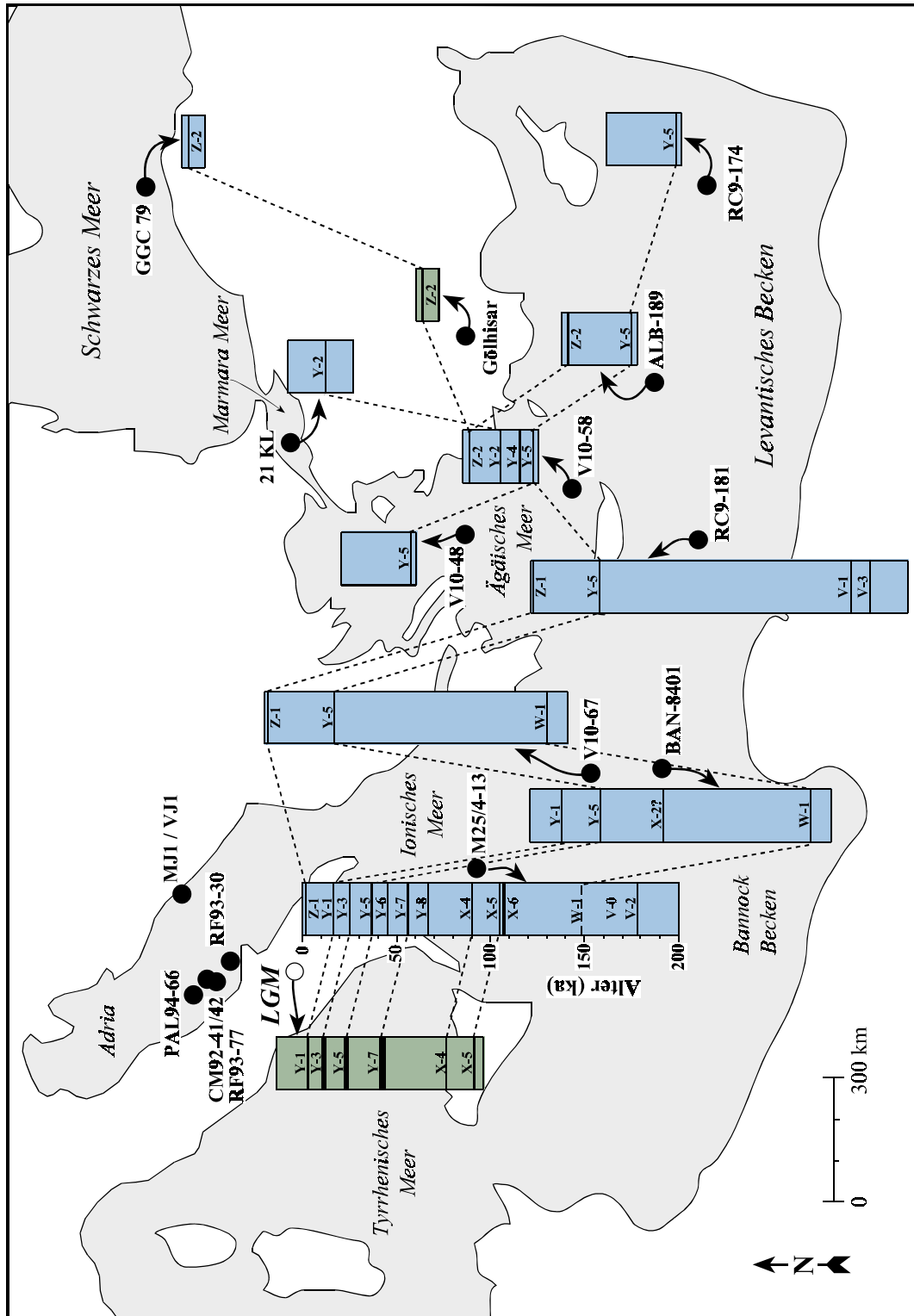
Eine zweite, bislang unkorrelierte Aschenlage aus den Adria-Sedimenten befindet sich in den Kernen PAL94-66 und CM92-41 in 266cm bzw. 270cm Tiefe. Diese Tephra ist stratigraphisch zwischen den Tephralagen C-2 und Y-1 gelegen (Calanchi *et al.*, 1998) und kann aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung der Monticchio-Tephra LGM-15.215 und somit der „Lagno Amendolare“-Eruption zugeordnet werden (Tab.6.4). Damit stehen für den Zeitraum der letzten 60 ka insgesamt zehn Tephralagen für die Korrelation der terrestrischen Sequenz mit den marinen Adria-Kernen zur Verfügung (Abb.6.6).



**Abb. 6.6:** Tephrochronologischer Vergleich mariner Sedimentkerne aus der zentralen Adria mit dem terrestrisch-lakustrinen Profil des Lago Grande di Monticchio; Daten der westlichen Adria aus Calanchi *et al.* (1998), Daten der zentralen Adria (KET 8218) aus Paterne *et al.* (1988) und (MJ1) aus Jahns & van den Bogaard (1998); AMS = Agnano Monte Spina, LA = Lagno Amendolare, PB = Pomici di Base.

### 6.3.4 Gesamtes östliches Mittelmeer

Mit der tephrochronologischen Verknüpfung terrestrischer und mariner Sedimentprofile aus dem zentralen Mittelmeerraum (Tyrrhenisches Meer, Adria, westliches Ionisches Meer) ist ein dichtes Netzwerk geschaffen worden (Abb.6.2), welches die Basis für weitere Korrelationen bildet, die bis in den östlichsten Teil des Mittelmeerraumes (Levantisches Becken, Schwarzes Meer) hineinreichen (Abb.6.7). Ausgehend von den Tiefsee-Sequenzen des Ionischen Meeres (z.B. Kern M25/4-13, M25/4-12, V10-67) können Aschen wie Z-1 (1,9 ka BP), Y-1 (17 ka BP), Y-5 (37 ka BP) und W-1 (149 ka BP) zur Korrelation mit marinen Profilen aus dem südöstlich gelegenen Bannock-Becken



**Abb. 6.7:** Tephrochronologische Korrelationen terrestrischer (Monticchio, LGM) und mariner Sedimentsequenzen des östlichen Mittelmeerraumes sowie Bohrlokationen ausgewählter Tiefseekerne der Adria. Referenzen: *PAL94-66*, *CM92-41/42*, *RF93-77*, *RF93-30* (westliche Adria) aus Calanchi *et al.* (1998); *MJI*, *VJI* (zentrale Adria) aus Jahns & van den Bogaard (1998); *M25/4-13* (Ionisches Meer) aus Kraml (1997); *BAN-8401* (Bannock Becken) aus Vezzoli (1991); *V10-48*, *V10-58*, *V10-67*, *RC9-174*, *RC9-181*, *ALB-189* (Ionisches Meer, Levantisches Becken, Ägäisches Meer) aus Keller *et al.* (1978); *Gölhisar* (Türkei) aus Eastwood *et al.* (1999); *21 KL* (Marmara Meer) aus Wulf *et al.* (submitted.); *GGC 79* (Schwarzes Meer) aus Guichard *et al.* (1993).

(z.B. BAN-8401; Vezzoli, 1991) und dem westlichen Levantischen Meer (z.B. RC9-181; Keller *et al.*, 1978) verwendet werden. Aufgrund der weiten östlichen Verbreitung der Y-5-Tephra ist es sogar möglich, eine Anknüpfung an Tiefsee-Sequenzen aus der Ägäis und dem östlichen Levantischen Becken (z.B. V10-48/-58, ALB-189, RC9-174; Keller *et al.*, 1978) zu erzielen. Diese Profile lassen sich wiederum mit Hilfe von Fallablagerungen des griechischen Inselbogenvulkanismus korrelieren (z.B. Z-2: Minoan/Santorini, 3,5 ka BP, Y-2: Akrotiri/Santorini, 20 ka BP). Damit ist die Grundlage für einen überregionalen Vergleich terrestrischer und mariner Archive gegeben, der sich vom zentralen Mittelmeer bis in den asiatischen Raum hinein erstreckt (Abb.6.7).

### 6.4 Verbreitung der Tephren

Anhand der Ergebnisse der tephrochronologischen Untersuchungen an zahlreichen Sedimentsequenzen aus dem zentralen und östlichen Mittelmeerraum können Aussagen über die Verbreitung einzelner Tephra-Fallablagerungen gemacht werden. Da für die Erstellung detaillierter Isopachenkarten die Anzahl verfügbarer Daten, wie z.B. Mächtigkeiten und maximale Korngrößen der Tephralagen in den einzelnen Sedimentprofilen derzeit noch zu gering ist, sollen im Rahmen dieser Arbeit lediglich die allgemeinen Verbreitungstrends der Tephren angesprochen werden. In Tab. 6.5 ist eine chronologische geordnete Übersicht über die wichtigsten Großeruptionen italienischer Vulkane gegeben, die für weitere tephrostratigraphische Bearbeitungen im Mittelmeerraum von Bedeutung sind.

Anhand der Verbreitung der meisten Tephra-Fallablagerung wird klar, daß die Hauptverbreitungsachse der Eruptionswolken bei explosiven Ausbrüchen der italienischen Vulkane dominant nach Osten bzw. SE / NE gerichtet ist. Das generelle Fehlen von Aschenlagen im westlichen Mittelmeer (J. Keller & M. Kraml, mündl. Mitteilung, 1999) sowie das Nichtvorhandensein von Tephren der Griechischen Inseln in Sedimenten des zentralen Mittelmeeres (Ionisches Meer, Adria, Tyrrhenisches Meer) stützen die Annahme von vorherrschenden Westwinden im mediterranen Raum, besonders für den Zeitraum der letzten 100 ka (Kutzbach *et al.*, 1993). Ausnahmen bilden die rezent auftretenden Südwinde aus der Sahara (Schirokko-Winde), mit denen u.a. die nördliche Verbreitung der Avellino-Tephra (Vesuv, 3,8 ka) und des Biancavilla-Ignimbrites (Ätna, ca. 17 ka) erklärt werden kann. Generell zu beachten sind auch mögliche Änderungen der Windrichtungen während der Eruption und des Transportes von vulkanischem Material (Sparks *et al.*, 1997), wie es z.B. für die Pompeji-Eruption des Vesuvs 79 n.Chr. nachgewiesen wurde (Lirer *et al.*, 1993).

Für das tephrochronologische Profil des Lago Grande di Monticchio bedeuten die dominierenden Westwinde eine nahezu komplette Aufzeichnung der plinianischen bis subplinianischen Eruptionen der exakt westlich von Monticchio gelegenen Campanischen Vulkanprovinz.

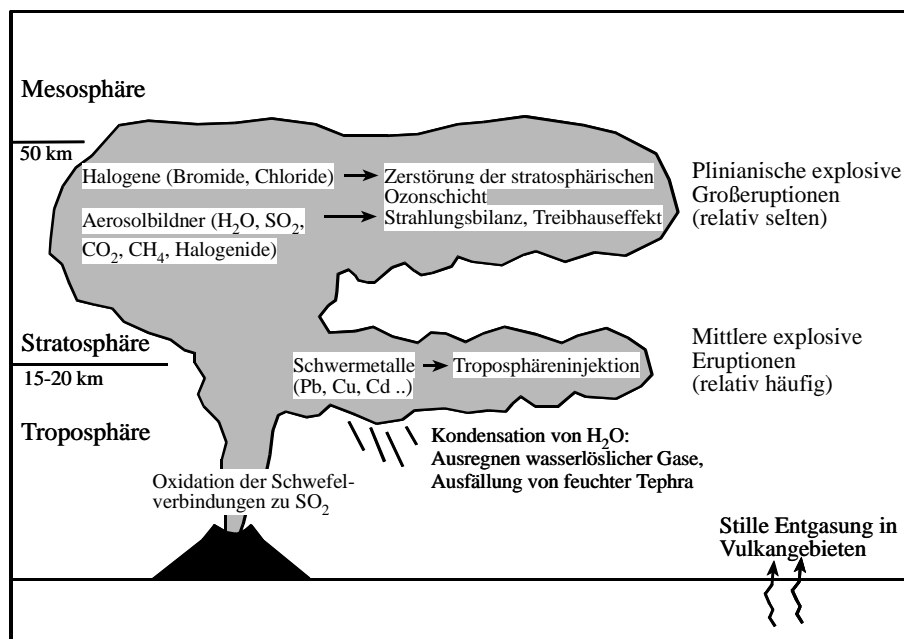
**Tab. 6.5:** Vorkommen und Verbreitungsrichtung von Fallablagerungen relevanter Großeruptionen italienischer Vulkane für den Zeitraum der letzten 100 ka. **Kurzbezeichnungen:** *Eruption:* GCI = Grauer Campanischer Ignimbrit, TVEss = Tufo Verde Epomeo sensu strictu, UMSA = Unitá di Monte San Angelo; *Vulkanprovinzen:* SV = Somma-Vesuv, CF = Phlegräische Felder, PR = Prócida, AB = Albaner Berge, PA = Pantelleria, IS = Ischia, SAL = Salina, STR = Stromboli; *Vorkommen:* LGM = Lago Grande di Monticchio, LMZ = Lago di Mezzano, PALB = Lago di Albano, PNEMI = Lago di Nemi, IM = Ionisches Meer, TM = Tyrrhenisches Meer, AD = Adria, ÄM = Ägäisches Meer, LM = Levantisches Becken.

Eruption	Bezeichn.	Herkunft	Alter (ka)	Dispersionsachse	Vorkommen
Pompeji	Z-1	SV	1,9	SE	IM, TM, LM
Interplinian. Erupt.	AP4	SV	3,4	ENE	LGM, AD (RF93-30)
Avellino	Av	SV	3,8	NNE - NE	LGM, LMZ, PALB, PNEMI
Agnano Mt.Spina	AMS	CF	4,6	ENE	LGM
Mercato	V-1	SV	8,8	E	LGM, AD (KET8218, Mljet)
Pomici Principali	C-1	CF	12,2	ENE	LGM, AD (KET8218)
Gelber Napol. Tuff	NYT, C-2	CF	14,2	NE	LGM, AD
				SW	TM (KET8022, 8004)
Lagno Amendolare	LA	CF	15,9	ENE	LGM, AD
Biancavilla	Y-1, Et-1	Ätna	16,5	NNW	TM (KET8003, 8011), LGM, PALB, LMZ, AD
			18	ENE	LGM, IM, BB
Pomici di Base	-	SV	21,5	E	LGM, AD
Solchiaro	C-4	PR	23,3	ESE	TM (KET8004), LGM
?	Y-3, C-7	CF	25,3	ESE	LGM, IM, TM
Peperino	-	AB	30	ESE	LGM
GCI	Y-5, C-13	CF	37	ESE	TM, LGM, AD, IM, BB, ÄM, LM
Grüner Tuff	Y-6	PA	44,5	E	IM
Barano	C-16	IS	51	SE	TM (KET8004, 8003), LGM
TVEss.	-	IS	55	E	LGM, AD?
UMSA	Y-7, C-17	IS	56	SE	TM, LGM, IM
Graue Porrituffe	Y-8	SAL	66,7	E	IM
Petrazza-Tuffe	Y-9, 860-03	STR	75,3	ENE	TM (KET8003), IM, LGM
Prä-Ignimbrit	P-10	PA	85,3	NE	TM (KET8004), LGM
Acireale	X-4	Ätna	89,5	ENE	IM, LGM?
?	X-5, C-27	CF	105	SE	TM (KET8004, 8022), LGM, IM
				E	LGM

## 7 Vulkanismus und Klima

### 7.1 Stand der Forschung

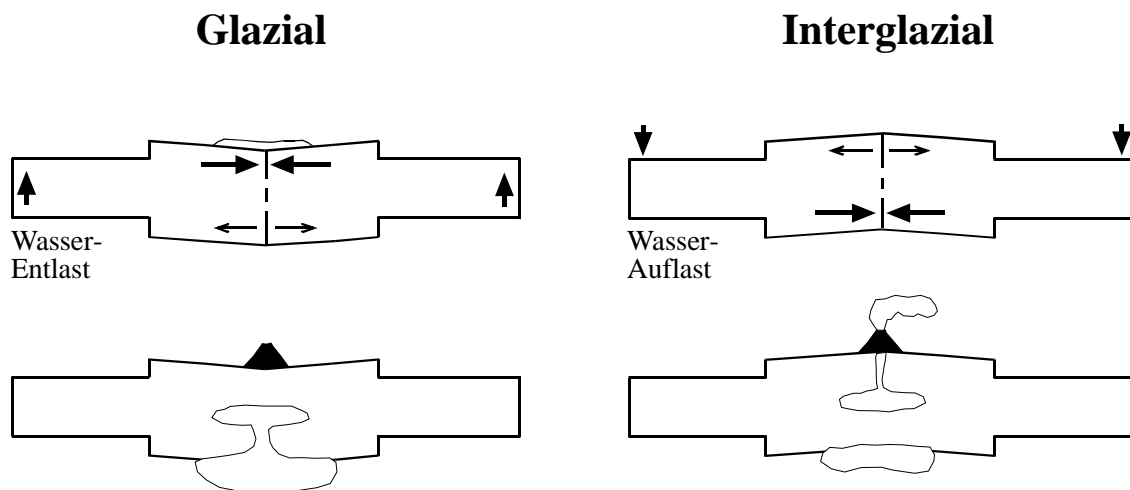
Vulkanausbrüche können verheerende Auswirkungen auf das Ökosystem der Erde haben (Sparks *et al.*, 1997). Vulkanische Feststoffe (Asche), Flüssigkeiten und aggressive Gase wie Cl, F und SO<sub>2</sub> beeinflussen dabei nicht nur die Gesundheit von Mensch und Tier, sondern hemmen auch in starkem Maße das Pflanzenwachstum. Oft kommt es zu Beschädigungen von Gebäuden, Maschinen oder Elektroleitungen; der Straßen- und Flugverkehr wird stark beeinträchtigt, und bei einsetzenden Niederschlägen können Lahare (Schlammströme) katastrophale Folgen für Mensch und Umwelt haben. Explosiver Vulkanismus scheint außerdem Klimaveränderungen in Zeiträumen von Monaten bis Jahren hervorzurufen (Hupfer, 1996; Sachs & Graf, 1998). So wird u.a. vermutet, daß diese kurzfristigen Klimavariationen besonders in Zeiten klimatischer Instabilität (z.B. El Niño) durch Perioden mit intensivem Vulkanismus oder mit ungewöhnlich starken Eruptionen verursacht werden (z.B. Pinatubo 1991, El Chichon 1982). Klimawirksame Faktoren sind dabei die leichtflüchtigen Magmenbestandteile, die in der Atmosphäre Gase und schwerelementreiche Feststoff-Aerosole bilden (Abb.7.1). In der Troposphäre modifizieren sie die Lebensdauer von Wolken sowie deren optischen Eigenschaften und sorgen insbesondere bei plinianischen Eruptionen für eine vulkanogene Verstärkung der stratosphärischen Aerosolschicht (Hupfer, 1996; Sachs & Graf, 1998). Als besonders wirksam erweisen sich große Mengen an schwefelhaltigen Gasen, die sich in winzige Tröpfchen wäßriger Schwefelsäure umwandeln. Diese Aerosole können einige Monate bis Jahre in der Stratosphäre verweilen und nehmen durch Streuung und Absorption von solarer Strahlung direkten Einfluß auf das Klimageschehen. Dabei kommt es auch zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht (Schmincke, 1986; Hupfer, 1996; Sachs & Graf, 1998).



**Abb. 7.1:** Eintrag vulkanischer Bestandteile in die Troposphäre und Stratosphäre und deren Auswirkungen; verändert nach Hupfer (1996), Sachs & Graf (1998) und Schmincke (1986).

Die in der Stratosphäre erzeugten Schwefelsäureaerosole plinianischer Großeruptionen der letzten 110 ka sind in den grönländischen Eiskernen nachgewiesen worden (Zielinski *et al.*, 1996b). Modellrechnungen zeigen hier, daß vulkanische Aerosolwolken, die bei größeren Eruptionen (z.B. Toba, 74 ka; Zielinski *et al.*, 1996a) produziert werden, eine kurzandauernde lokale oder eventuelle hemisphärische Abkühlung mit einer über mehrere Jahre andauernden Verringerung der mittleren Jahrestemperatur um ca. 3-5°C erzeugt haben können. Das tatsächliche Maß der Klimaeinwirkung einzelner Vulkaneruptionen ist jedoch nur schwierig zu erfassen, da die produzierte Menge an Schwefelsäureaerosol meistens zu gering ist, um den direkten Strahlungsantrieb merkbar zu reduzieren.

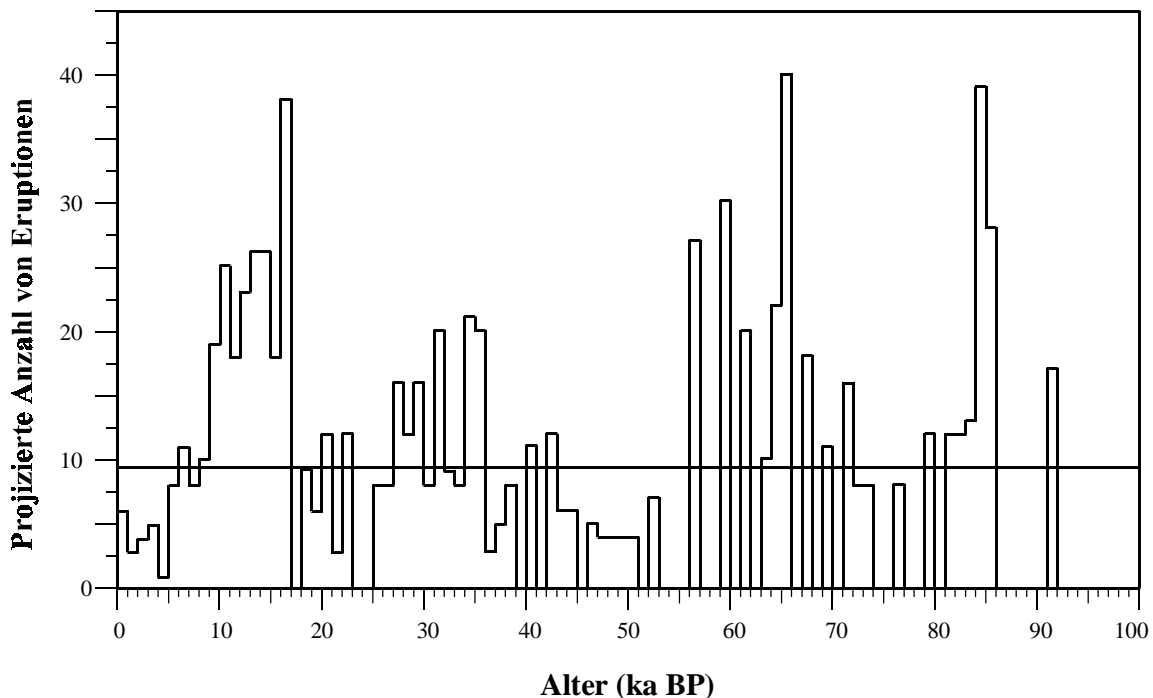
Diskutiert wird derzeit der umgekehrte Zusammenhang, ob Vulkanausbrüche möglicherweise durch Klimaänderungen ausgelöst werden können. Matthews (1969) vermutete erstmalig, daß die Magmenaufstiegsrate an Mittelozeanischen Rücken von der Höhe des Meeresspiegels in den Ozeanen abhängt. Die Meeresspiegelschwankungen sollen wiederum auf die isostatische Beladung und Entladung mit Wassermassen, die direkt mit der kontinentalen Vergletscherung gekoppelt sind, reagieren. Desweiteren postulieren Nakada & Yokose (1992) eine Korrelation zwischen der Ansammlung von Krusten-Streßregimen, die während der Vergletscherungs- und Abschmelzperioden durch die Massenumverteilung an der Erdoberfläche bewirkt wird, und dem aktiven quartären Vulkanismus in Inselbogen-Regionen (z.B. Pazifik). Die dabei zusätzlich entstehenden Streßunterschiede im Subduktionszonenbereich wirken sich sowohl tensional als auch kompressiv auf die ausgedünnte Lithosphäre aus und beeinflussen somit maßgeblich das Magmenaufstiegsverhalten (Abb.7.2).



**Abb. 7.2:** Schematisches Modell zur Beschreibung der Plattendeformation und krustalen Streßverteilung in glazialen / interglazialen Perioden des Quartärs und deren Auswirkungen auf den Inselbogen-Vulkanismus (verändert nach Nakada & Yokose, 1992). In Zeiten der Vergletscherung (Glazial) ist das tensionale Streßregime und die damit verbundenen magmengefüllten Risse auf den unteren Teil der Kruste beschränkt. Während der Interglaziale bewirkt das Abschmelzen der Gletscher eine zusätzliche Wasserauflast, die zu einer Verlagerung des tensionalen Streßregimes in den oberen Teil der Kruste führt und somit den Magmenaufstieg an die Erdoberfläche begünstigt. Die Beeinflussung durch das Streßregime beläuft sich auf einen Radius von 50 - 200 km um die vereiste Insel-Fläche.

Um diese komplexen vulkano-klimatischen Prozesse zu verstehen, ist es notwendig, Frequenzen und Intensitäten von vergangenen explosiven Vulkanausbrüchen und die damit verbundenen klimatischen Effekte zu betrachten. Hier bieten sich Archive wie Sedimentsequenzen aus marinen, lakustrinen und terrestrischen Ablagerungsräumen, die stark von explosivem Vulkanismus beeinflusst werden, Eiskernsequenzen aus Grönland und der Antarktis sowie Baumringe und Korallen an.

Für globale vulkano-klimatische Betrachtungen ist das zeitlich hochauflösende GISP2-Eiskernprofil aus Grönland (Zielinski *et al.*, 1996b) geeignet. Hier werden die mit dem gesamten hochexplosiven Vulkanismus der Nordhemisphäre verbundenen erhöhten  $\text{SO}_4^{2-}$ -Signale ( $> 40$  ppb) als Auswirkungen von Klimaänderungen interpretiert. Zielinski *et al.* (1996b) können unter Ausschluß einer Änderung des atmosphärischen Zirkulationsmusters mehrere Perioden mit verstärktem explosiven Vulkanismus während der letzten 110 ka auseinanderhalten (Abb.7.3): Die Periode zwischen 17-6 ka BP wird mit der Druck-Entlastung der kontinentalen Kruste während und unmittelbar nach dem Abschmelzen der Gletscher assoziiert. Eine zweite markante Periode zwischen 35-22 ka BP läßt sich dagegen mit den wachsenden Eisschilden auf der Nordhalbkugel und dem dabei entstehenden Lithosphärenstreß korrelieren (Zielinski *et al.*, 1996b). Weitere Perioden mit erhöhtem explosiven Vulkanismus tauchen zwischen 86-79 ka, 74-71 ka, 61-56 ka und 45-40 ka BP auf. Einige dieser Perioden befinden sich an den Übergangszonen zwischen rapiden Klimaschwankungen innerhalb des letzten glazialen / interglazialen Zyklus (Zielinski *et al.*, 1996b).



**Abb. 7.3:** Anzahl der modellierten Eruptionen pro 1000 Jahre mit einem vulkanischen  $\text{SO}_4^{2-}$ -Signal  $> 75$  ppb im GISP2-Eiskern (Grönland); verändert nach Zielinski *et al.* (1996b).

McGuire *et al.* (1997) postulieren wiederum einen direkten Zusammenhang zwischen der Änderung des globalen relativen Meeresspiegels und der Frequenz des explosiven mediterranen Vulkanismus im Spätquartär. Unter Einbeziehung italienischer und griechischer Vulkane wird hier nicht nur versucht, das Modell von Nakada & Yokose (1992) auf fern von Eisschilden gelegene Inselvulkane (z.B. Santorini, Ischia, Äolische Inseln) zu übertragen, sondern dieses auch für Küstenvulkane (z.B. Ätna, Phlegräische Felder usw.) zu erweitern. Anhand der zeitlichen Verteilung von insgesamt 81 Tephralagen aus den Tiefseekernen der Adria und des Tyrrhenischen Meeres (Daten aus Paterne *et al.*, 1988; Paterne *et al.*, 1986), des Ionischen, Ägäischen und Levantischen Meeres (Daten aus Keller *et al.*, 1978; Vinci, 1985) können - in teilweiser Übereinstimmung mit den Signalen des Grönland-Eiskernes GISP2 - drei anomale Perioden mit erhöhter Tephra-Fallablagerung für die letzten 80 ka auseinander gehalten werden. Diese Perioden befinden sich zeitlich zwischen 61-51 ka, 36-34 ka und 15-8 ka und weisen mittlere vulkanische Ruhephasen von jeweils 0,80 ka, 0,45 ka und 0,35 ka auf. Die Zeiträume mit erhöhten vulkanischen Aktivitäten werden von McGuire *et al.* (1997) mit rapiden Änderungen (wenige tausend Jahre) im mittleren globalen Meeresspiegel korreliert. Diese sollen neben den normalen streßbezogenen Einflüssen (z.B. tektonische Bewegungen, Grundwasserspiegelschwankungen) massiv auf das dynamische Verhalten der einzelnen Vulkane einwirken. Der Vergleich der Ergebnisse aus Finite-Elemente-Analysen mit den von Nakada & Yokose (1992) aufgestellten Modellen zeigt, daß große Änderungen im Meeresspiegel zwar gegensätzliche Effekte auf die internen Streßregime von Küsten- und Inselvulkanen erzeugen, jedoch zu gleichen Resultaten bezüglich der Explosivität beider Vulkanarten führen (McGuire *et al.*, 1997). Bei Küstenvulkanen soll der einseitige kompressive Streß im Vulkankörper durch einen enormen Anstieg des Meeresspiegels reduziert werden, welches u.a. die explosive Förderung von relativ differenzierten Magmen aus geringen Tiefen zur Folge hat. Dagegen wird eine Reduzierung des radialen kompressiven Stresses bei Inselvulkanen durch einen drastischen Meeresspiegelabfall hervorgerufen, welcher sich wiederum hemmend auf den Aufstieg von Magma auswirkt. Sowohl bei Küsten- als auch bei Inselvulkanen führen die aus den rapiden Meeresspiegelschwankungen resultierenden Scherstreßveränderungen an der Land-Meer-Grenzfläche zusätzlich zu Hanginstabilitäten und damit zur Förderung von explosiven Ausbrüchen durch strukturelle Zusammenbrüche der Vulkankörper. Eine große Rolle für die Explosivität spielen außerdem die im Rahmen der Plattentektonik auftretenden langsamen Streßveränderungen an den kontinentalen Rändern und Inselbögen (McGuire *et al.*, 1997).

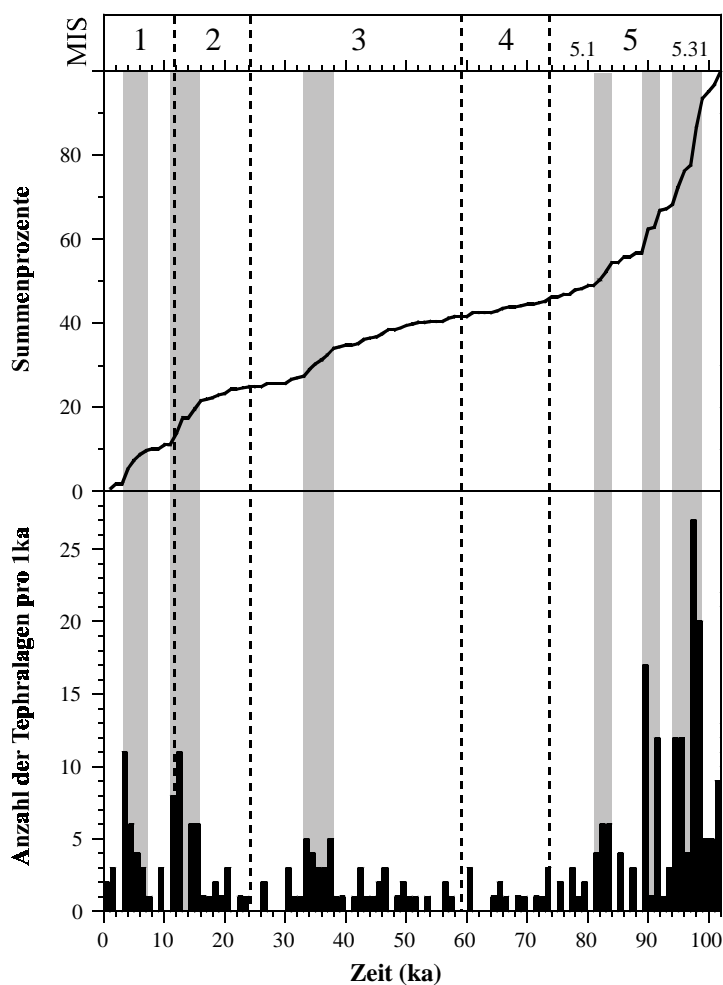
## 7.2 Frequenz der Tephrenablagerung im Monticchio-Profil

Für eine Überprüfung der von McGuire *et al.* (1997) postulierten vulkano-klimatischen Zusammenhänge im mediterranen Raum ist eine Einzelbetrachtung der verschiedenen Vulkangebiete erforderlich. Diese erfolgte bereits für den Ätna, anhand dessen die bislang aufgestellten Theorien bestätigt werden konnten (McGuire *et al.*, 1997). Einen weiteren Beitrag in Bezug auf die süditalienischen campanischen Vulkane leistet das tephrochrono-



logische Referenzprofil des Lago Grande di Monticchio. Dieses Profil zeigt gegenüber dem von McGuire *et al.* (1997) verwendeten Datensatz folgende, wichtige Vorteile:

- (1) Für die Betrachtung der Explosivitätsfrequenz der Campanischen Vulkanprovinz, die sich durchweg aus den erforderlichen Küsten- (Vesuv, Phlegräische Felder, Roccamonfina) und Inselvulkanen (Ischia, Prócida-Vivara) zusammensetzt, steht mit einer Anzahl von 296 Tephralagen die nahezu vierfache Datenmenge zur Verfügung.
- (2) Das zeitliche Untersuchungsintervall reicht bis 100 ka BP zurück und umfaßt somit einen vollständigen glazialen/interglazialen Zyklus.
- (3) Die Alter der Tephraablagerungen sind aufgrund der jahresauflösenden Warven- und Sedimentationsratenchronologie der Monticchio Sedimente wesentlich präziser als die von McGuire *et al.* (1997) verwendeten Sauerstoffisotopenalter der marinen Sedimente.
- (4) Umlagerungen von Tephren, wie sie z.B. in den Sedimenten des Tyrrhenischen Meeres nachgewiesen wurden (McCoy & Cornell, 1990), können für das tephrochronologische Profil von Monticchio weitgehend ausgeschlossen werden.



**Abb. 7.4:** Frequenz der Tephrenablagerungen aus der Campanischen Vulkanprovinz ( $n = 296$ ) im Sedimentprofil des Lago Grande di Monticchio.

**Unteres Diagramm:**

Anzahl der Tephralagen pro 1000 Jahre gegen die Zeit (LGM-Alter in ka BP);

**Oberes Diagramm:**

Aufsummierte Anteile der Tephrenablagerungen pro 1000 Jahre gegen die Zeit. Graue Balken markieren Zeitbereiche mit erhöhter vulkanischer Aktivität; MIS = Marine Sauerstoffisotopenstadien.

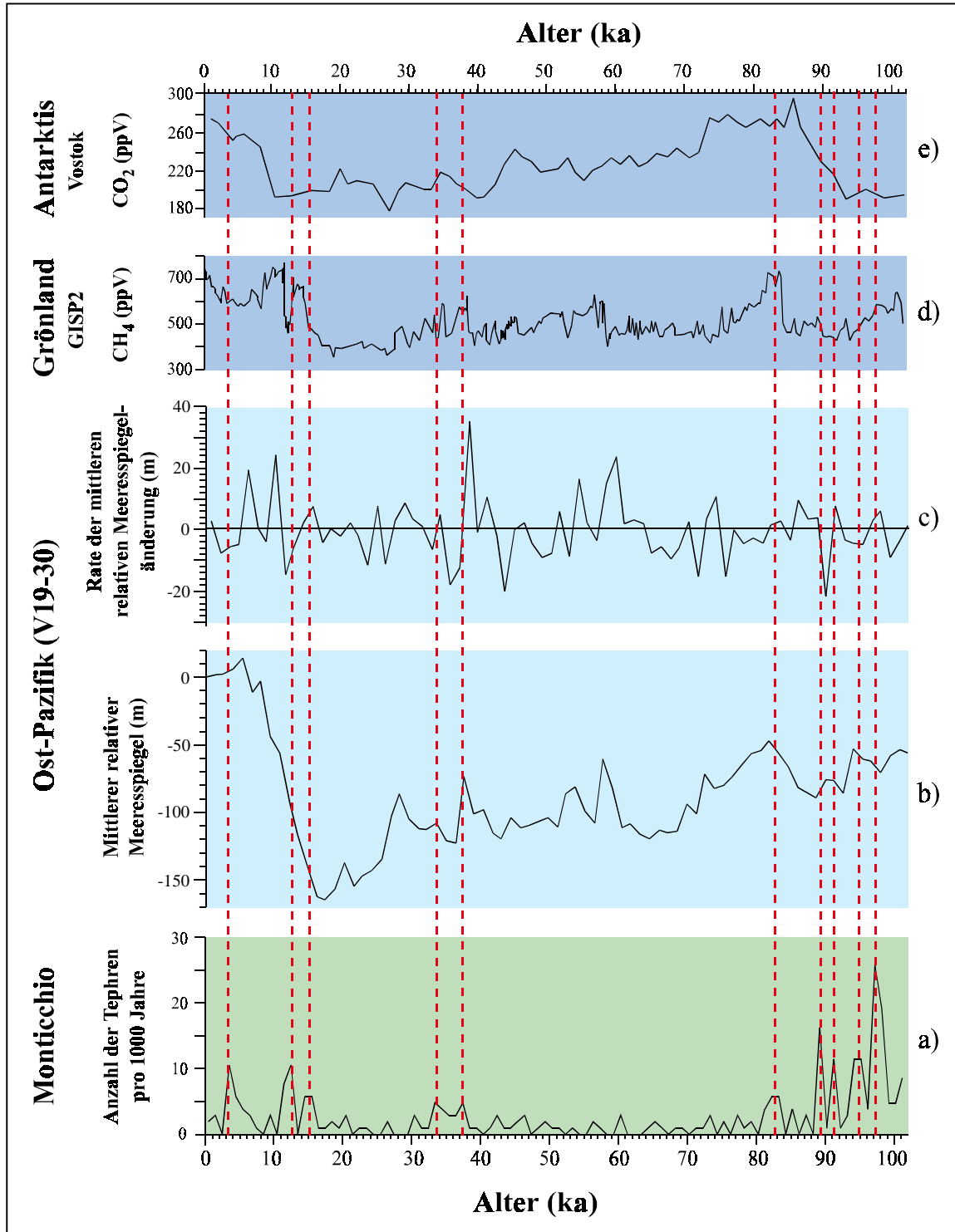
Unter Berücksichtigung der relativ konstanten Windbedingungen im mediterranen Raum während des letzten Glazials / Interglazials (Paterne *et al.*, 1993;

Kutzbach *et al.*, 1993; s.a. Kapitel 6.4) kann zunächst davon ausgegangen werden, daß die wichtigsten plinianischen bis subplinianischen Eruptionen aus der Campanischen Vulkanprovinz im Monticchio-Sedimentprofil festgehalten sind. Bei der Betrachtung der

zeitlichen Verteilung der insgesamt 296 Tephralagen fällt auf, daß auch diese nicht gleichmäßig ist, sondern daß es innerhalb der letzten 100 ka Perioden mit verstärktem explosiven Vulkanismus gegeben hat (Abb.7.4). Diese Perioden befinden sich zwischen 4-7 ka BP, 11-16 ka BP, 33-38 ka BP, 81-84 ka BP, 89-92 ka BP und 94-99 ka BP (Alter der Monticchio-Chronologie). Die durchschnittlichen vulkanischen Ruhephasen liegen bei jeweils 138, 160, 246, 120, 81 bzw. 67 Jahren. Perioden mit geringerem explosiven Vulkanismus treten bevorzugt in den Zeiträumen 7-11 ka BP, 16-33 ka BP und 38-81 ka BP auf (Abb.7.4). Hier beträgt die mittlere Ruhephase etwa 1000 Jahre. Auffällig ist, daß die Perioden mit verstärktem Vulkanismus in relativ warme Klimaphasen fallen (z.B. marine Sauerstoffisotopen-Stadien 5.3 und 1 = Holozän), während Intervalle mit geringen vulkanischen Aktivitäten eher an die kühleren Klimaphasen der letzten Vereisung (marine Sauerstoffisotopen-Stadien 4, abschnittsweise 3 und 2) gebunden sind (Abb.7.4).

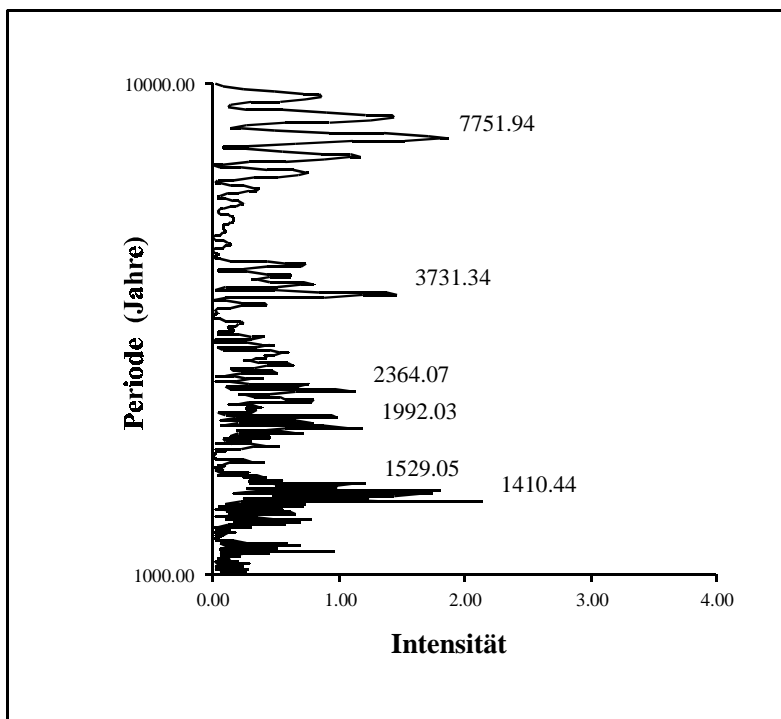
Eine angedeutete Korrelation der Tephrenfrequenz ist u.a. mit der CH<sub>4</sub>-Kurve des Grönland-Eiskernes GISP2 (Brook *et al.*, 1996) gegeben (Abb.7.5d). Zwischen 90 ka BP und rezent fällt verstärkter explosiver Vulkanismus der campanischen Vulkane in der Regel mit CH<sub>4</sub>-Maxima zusammen, z.T. mit geringen zeitlichen Abweichungen, die möglicherweise in den unterschiedlichen Methoden, anhand derer die Altersmodelle beider Profile erstellt wurden, begründet liegen. Zwischen 90 ka und 102 ka BP sind diese Maxima zum Älteren hin um ca. 2-4 ka verschoben, welches auf den nachgewiesenen Altersfehler im unteren Teil der Monticchio-Warvenchronologie (max. 5 ka) zurückzuführen sein könnte. Der Gehalt an Methan (CH<sub>4</sub>) ist ein Klima-Indikator für biologische Aktivitäten in weltweiten Feuchtgebieten (anaerobe Bakterien), dessen Produktion direkt durch Temperatur und Niederschlag kontrolliert wird (Cronin, 1999). Schwankungen in den CH<sub>4</sub>-Gehalten sollen Klimaänderungen nachzeichnen, die sowohl mit dem 21 ka Präzessions-Zyklus als auch mit kurzfristigen Klimaschwankungen während des Glazials, Spätglazials und Holozäns verbunden sind (Cronin, 1999). Eine Korrelation der CH<sub>4</sub>-Kurve mit der Tephrenfrequenz im Monticchio-Profil gibt einen Hinweis auf eine Abhängigkeit letzterer von Prozessen, die das Klimageschehen zumindest in der Nordhemisphäre beeinflussen. Ein globaler Zusammenhang, wie der Vergleich mit der zur Zeit einzig verfügbaren CO<sub>2</sub>-Kurve der Südhemisphäre (Vostok-Eiskern der Antarktis; Barnola *et al.*, 1987) mit dem Tephrenspektrum der Monticchio-Sequenz zeigt, kann derzeit nicht nachgewiesen werden (Abb.7.5e).

Der Vergleich der Frequenz der Tephrenablagerung im Monticchio-Profil (Anzahl der Tephren pro 1000 Jahre) mit dem globalen relativen Meeresspiegelstand und der Rate der mittleren Meeresspiegeländerung zeigt ebenfalls gewisse Abhängigkeiten (Abb.7.5b+c). Erhöhte Tephra-Ablagerungsfrequenzen fallen entweder mit Meeresspiegel-Hochständen (z.B. 4 ka, 38 ka, 83 ka, > 90 ka BP) und/oder mit extrem rapiden Meeresspiegelschwankungen (z.B. 11-16 ka, 33-38 ka, 60 ka, 90 ka BP) zusammen. Umgekehrt implizieren hohe Meeresspiegelstände oder -änderungen nicht immer eine Verstärkung der vulkanischen Aktivitäten, besonders im Zeitraum der letzten Vereisung zwischen 40 und 80 ka BP. Auf Zeitabschnitte, die durch relativ warme Perioden gekennzeichnet sind (z.B. MIS 1 und 5.3), sowie auf glaziale/interglaziale Übergangszonen kann das von McGuire *et al.* (1997) postulierte Modell demnach nur unter Vorbehalt auf die campanischen Vulkane übertragen werden.



**Abb. 7.5:** Vergleich der tephrochronologischen Daten aus dem Monticchio-Profil mit globalen Klimadaten. **a)** Anzahl der abgelagerten Tephren aus der Campanischen Vulkanprovinz im Monticchio-Profil pro 1000 Jahre (LGM-Alter); **b)** mittlerer Meeresspiegel in m vor dem heutigen Meeresspiegelstand, berechnet aus  $\delta^{18}\text{O}$ -Daten benthischer Foraminiferen des ostpazifischen Kernes V19-30 (Chappell & Shackleton, 1986; Shackleton, 1987), Glättung der Kurve mit einem gleitenden 3-Punkte-Dreiecksfenster; **c)** Rate der mittleren Meeresspiegeländerungen, Glättung der Kurve mit einem gleitenden 3-Punkte-Dreiecksfenster; **d)** CH<sub>4</sub>-Daten aus dem GISP2-Eiskern (Grönland; Brook *et al.*, 1996); **e)** CO<sub>2</sub>-Daten aus dem Vostok-Eiskern (Antarktis; Barnola *et al.*, 1987).

Zur Feststellung von Frequenzen wurden anhand des Monticchio-Profiles Zeitreihenanalysen der Tephren-Ablagerungsvariationen in 5000-Jahres-Intervallen durchgeführt (Negendank *et al.*, 1994; Vos *et al.*, 1999). Dabei konnten unter Verwendung nichtlinearer Statik zunächst die Milankovitch-Periodizitäten von etwa 23 ka und 19 ka im Tephrenspektrum nachgewiesen werden. Da das Untersuchungsintervall (100 ka) für derart langfristige Zyklen zu kurz ist, konzentrierten sich weitere spektralanalytische Untersuchungen auf Sub-Milankovitch-Zyklen mit Perioden zwischen 1000 und 10.000 Jahren (Abb.7.6). Aufgrund dieser Ergebnisse stellten Vos *et al.* (1999) die Hypothese auf, daß die Häufigkeit der Tephra-Ablagerung im Lago Grande di Monticchio indirekt von astronomischen Kräften abhängt, in diesem Fall von dem Einfluß der Planetenstellungen auf die Sonnenaktivitäten. Letztere werden als Steuermechanismen für die auf der Erde bekannten Klimaänderungen diskutiert (z.B. Hupfer, 1996). Eine im Tephrenspektrum ermittelte Periode von 2364 Jahren kann mit einem der Hauptzyklen solarer Aktivitäten von 2402 Jahren in Verbindung gebracht werden (Abb.7.6). Dieser Zyklus wird nach Charvatova (1999) durch eine bestimmte Anordnung der Planeten Jupiter und Saturn zur Sonne hervorgerufen. Die Periodizität von 3731 Jahren im Tephrenspektrum (Abb.7.6) wurde von Vos *et al.* (1999) mit dem solaren Hauptzyklus von 3635 Jahren korreliert, der durch eine Wechselbeziehung mit den Planeten Uranus und Neptun verursacht wird. Die Perioden von etwa 1500 Jahren (Abb.7.6) entsprechen wiederum der Summenfrequenz von 1446 Jahren der beiden erwähnten Hauptzyklen von 2402 und 3635 Jahren (Vos *et al.*, 1999).



**Abb. 7.6:** Spektralanalyse der Sub-Milankovitch-Zyklen für die Basiszeitreihe der Tephrenverteilung in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio (logarithmische Darstellung der Perioden).

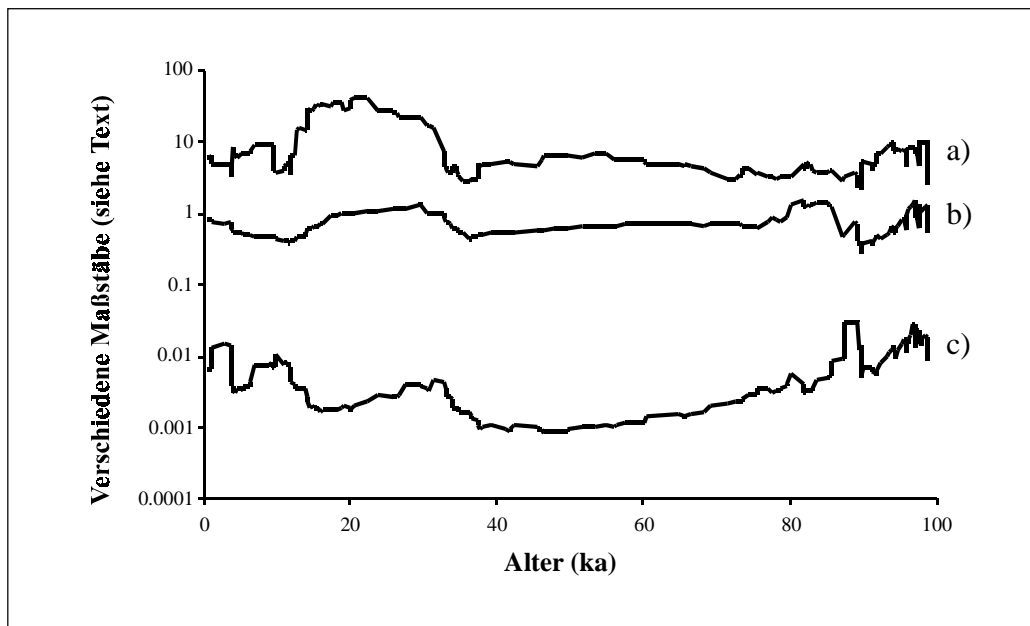
Die Ergebnisse der Spektralanalysen stützen einerseits die Überlegungen von Charvatova (1999). Zum anderen stehen sie in Einklang mit den von Damon & Sonett (1995) ermittelten Perioden von 2300 Jahren der atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Schwankungen, die auf

Änderungen der Sonnenaktivitäten zurückgeführt werden konnten. Perioden, die nahe an den 1500 Jahre-Zyklus heranreichen, sind außerdem aus Kernen des Nord-Atlantiks bekannt (Bond *et al.*, 1997). Der Nachweis von Perioden des Milankovitch- und Sub-Milankovitch-Frequenzbandes im Tephrenspektrum zeigt einen Zusammenhang zwischen der Klimavariabilität und der Ablagerung von Tephren aus der benachbarten campanischen Vulkanprovinz im Lago Grande di Monticchio. Welche klimatische Faktoren letztendlich diesen Prozeß antreiben, läßt sich aus den spektralanalytischen Untersuchungen nicht ableiten.

Für eine Untersuchung der Faktoren, die zu dieser angedeuteten klimatischen Abhängigkeit führen, ist zunächst eine Aufstellung derjenigen Prozesse notwendig, die die Ablagerung der Tephren in den Sedimenten des Lago Grande di Monticchio beeinflussen können. Dazu gehören:

- a) die explosiven Aktivitäten der Vulkanprovinzen in der Nachbarschaft des Sees (Campanische Vulkane), welche eventuell durch die von McGuire *et al.* (1997) postulierten rapiden Meeresspiegelschwankungen gesteuert werden, und
- b) der Transport der Tephra, der durch die zum Zeitpunkt der Eruption vorherrschenden Windrichtungen und -stärken beeinflusst wird, welche wiederum das Zirkulationsmuster im mediterranen Raum für das letzte Glazial/Interglazial widerspiegeln.

Überlegungen zu Variationen des mediterranen Paläowindmusters, die sich eventuell auf die Ablagerungsfrequenz der campanischen Tephren auswirken, wurden anhand des Vergleiches der Tephren-Sedimentationsraten (mittlere Mächtigkeiten) mit den normalen Akkumulationsraten der Monticchio-Sedimente angestellt. Hier deutet der parallele Verlauf beider Kurven (Abb.7.7 a+b) ebenfalls auf klimatische Faktoren hin, die in Verbindung mit der Tephren-Ablagerungsfrequenz stehen. Eine mögliche Erklärung für das ähnliche Verhalten der Tephra- und Sediment-Akkumulationsraten ist in einer Veränderung derjenigen Prozesse zu suchen, die den Eintrag beider Komponenten in den See steuern. Dazu gehören zum einen das allgemeine Windmuster, das für die jeweilige Transportrichtung und -weite der Tephra mitverantwortlich ist, und der davon abhängige Niederschlag, der für die Erosion, den Transport und die Akkumulation von Sedimentmaterial im See sorgt. Als Beispiel für den Zusammenhang dieser beiden Prozesse wäre hier zum einen der mediterrane Westwind zu nennen, der dem Passatwind nicht unähnlich ist, jedoch in abgeschwächter Form kühle und trockene Luftmassen mit sich bringt (Hardy *et al.*, 1982). Zum anderen tritt in diesem Gebiet auch der Schirokko auf, ein heißer, trockener Wind, der von der Sahara nach Norden weht und nach Überquerung des Mittelmeers an der Südküste Europas als warmer, feuchter Wind ankommt (Hardy *et al.*, 1982). Variationen der Windbedingungen und der damit verbundenen Niederschlägen spiegelt Veränderungen in den regionalen Umweltbedingungen wider, die wiederum durch Schwankungen im globalen Paläoklima gesteuert werden können.



**Abb. 7.7:** Vergleich der **a)** mittleren Mächtigkeit der Tephralagen (mm) mit **b)** der normalen Sedimentationsrate der Monticchio-Sedimente (mm/a) und **c)** der mittleren Anzahl der Tephren pro Zeiteinheit (1/ka); verändert nach Vos *et al.* (1999).

Zusammenfassend läßt sich aus der Analyse der zeitlichen Verteilung der Tephraablagerungen im Monticchio-Profil folgendes ableiten:

- ⇒ Die Korrelation der Tephrenfrequenz mit Klimaparametern, wie z.B. den  $\text{CH}_4$ -Gehalten in der nördlichen Hemisphäre, den relativen globalen Meeresspiegelschwankungen und mediterranen Windmustern, sowie der Nachweis der Milankovitch-Zyklen in der Tephrenverteilung zeigen, daß globale Klimaänderungen zumindest einen Teileinfluß auf das explosive Verhalten der campanischen Vulkane oder vielmehr auf die Tephraablagerung besitzen. Dabei spielt die regionale Tektonik in der Campanischen Provinz sicherlich eine ebenso große Rolle (siehe tektonische Bewegungen in Pozzuoli/Phlegräische Felder oder auf Ischia).
- ⇒ Für eine Absicherung dieser Zusammenhänge sind weitere Untersuchungen notwendig, besonders an anderen mediterranen Vulkanprovinzen (z.B. Äolische Inseln, Griechische Inseln). Dazu sind zeitlich hochauflösende tephrochronologische Profile, wie das des Lago Grande di Monticchio, erforderlich. Zusätzlich sollten die erarbeiteten Stratigraphien aus den proximalen Ablagerungsräumen mit in die Datensätze einbezogen werden, um eine Vollständigkeit dieser garantieren zu können.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Der Maarsee Lago Grande di Monticchio (Monte Vulture, Süditalien) erweist sich aufgrund seiner geographischen Position zu den aktiven Vulkanen Mittel- und Süditaliens als geeignetes Archiv für die Aufzeichnung einer detaillierten Stratigraphie des explosiven Vulkanismus dieser Region. Mit dem Auftreten von 344 Aschenlagen (Tephren) stellt die aus dem Monticchio-See erbohrte, 101 ka umfassende Sedimentsequenz ein derzeit einmaliges tephrochronologisches Referenzprofil im mediterranen Raum dar, das sich nicht zuletzt durch eine hochauflösende, auf Warvenzählung und Sedimentationsratenabschätzung beruhende Chronologie auszeichnet. In Verbindung mit multidisziplinären paläoklimatischen Untersuchungen an den Monticchio-Sedimenten wurden zur Absicherung dieser Chronologie detaillierte tephrochronologische Untersuchungen (Geochemie, Mineralogie, Korngrößenanalyse) durchgeführt, anhand derer die distalen Aschen charakterisiert und ihren jeweiligen Eruptionszentren zugeordnet werden konnten. Die Ergebnisse dieser Studien zeigten, daß die in Frage kommenden Förderzentren in erster Linie in den benachbarten Vulkanen der campanischen Provinz (Somma-Vesuv, Phlegräische Felder, Ischia, Prócida-Vivara, Roccamonfina) zu suchen sind. Durch die Korrelation der meisten dieser alkalinen Aschen mit diskreten vulkanischen Ereignissen konnte die nahezu gesamte, aus dem proximalen Ablagerungsraum bekannte Abfolge pyroklastischer Einheiten des Somma-Vesuvus und der Insel Ischia nachgewiesen werden. Neue Erkenntnisse wurden zudem über die Stratigraphie der explosiven Tätigkeiten der an Neapel angrenzenden Phlegräischen Felder für die Zeitspanne zwischen 60 ka und 101 ka BP erlangt. Als weitere vulkanische Förderzentren der im Monticchio-Profil abgelagerten Tephren konnten die Albaner und Sabatiner Berge in der Römischen Provinz sowie die entfernter gelegenen Äolischen Inseln, Ätna und Pantelleria ausgemacht werden. Korrelationen dieser z.T. petrologisch markanten Aschenlagen führten hier zu neuen Einsichten in der Verbreitung und zeitliche Einstufung einzelner Großeruptionen innerhalb der letzten 100 ka. In diesem Zusammenhang konnten einige weitverbreitete Tephren als Korrelationshorizonte genutzt werden, die eine wichtige Grundlage für den Vergleich des Monticchio-Profiles mit anderen terrestrischen und marinen Sedimentsequenzen aus dem östlichen Mittelmeerraum bilden.

Mit Hilfe einer Vielzahl von radiometrischen und radioisotopischen Altern korrelierter proximaler und distaler Tephra-Äquivalente konnte ein tephrochronologisches Grundgerüst aufgestellt werden, das die hochauflösende Warven- und Sedimentationsratenchronologie des Monticchio-Profiles im großen und ganzen bestätigt. Die durchschnittliche relative Abweichung von <5% zwischen beiden Altersmodellen wurde als relativer Fehler in Bezug auf die Warven- und Sedimentationsratenchronologie betrachtet. Damit zählt das Monticchio-Profil zu einer der derzeit bestdatierten Sequenzen Europas, welches zudem den letzten glazialen/interglazialen Zyklus umfaßt. Eine solche präzise Chronologie kann bzw. konnte in mehrfacher Hinsicht genutzt werden:

- (1) in erster Linie für die paläoklimatischen Interpretationen, insbesondere in Bezug auf die im Monticchio-Profil anhand von Klima-Proxydaten nachgewiesenen kurzfristigen Klimaschwankungen,
- (2) für den regionalen bis globalen Vergleich mit anderen zeitlich hochauflösenden Sequenzen (z.B. GISP2-Eiskern aus Grönland),
- (3) für eine neue zeitliche Einstufung von bislang undatierten Tephren (z.B. Peperini-Tuffe / Albaner Berge) und die damit verbundene Erstellung detaillierter Stratigraphien der hochexplosiven Tätigkeiten benachbarter Vulkanprovinzen sowie
- (4) für die spektralanalytische Untersuchung der Tephrenablagerungsfrequenz, die einige interessante klimatische Zusammenhänge (z.B. rapide Meeresspiegelschwankungen, Windmuster) aufzuweisen scheint.

Weitere Studien in Verbindung mit dem tephrochronologischen Profil des Lago Grande di Monticchio werden sich in Zukunft auf die Spurenelement- und Isotopenanalyse von nicht eindeutig korrelierbaren Tephren konzentrieren. Für eine Abgrenzung von geochemisch ähnlichen Aschenlagen erweisen sich zudem gesteinsmagnetische Messungen als geeignet. Diese Untersuchungen wie auch die detaillierte Analyse der proximalen pyroklastischen Einheiten an Land werden einen weiteren wichtigen Beitrag bezüglich der italienischen Tephrochronologie leisten.



## 9 Literaturverzeichnis

- Alessio, M., Bella, F., Bachechi, F. & Cortesi, C. (1966). University of Rome – Carbon-14 Dates IV. *Radiocarbon* **8**, 401-412.
- Alessio, M., Bella, F., Improta, S., Belluomini, G., Calderoni, G., Cortesi, C. & Turi, B. (1973). University of Rome Carbon-14 dates X. *Radiocarbon* **15**, 165-178.
- Alessio, M., Bella, F., Improta, S., Belluomini, G., Calderoni, G., Cortesi, C. & Turi, B. (1974). University of Rome Carbon-14 dates XII. *Radiocarbon* **16**, 358-367.
- Alessio, M., Bella, F., Improta, S., Belluomini, G., Calderoni, G., Cortesi, C. & Turi, B. (1976). University of Rome Carbon-14 dates XIV. *Radiocarbon* **18**, 321-349.
- Alessio, M., Bella, F., Improta, S., Belluomini, G., Cortesi, C. & Turi, B. (1971). University of Rome Carbon-14 dates IX. *Radiocarbon* **13**, 395-411.
- Allen, J. R. M., Brandt, U., Brauer, A., Hubberten, H.-W., Huntley, B., Keller, J., Kraml, M., Mackensen, A., Mingram, J., Negendank, J. F. W., Nowaczyk, N. R., Oberhänsli, H., Watts, W. A., Wulf, S. & Zolitschka, B. (1999). Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. *Nature* **400**, 740-743.
- Amato, A., Chiarabba, C., Cocco, M., Di Bona, M. & Selvaggi, G. (1994). The 1989-1990 seismic swarm in the Alban Hills volcanic area, central Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **61**, 225-237.
- Andretta, D., Taddeucci, A. & Voltaggio, M. (1988a). U & Th distribution and isotopic composition in recent (post-calderic) volcanics from Alban Hills (Rome). Chronology and magmatologic considerations. *Chemical Geology* **70**, 124.
- Andretta, D., Taddeucci, A. & Voltaggio, M. (1988b). Th-230 dating of the last products of the Alban Hills volcano (Rome). *Chemical Geology* **70**, 130.
- Andronico, D. & Cioni, R. (submitted). Contrasting styles of Mt. Vesuvius activity in the period between the Avellino and Pompeii Plinian eruptions, and some implications for assessment of future hazards. *Bulletin of Volcanology*.
- Andronico, D. (1997). La Stratigrafia dei prodotti dell'eruzione di Lagno Amendolare (Campi Flegrei, Napoli). *Atti Società Toscana di Scienze naturali Memorie, Serie A* **104**, 165-178.
- Andronico, D., Calderoni, G., Cioni, R., Sbrana, A., Sulpizio, R. & Santacroce, R. (1995). Geological map of Somma-Vesuvius Volcano. *Periodico di Mineralogia* **64**, 77-78.
- Appleton, J. D. (1972). Petrogenesis of potassium-rich lavas from the Roccamonfina Volcano, Roman Region, Italy. *Journal of Petrology* **13**, 425-456.
- Asioli, A. (1996). High resolution foraminifera biostratigraphy in the Central Adriatic basin during the last deglaciation: a contribution to the PALICLAS project. In „Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.” (P. Guilizzoni & F. Oldfield, Eds.), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* **55**, 197-217
- Aurisicchio, C., Nappi, G., Renzulli, A. & Santi, P. (1992). Mineral chemistry, glass composition and magma fractionation of the welded ignimbrite in the 'Civitella d'Agliano Formation', Vulcini Volcanic District (Italy). *Mineralogica et Petrographica Acta* **35**, 157-182.
- Ballini, A., Barberi, F., Laurenzi, M. A., Mezzetti, F. & Villa, I. M. (1989). Nuovi dati sulla stratigrafia del vulcano di Roccamonfina. *Boll. GNV* **5**, 533-555.
- Barberi, F., Bizouard, H., Capaldi, G., Ferrara, G., Gasparini, G., Innocenti, F., Joron, J. L., Lambret, B., Treuil, M. & Allègre, C. (1978a). Age and nature of basalts from the Tyrrhenian abyssal plain. *Initial Report DSDP* **42**, 509-514.
- Barberi, F., Borsi, S., Ferrara, G. & Innocenti, F. (1969). Strontium isotopic composition of some recent basic volcanites of the southern Tyrrhenian Sea and Sicily Channel. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **23**, 157-172.

- Barberi, F., Civetta, L., Gasparini, P., Innocenti, F. & Scandone, R. (1974). Evolution of a section of the Africa-Europe plate boundary: paleomagnetic and volcanological evidence from Sicily. *Earth and Planetary Science Letters* **22**, 123-132.
- Barberi, F., Innocenti, F. & Ricci, C. A. (1971). Il magmatismo. In „Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio 143 Bracciano.” (M. La Bertini, C. D'Amico, M. Deriu, O. Girotti, S. Tagliavini, and L. Vernia, Eds.), Servizio Geologico d'Italia, p.77.
- Barberi, F., Innocenti, F., Lirer, L., Munno, R., Pescatore, T. & Santacroce, R. (1978b). The Campanian Ignimbrite: a major prehistoric eruption in the Neapolitan Area (Italy). *Bulletin of Volcanology* **41**, 10-31.
- Barberi, F., Rosi, M., Santacroce, R. & Sheridan, M. F. (1983). Volcanic Hazard Zonation: Mt. Vesuvius. In „Forecasting volcanic events.” (H. Tazieff & J.-C. Sabroux, Eds.). Developments in Volcanology 1. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, p.149-161.
- Barbieri, M., Peccerillo, A., Poli, G. & Tolomeo, L. (1988). Major, trace element and Sr isotopic composition of lavas from Vico volcano (Central Italy) and their evolution in an open system. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **99**, 485-497.
- Bard, E. (1988). Correction of Accelerator Mass Spectrometry  $^{14}\text{C}$  ages measured in planktonic foraminifera: Paleoceanographic Implications. *Paleoceanography* **3**, 635-645.
- Bard, E., Arnold, M., Fairbanks, R. G. & Hamelin, B. (1993).  $^{230}\text{Th}$ - $^{234}\text{U}$  and  $^{14}\text{C}$  ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon* **35**, 191-199.
- Bard, E., Arnold, M., Hamelin, B., Tisnerat-Laborde, N. & Cabioch, G. (1998). Radiocarbon calibration by means of mass spectrometric  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  and  $^{14}\text{C}$  ages of corals. An updated data base including samples from Barbados, Mururoa and Tahiti. *Radiocarbon* **40**, 1085-1092.
- Barnola, J. M., Raynaud, D., Korotkevich, Y. S. & Lorius, C. (1987). Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric  $\text{CO}_2$ . *Nature* **329**, 408-414.
- Bartolini, C., De Giuli, C. & Gianelli, G. (1974). Turbidites of the Southern Tyrrhenian Sea. *Bollettino della Società Geologica Italiana* **93**, 3-22.
- Basilone, P. & Civetta, L. (1975). Datazione K/Ar dell'attività vulcanica dei Monti Ernici (Latina). *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.* **31**, 175-179.
- Beccaluva, L., Di Girolamo, P. & Serri, G. (1991). Petrogenesis and tectonic setting of the Roman Volcanic Province, Italy. *Lithos* **26**, 191-221.
- Bertagnini, A. & Sbrana, A. (1986). Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche. *Mem. Soc. Geol. It.* **35**, 699-713.
- Boccaletti, M., Cello, G. & Tortorici, L. (1987). Transtensional tectonics in the Sicily Channel. *Journal of Structural Geology* **9**, 869-876.
- Bonadonna, F. P. & Bigazzi, G. (1970). Studi sul Pleistocene del Lazio - VIII. Datazione di tufi intratirreniani della zona di Cerveteri (Roma) mediante il metodo delle tracce di fissione. *Bollettino della Società Geologica Italiana* **89**, 463-473.
- Bonadonna, F. P., Brocchini, D. I., Laurenzi, M. A., Principe, C. & Ferrara, G. (1993). Mt. Vulture volcano chronostratigraphy and palaeogeographic implications. In „Abstracts Symposium on Quaternary Stratigraphy in Volcanic Areas.” (I. S. o. E. Q. Stratigraphy, Ed.), Rom, p.13.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. & Bonani, G. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science* **278**, 1257-1266.
- Borchardt, G. A., Aruscavage, P. J. & Millard, H. T., Jr. (1972). Correlation of the Bishop ash, a Pleistocene marker bed, using instrumental neutron activation analysis. *Journal of Sedimentary Petrology* **42**, 301-306.
- Brandt, U., Nowaczyk, N. R., Ramrath, A., Brauer, A., Mingram, J., Wulf, S. & Negendank, J. F. W. (1999). Palaeomagnetism of Holocene and Late Pleistocene sediments from Lago di Mezzano and Lago Grande di Monticchio (Italy): initial results. *Quaternary Science Reviews* **18**, 961-976.

- Brauer, A., Mingram, J., Frank, U., Günter, C., Schettler, G., Wulf, S., Zolitschka, B. & Negendank, J. F. W. (2000). Abrupt environmental oscillations during the Early Weichselian recorded at Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary International* **73/74**, 79-90.
- Brauer, A., Mingram, J., Nowaczyk, N. R., Zolitschka, B. & Negendank, J. F. W. (1997). Laminated sediments from Lago Grande di Monticchio, Southern Italy - a long terrestrial record for high-resolution environmental reconstruction. *Terra Nova* **9**, 630.
- Brocchini, D., La Volpe, L., Laurenzi, M. A. & Principe, C. (1994). Storia evolutiva del Monte Vulture. *Plinius* **12**, 22-25.
- Brook, E. J., Sowers, T. & Orchardo, J. (1996). Rapid variations in atmospheric methane concentration during the past 110,000 years. *Science* **273**, 1087-1091.
- Burnett, W. C. & Veeh, H. H. (1992). Uranium-series studies of marine phosphates and carbonates. In „Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences.” (S. R. Harmon & M. Ivanovich, Eds.), Clarendon Press, Oxford, p.487-512.
- Bursik, M. (1998): Tephra dispersal. In „The physics of explosive volcanic eruptions.” (J. S. Gilbert & R. S. J. Sparks, Eds.), Geological Society, London, p.115-144.
- Calanchi, N., Cattaneo, A., Dinelli, E., Gasparotto, G. & Lucchini, F. (1998). Tephra layers in Late Quaternary sediments of the central Adriatic Sea. *Marine Geology* **149**, 191-209.
- Calanchi, N., Dinelli, E., Gasparotto, G. & Lucchini, F. (1996a). Etnean tephra layer in Albano Lake and Adriatic Sea Cores: new findings of Y1-layer in the Central Mediterranean area. *Acta Vulcanologica* **8**, 7-13.
- Calanchi, N., Dinelli, E., Lucchini, F. & Mordenti, A. (1996b). Chemostratigraphy of late Quaternary sediments from Lake Albano and central Adriatic Sea cores (PALICLAS Project). In „Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.” (P. Guilizzoni & F. Oldfield, Eds.), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* **55**, 247-263
- Calanchi, N., Gasparotto, G. & Romagnoli, C. (1994). Glass chemistry in volcanoclastic sediments of ODP Leg 107, Site 650, sedimentary sequence: provenance and chronological implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **60**, 59-85.
- Calderoni, G. & Turi, B. (1998). Major constraints on the use of radiocarbon dating for tephrochronology. *Quaternary International* **47/48**, 153-159.
- Capaldi, G. & Pece, R. (1981). On the reliability of the  $^{230}\text{Th}$ - $^{238}\text{U}$  dating applied to young volcanic rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **11**, 367-372.
- Caputo, M., Panza, G. F. & Postpischl, D. (1972). New evidences about the deep structure of the Lipari arc. *Tectonophysics* **15**, 219-231.
- Carey, S. & Sparks, R. S. J. (1986). Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bulletin of Volcanology* **48**, 109-125.
- Carey, S. N. & Sigurdsson, H. (1982): Influence of particle aggregation on deposition of distal tephra from the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens volcano.- *Journal of Geophysical Research* **87**, 7061-7072.
- Carmichael, I. S. E. & MacKenzie, W. S. (1963). Feldspar-liquid equilibria in pantellerites: an experimental study. *American Journal of Science* **261**, 382-396.
- Carter, S. R. & Civetta, L. (1977). Genetic implications of the isotope and trace element variations in the Eastern Sicilian volcanics. *Earth and Planetary Science Letters* **36**, 168-180.
- Cas, R. A. F. & Wright, J. V. (1987). „Volcanic Successions - modern and ancient.” Chapman & Hall, London, pp.528.
- Cassignol, C. & Gillot, P.-Y. (1982). Range and effectiveness of unspiked potassium-argon dating: experimental groundwork and application. In „Numerical Dating in Stratigraphy. Part I.” (G. S. Odin, Ed.), Wiley, Chichester, p.159-179.
- Celico, P. (1983). „Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centre-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania).” *Quaderni della Casmez*. **4** (2), 225.

- Chappell, J. & Shackleton, N. J. (1986). Oxygen isotopes and sea level. *Nature* **324**, 137-140.
- Charvatova, I. (1999). The basic cycle of 2402 years in solar motion and its response in solar activity. *Geophysical Research Abstracts* **1** (3), 681.
- Chester, D. K., Duncan, A. M. & Guest, J. E. (1987). The pyroclastic deposits of Mount Etna volcano, Sicily. *Geological Journal* **22**, 225-243.
- Chester, D. K., Duncan, A. M., Guest, J. E. & Kilburn, C. R. J. (1985). „Mount Etna: the Anatomy of a Volcano.” Chapman & Hall, London, pp.404.
- Chiodini, G., Cioni, R., Guidi, M., Marini, L., Principe, C. & Raco, B. (1997). Water and gas chemistry of the Lake Piccolo of Monticchio (Mt. Vulture, Italy). In: *Current Research on volcanic lakes. Newsletter of the IAVCEI Commission on volcanic lakes*, pp.7.
- Chondrogiani, C., Ariztegui, D., Niessen, F., Ohlendorf, C. & Lister, G. S. (1996). Late Pleistocene and Holocene sedimentation in Lake Albano and Lake Nemi (central Italy). In „Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.” (P. Guilizzoni & F. Oldfield, Eds.), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* **55**, 23-38.
- Cioni, R., Laurenzi, M. A., Sbrana, A. & Villa, I. M. (1993).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chronostratigraphy of the initial activity of the Sabatini volcanic complex (Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana* **112**, 251-263.
- Cioni, R., Santacroce, R. & Sbrana, A. (1999). Pyroclastic deposits as a guide for reconstructing the multi-stage evolution of the Somma-Vesuvius Caldera. *Bulletin of Volcanology* **60**, 207-222.
- Cita, M. B., Chierici, M. A., Ciampo, G., Moncharmont Zei, M., d'Onofrio, S., Ryan, W. B. F. & Scorziello, R. (1972). The Quaternary record in the Tyrrhenian and Ionian Basins of the Mediterranean Sea. In „Initial Reports of Deep Sea Drilling Project 13.” (W. B. F. Ryan, K. J. Hsu et al., Eds.), p.1263-1339.
- Cita, M. B., McCoy, F. W. & Coughlin, S. (1981): Tephrochronology of the Mediterranean Deep-Sea Record. New data from the Western Mediterranean Ridge and from the Tyrrhenian Basin.- *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **4**, 255-258.
- Cita, M. B., Vergnaud-Grazzini, C., Robeck, C., Chamley, H., Ciaranfi, N. & D'Onofrio, S. (1977). Paleoclimatic record of a long deep sea core from the eastern Mediterranean. *Quaternary Research* **8**, 205-235.
- Civetta, L., Cornette, Y., Crisci, G., Gillot, P. Y., Orsi, G. & Requejo, C. S. (1984). Geology, geochronology and chemical evolution of the island of Pantelleria. *Geol. Mag.* **121**, 541-562.
- Civetta, L., D'Antonio, M., Orsi, G. & Tilton, G. R. (1998). The Geochemistry of volcanic rocks from Pantelleria Islands, Sicily Channel: petrogenesis and characteristics of the mantle source region. *Journal of Petrology* **39**, 1453-1491.
- Civetta, L., Innocenti, F., Manetti, P., Peccerillo, A. & Poli, G. (1981). Geochemical characteristics of potassic volcanics from Mts. Ernici (Southern Latium, Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology* **78**, 37-47.
- Civetta, L., Orsi, G., Pappalardo, L., Fisher, R. V., Heiken, G. & Ort, M. (1997). Geochemical zoning, mingling, eruptive dynamics and depositional processes; the Campanian Ignimbrite, Campi Flegrei caldera, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **75**, 183-219.
- Condomines, M., Tanguy, J. C., Kieffer, G. & Allègre, C. J. (1982). Magmatic evolution of a volcano studied by  $^{230}\text{Th}$ - $^{238}\text{U}$  disequilibrium and trace elements systematics: the Etna case. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **46**, 1397-1416.
- Conticelli, S. & Peccerillo, A. (1992). Petrology and geochemistry of potassic and ultrapotassic volcanism in central Italy: petrogenesis and inferences on the evolution of the mantle sources. *Lithos* **28**, 221-240.
- Conticelli, S., Francalanci, L., Manetti, P., Cioni, R. & Sbrana, A. (1997). Petrology and geochemistry of the ultrapotassic rocks from the Sabatini Volcanic District, central Italy: the role of evolutionary processes in the genesis of variably enriched alkaline magmas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **75**, 101-136.
- Cornell, W., Carey, S. & Sigurdsson, H. (1983). Computer simulation of transport and deposition of the Campanian Y-5 ash. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **17**, 89-109.

- Cornette, Y., Crisci, G. M., Gillot, P. Y. & Orsi, G. (1983). The recent volcanic history of Pantelleria: a new interpretation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **17**, 361-373.
- Creer, K. M. & Morris, A. (1996). Proxy-climate and geomagnetic palaeointensity records extending back to ca. 75,000 BP derived from sediments cored from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews* **15**, 167-188.
- Cronin, T. M. (1999). „Principles of Paleoclimatology.” Columbia University Press, New York, pp.560.
- Cundari, A. & Mattias, P. P. (1974). Evolution of the Vico lavas, Roman Volcanic Region, Italy. *Bulletin of Volcanology* **38**, 98-114.
- Damon, P. E. & Sonett, C. P. (1995). Solar and terrestrial components of the atmospheric  $^{14}\text{C}$  variation spectrum. In „The sun in time.” (C. P. Sonett, M. S. Giampapa, and M. S. Matthews, Eds.), Tuscon.
- D'Antonio, M., Civetta, L., Orsi, G., Pappalardo, L., Piochi, M., Carandente, A., de Vita, S., Di Vito, M. A. & Isaia, R. (1999). The present state of the magmatic system of the Campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behavior in the past 12 ka. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **91**, 247-268.
- D'Antonio, M., Tilton, G. R. & Civetta, L. (1996). Petrogenesis of Italian alkaline lavas deduced from Pb-Sr-Nd isotope relationships. In „Earth Processes: Reading the Isotopic Code.”. Geophysical Monograph. American Geophysical Union, p.253-267.
- De Astis, G., Dellino, P., De Rosa, R. & La Volpe, L. (1997b). Eruptive and emplacement mechanism of widespread fine-grained pyroclastic deposits on Vulcano Island (Italy). *Bulletin of Volcanology* **59**, 87-102.
- De Astis, G., La Volpe, L., Peccerillo, A. & Civetta, L. (1997a). Volcanological and petrological evolution of Vulcano island (Aeolian Arc, southern Tyrrhenian Sea). *Journal of Geophysical Research* **102**, 8021-8050.
- De Rita, D. & Zanetti, G. (1986). Caratteri vulcanologici e deposizionali delle piroclastiti di Stracciacappe (Sabatini Orientali, Roma). *Mem. Soc. Geol. Ital.* **35**, 667-677.
- De Rita, D., Giordano, G. & Milli, S. (1997). Forestepping-backstepping stacking pattern of volcanoclastic successions: Roccamonfina volcano, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **78**, 267-288.
- de Vita, S., Laurenzi, M. A., Orsi, G. & Voltaggio, M. (1998). Application of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and  $^{230}\text{Th}$  dating methods to the chronostratigraphy of Quaternary basaltic volcanic areas: the Ustica island case history. *Quaternary International* **47/48**, 117-127.
- de Vita, S., Orsi, G., Civetta, L., Carandente, A., D' Antonio, M., Deino, A., di Cesare, T., Di Vito, M. A., Fisher, R. V., Isaia, R., Marotta, E., Necco, A., Ort, M., Pappalardo, L., Piochi, M. & Southon, J. (1999). The Agnano-Monte Spina eruption (4100 years BP) in the restless Campi Flegrei caldera (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **91**, 269-301.
- De Vivo, B., Scandone, R. & Trigila, R. (1993). Mount Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **58**, 1-381.
- Deino, A. L., Curtis, G. H., Southon, J., Terrasi, F., Campajola, L. & Orsi, G. (1994).  $^{14}\text{C}$  and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Campanian Ignimbrite, Phlegrean Fields, Italy. In „ICOG-8.”, Berkeley, CA, p.77.
- Deino, A., Curtis, G. & Rosi, M. (1992).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Campanian Ignimbrite, Campanian Region, Italy. In „29th International Geological Congress.”, Kyoto, Japan, p.2654.
- Delibrias, G., Guillier, M.-T. & Labeyrie, J. (1986). Gif natural radiocarbon measurements X. *Radiocarbon* **28**, 9-68.
- Dewey, J. E., Pittman, W. C. I., Ryan, W. B. F. & Bonnin, J. (1973). Plate tectonics and evolution of the Alpine system. *Geological Society of America. Bulletin.* **84**, 3137-3180.
- Di Filippo, M. (1993). „Sabatini Volcanic Complex.” Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Rom, **114** (11), pp.109.
- Di Vito, M. A., Sulpizio, R., Zanchetta, G. & Calderoni, G. (1998). The geology of the south western slopes of Somma-Vesuvius, Italy, as inferred by borehole stratigraphies and cores. *Acta Vulcanologica* **10**, 383-393.

- Di Vito, M., Isaia, R., Orsi, G., Southon, J., di Vita, S., D'Antonio, M., Pappalardo, L. & Piochi, M. (1999). Volcanism and deformation since 12,000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **91**, 221-246.
- Druitt, T. H. (1985). Vent evolution and lag breccia formation during the Cape Riva eruption of Santorini, Greece. *Journal of Geology* **93**, 439-454.
- Druitt, T. H., Mellors, R. A., Pyle, D. M. & Sparks, R. S. J. (1989). Explosive volcanism on Santorini, Greece. *Geological Magazine* **126**, 95-126.
- Duncan, A. M. (1976). Pyroclastic flow deposits in the Adrano area of Mount Etna, Sicily. *Geological Magazine* **113**, 357-363.
- Eastwood, W. J., Pearce, N. J. G., Westgate, J. A., Perkins, W. T., Lamb, H. F. & Roberts, N. (1999). Geochemistry of Santorini tephra in lake sediments from Southwest Turkey. *Global and Planetary Change* **21**, 17-29.
- Ericson, D. B. & Wollin, W. (1968). Pleistocene climates and chronology in deep sea sediments. *Science* **183**, 511-514.
- Evernden, J. F. & Curtis, G. H. (1965). The Potassium-Argon dating of Late Cenozoic rocks in East Africa and Italy. *Curr. Anthropol.* **6**, 343-364.
- Fairbanks, R. C. (1989). A 17,000-year glacio-eustatic sea-level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* **342**, 637-642.
- Faure, G. (1986). „Principles of Isotope Geology.” John Wiley & Sons, Singapur, pp.599.
- Federman, A. N. & Carey, S. N. (1980): Electron microprobe correlation of tephra layers from Eastern Mediterranean abyssal sediments and the island of Santorini.- *Quaternary Research* **13**, 160-171.
- Ferrara, G. & Tonarini, S. (1985). Radiometric geochronology in Tuscany: results and problems. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **40**, 11-124.
- Ferrara, G., Laurenzi, M. A., Taylor, H. P., Tonarini, S. & Turi, B. (1985). Oxygen and strontium isotope studies of K-rich volcanic rocks from the Alban Hills, Italy. *Earth and Planetary Science Letters* **75**, 13-28.
- Fisher, R. V. & Schmincke, H.-U. (1984). „Pyroclastic rocks.” Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp.472.
- Fisher, R. V. (1961): Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks.- *Geological Society of America. Bulletin* **72**, 1409-1414.
- Fisher, R. V. (1964). Maximum size, median diameter, and sorting of tephra. *Journal of Geophysical Research* **69**, 341-355.
- Follieri, M., Magri, D. & Narcisi, B. (1993): Palaeoenvironmental investigations on long sediment cores from volcanic lakes of Lazio (Central Italy) - an overview. In „Paleolimnology of European Maar lakes.” (J. F. W. Negendank & B. Zolitschka, Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences* **49**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.95-107.
- Fornaseri, M. & Turi, B. (1969). Carbon and oxygen isotopic composition of carbonates in lavas and ejectites from the Alban Hills, Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **23**, 244-256.
- Fornaseri, M. (1985). Geochronology of volcanic rocks from Latium (Italy). *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **40**, 73-106.
- Fornaseri, M., Scherillo, A. & Ventriglia, U. (1963). „La regione vulcanica dei Colli Albani.” Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Roma, pp.550.
- Funicello, R. & Parotto, M. (1978). Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine Tirrenico dell'Appennino Centrale. *Geol. Romana* **17**, 233-248.
- Geyh, M. A. & Schleicher, H. (1990). „Absolute age determinations: physical and chemical dating methods and their application.” Springer Verlag, Berlin, pp.503.
- Giannetti, B. (1994). Comments on Cole et al. (1992) I. The extracaldera "Galluccio Tuff", Roccamonfina volcano, Italy. *Rend. Fis. acc. Lincei* **9**, 125-133.

- Giannetti, B. (1996a). The geology of the Yellow Trachytic Tuff, Roccamonfina Volcano, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **71**, 53 -72.
- Giannetti, B. (1996b). Volcanology of trachytic and associated basaltic pyroclastic deposits at Roccamonfina volcano, Roman Region, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **71**, 229-248.
- Gillot, P.-Y., Kieffer, G. & Romano, R. (1994). The evolution of Mount Etna in the light of potassium-argon dating. *Acta Vulcanologica* **5**, 81-87.
- Gillot, P.-Y. & Cornette, Y. (1986). The Cassinot technique for Potassium-Argon dating, precision and accuracy: Examples from the late Pleistocene to recent volcanics from southern Italy. *Chemical Geology (Isot. Geosci. Sect.)* **59**, 205-222.
- Guichard, F., Carey, S., Arthur, M. A., Sigurdsson, H. & Arnold, M. (1993). Tephra from the Minoan eruption of Santorini in sediments of the Black Sea. *Nature* **363**, 610-612.
- Guilizzoni, P. & Oldfield, F. (1996): „Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.” *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* **55**, pp.357.
- Hajdas, I., Bonani, G., Zolitschka, B., Brauer, A. & Negendank, J. F. W. (1998).  $^{14}\text{C}$  ages of terrestrial macrofossils from Lago Grande di Monticchio (Italy). *Radiocarbon* **40**, 803-807.
- Hardy, R., Wright, P., Gribbin, J. & Kington, J. (1982). „Einführung in die Wetterkunde.” Christian Verlag, München, pp.224.
- Harrell, J. A. & Eriksson, K. A. (1979). Empirical conversion equations for thin-section and sieve derived size distribution parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* **49**, 273-280.
- Hawkesworth, C. J. & Vollmer, R. (1979). Crustal contamination versus enriched mantle:  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  evidence from the Italian volcanics. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **69**, 151-165.
- Heiken, G. & Wohletz, K. (1987). Tephra deposits associated with silicic domes and lava flows. *Geological Society of America, Special Paper* **212**, 55-76.
- Heiken, G. (1972). Morphology and petrography of volcanic ashes. *Geological Society of America. Bulletin* **83**, 1961-1988.
- Hieke Merlin, O. (1967). „I prodotti vulcanici del Monte Vulture (Lucania).” *Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova* **26**, pp.70.
- Hieke, W., Glaçon, G., Hasegawa, S., Müller, C. & Peypouquet, J. P. (1990). Sedimentation in the Marsili Basin during Quaternary (ODP Site 650, Tyrrhenian Sea). In „Proc. ODP, Sci. Results.” (K. A. Kastens & J. e. a. Mascle, Eds.), College Station, TX (Ocean Drilling Program), p.255-289.
- Horn, D. R., Delach, M. N. & Horn, B. M. (1969): Distribution of volcanic ash layers and turbidites in the north Pacific.- *Geological Society of America. Bulletin.* **80**, 1715-1724.
- Hornig-Kjarsgaard, I., Keller, J., Koberski, U., Stadlbauer, E., Francalanci, L. & Lenhart, R. (1993). Geology, stratigraphy and volcanological evolution of the island of Stromboli, Aeolian arc, Italy. *Acta Vulcanologica* **3**, 21-68.
- Huber, N. K. & Rinehart, C. D. (1966). Some relationships between the refractive index of fused glass beads and the petrologic affinity of volcanic rock suites. *Geological Society of America. Bulletin* **77**, 101-110.
- Hunt, J. B. & Hill, P. G. (1993). Tephra geochemistry: a discussion of some persistent analytical problems. *The Holocene* **3**, 271-278.
- Hunt, J. B. & Hill, P. G. (1996). An inter-laboratory comparison of the electron probe microanalysis of glass geochemistry. *Quaternary International* **34-36**, 229-241.
- Hunt, J. B., Clift, P. D., Lacasse, C., Vallier, T. L. & Werner, R. (1998). 7. Interlaboratory comparison of electron probe microanalysis of glass geochemistry. In „Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results.” (A. D. Saunders, H. C. Larsen & S. W. Wise, Jr., Eds.), p.85-91.
- Huntley, B., Allen, J. R. M. & Watts, W. A. (1996). Weichselian late-glacial palaeoecology and palaeoenvironment at Lago Grande di Monticchio (Basilicata, S Italy). *Il Quaternario* **9**, 605-616.
- Hupfer, P. (1996). „Unsere Umwelt: Das Klima - Globale und lokale Aspekte.” B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, pp.335.

- Hurley, P. M., Fairbairn, H. W. & Pinson, W. H. (1966). Rb-Sr isotopic evidence in the origin of potash-rich lavas of western Italy. *Earth and Planetary Science Letters* **1**, 301-306.
- Hutchinson, G. E. (1970). Ianula: an account of the history and development of the Lago di Monterosi, Latium, Italy. *Trans. Am. Philos. Soc.* **60** (4), 178.
- Inman, D. L. (1952). Measures of describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.* **22**, 125-145.
- Jahns, S. & van den Bogaard, C. (1998). New palynological and tephrostratigraphical investigations of two salt lagoons on the island of Mljet, south Dalmatia, Croatia. *Vegetation History and Archaeobotany* **7**, 219-234.
- Keller, J. (1974). Petrology of some volcanic rock series of the Aeolian Arc, southern Tyrrhenian Sea: calc-alkaline and shoshonitic associations. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **46**, 29-47.
- Keller, J. (1980a). The island of Vulcano. *Rend. Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **36**, 369-414.
- Keller, J. (1980b). The island of Salina. *Rend. Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **36**, 489-524.
- Keller, J. (1981). Quaternary tephrochronology in the Mediterranean region. In „Tephra Studies.” (S. Self & R. S. J. Sparks, Eds.), pp. 227-244. Reidel, Dordrecht.
- Keller, J. (1982). Mediterranean island arcs. In „Andesites.” (R. S. Thorpe, Ed.). John Wiley & Sons.
- Keller, J., Kraml, M. & Scheld, A. (1996). Late Quaternary tephrochronological correlation between deep-sea sediments and the land record in the Central Mediterranean. In “30th International Geological Congress.”, Abstract Volume, Beijing, p.204.
- Keller, J., Ryan, W. B. F., Ninkovich, D. & Altherr, R. (1978). Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200,000 yr as recorded in deep-sea sediments. *Geological Society of America Bulletin* **89**, 591-604.
- Kelly, M. G. & Huntley, B. (1991): An 11,000-year record of vegetation and environment from Lago di Martignano, Latium, Italy.- *Journal of Quaternary Science* **6**, 209-224.
- Kieffer, G. (1970). Les depots detritiques et pyroclastiques du versant oriental de l'Etna. *Att. Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania* **S 7**, 1-32.
- Kraml, M. (1997). “Laser-<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Datierungen an distalen marinen Tephren des jung-quartären mediterranen Vulkanismus (Ionisches Meer, METEOR-Fahrt 25/4).”, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., pp.216.
- Kutzbach, J. E., Guetter, P. J., Behling, P. J. & Selin, R. (1993). Simulated climatic changes: Results of the COHMAP Climate-Model experiments. In „Global Climates since the last Glacial maximum.” (H. E. Wright Jr., J. E. Kutzbach, T. Webb III, W. F. Ruddiman, F. A. Street-Perrott & P. J. Bartlein, Eds.). University of Minnesota Press, Minneapolis.
- La Volpe, L. & Piccarreta, G. (1967). Il vulcanismo quaternario del Monte Vulture in Lucania. *Atti Accad. Gioenia Sci. natur. Catania* **Ser. VI, 18**, 117-122.
- Laj, C., Mazaud, A. & Duplessy, J.-C. (1996). Geomagnetic intensity and <sup>14</sup>C abundance in the atmosphere and ocean during the past 50 kyr. *Geophysical Research Letters* **23**, 2045-2048.
- Langone, L., Asioli, A., Correggiari, A. & Trincardi, F. (1996). Age-depth modelling through the late Quaternary deposits of the Central Adriatic basin. In „Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.” (P. Guilizzoni & F. Oldfield, Eds.), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* **55**, 177-196.
- Laskar, J. (1990). The chaotic motion of the solar system: A numerical estimate of the size of the chaotic zones. *Icarus* **88**, 266-291.
- Laurenzi, M. A. & Villa, I. M. (1987). <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar chronostratigraphy of Vico ignimbrites. *Per. Mineral.* **56**, 285-293.
- Laurenzi, M. A., Brocchini, D. I., Principe, C. & Ferrara, G. (1993). Mt.Vulture volcano chronostratigraphy and the effectiveness of dating young phlogopites. *Terra abstracts* **5**, 572-573.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica diagram. *Journal of Petrology* **27**, 745-750.



- Ledbetter, M. T. & Sparks, R. S. J. (1979): Duration of large-magnitude explosive eruptions deduced from graded bedding in deep-sea ash layers.- *Geology* **7**, 240-244.
- Lineweaver, J. L. (1963). Oxygen outgassing caused by electron bombardment of glass. *Journal of Applied Physics* **34**, 1786-1791.
- Lirer, L., Munno, R., Petrosino, P. & Vinci, A. (1993). Tephrostratigraphy of the A.D. 79 pyroclastic deposits in perovlcanic areas of Mt. Vesuvio (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **58**, 133-149.
- Lirer, L., Perrotta, A., Rolandi, G., Rubin, M. & Donahue, D. (1991). The Campi Flegrei "Museum Breccia" deposits: eruptive events younger than the Campanian Ignimbrite Formation. In „Int. Conf. Active Volcanic Risk Mitigation.” Abstracts.
- Locardi, E. (1965). Tipi di ignimbriti di magmi mediterranei. Le ignimbriti del vulcano di Vico. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali* **72**, 55-173.
- Luhr, J. F. & Giannetti, B. (1987). The Brown Leucitic Tuff of Roccamonfina volcano, Roman Region, Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **95**, 420-436.
- Mahood, G. A. & Hildreth, W. (1983). Nested calderas and trap-door uplift at Pantelleria, Strait of Sicily. *Geology* **11**, 103-106.
- Mahood, G. A. & Hildreth, W. (1986). Geology of the peralkaline volcano at Pantelleria, Strait of Sicily. *Bulletin of Volcanology* **48**, 143-172.
- Marinelli, G. (1975). Magma evolution in Italy. In „Geology of Italy.” (C. H. Squyres, Ed.), Petr. Expl. Soc. Libya, Tripoli, p.221-243.
- Mathews, W. H. (1951). A useful method for determining approximate composition of fine grained igneous rocks. *American Mineralogist* **36**, 92-101.
- Matthews, R. K. (1969). Tectonic implications of glacio-eustatic sea level fluctuations. *Earth and Planetary Science Letters* **5**, 459-462.
- Mattias, P. P. & Ventriglia, U. (1970). La Regione Vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini. *Mem. Soc. Geol. Ital.* **9**, 331-384.
- Mazaud, A., Laj, C., Bard, E., Arnold, M. & Tric, E. (1991). Geomagnetic field control of  $^{14}\text{C}$  production over th last 80 ky: Implications for the radiocarbon time-scale. *Geophysical Research Letters* **18**, 1885-1888.
- McCoy, F. W. & Cornell, W. (1990). Volcaniclastic sediments in the Tyrrhenian Basin. In „Proc. ODP, Sci. Results.” (K. A. Karstens & J. Mascle, Eds.), College Station, TX, p.291-305.
- McCoy, F. W. (1980). The upper Thera (Minoan) ash in deep-sea sediments: distribution and comparison with other ash layers. In „Thera and the Aegean world.” (C. Dumas, Ed.), Proceedings 2<sup>o</sup> International Scientific Congress on the Volcano of Thera, Greece, p.57-78.
- McCoy, F. W. (1981). Areal distribution, redeposition and mixing of tephra within deep-sea sediments of the Eastern Mediterranean sea. In „Tephra studies.” (S. Self, and R. S. J. Sparks, Eds.), *Nato Advanced Study Institutes Series C* 75. Reidel, Dordrecht, p.245-254.
- McDowell, F. W. (1983). K/Ar Dating: Incomplete extraction of radiogenic Argon from Alkali Feldspar. *Isot. Geosci.* **1**, 119-126.
- McGuire, W. J., Howarth, R. J., Firth, C. R., Solow, A. R., Pullen, A. D., Saunders, S. J., Stewart, I. S. & Vita-Finzi, C. (1997). Correlation between rate of sea-level change and frequency of explosive volcanism in the Mediterranean. *Nature* **389**, 473-476.
- Mellis, O. (1954). Volcanic ash-horizons in deep-sea sediments from the eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research* **2**, 89-92.
- Melluso, L., Morra, V., Perrotta, A., Scarpati, C. & Adabbo, M. (1995). The eruption of the Breccia Museo (Campi Flegrei, Italy): Fractional crystallization processes in a shallow, zoned magma chamber and implications for the eruptive dynamics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **68**, 325-339.
- Merrihue, C. (1965). Trace element determination and potassium-argon dating by mass spectroscopy of neutron-irradiated samples. *EOS Trans. Amer. Geophys. Union* **46**, 125.

- Morche, W. (1988). „Tephrochronologie der Äolischen Inseln.“, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., pp.238.
- Nakada, M. & Yokose, H. (1992). Ice age as a trigger of active Quaternary volcanism and tectonism. *Tectonophysics* **212**, 321-329.
- Nappi, G. & Marini, A. (1986). I cicli eruttivi dei Vulsini orientali nell'ambito della vulcanotettonica del Complesso. *Atti 73° Congr. Soc. Geol. Ital.*, 303-306.
- Nappi, G., Antonelli, F., Coltorti, M., Milani, L., Renzulli, A. & Siena, F. (1998). Volcanological and petrological evolution of the Eastern Vulsini District, Central Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **87**, 211-232.
- Nappi, G., Capaccioni, B., Mattioli, M., Mancini, E. & Valentini, L. (1994). Plinian fall deposits from Vulsini Volcanic District (Central Italy). *Bulletin of Volcanology* **56**, 502-515.
- Nappi, G., Renzulli, A. & Santi, P. (1987). An evolutionary model for the Paleo-Bolsena volcanic complexes: a structural and petrographical study. *Periodico di Mineralogia* **56**, 241-267.
- Nappi, G., Renzulli, A. & Santi, P. (1991). Evidence of incremental growth in the vulsinian calderas (Central Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **47**, 13-31.
- Nappi, G., Renzulli, A., Santi, P. & Gillot, P. Y. (1995). Geological evolution and geochronology of the Vulsini Volcanic District (Central Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana* **114**, 599-613.
- Narcisi, B. & Anselmi, B. (1998). Sedimentological investigations on a late quaternary lacustrine core from the Lagaccione crater (Central Italy): palaeoclimatic and palaeoenvironmental inferences. *Quaternary International* **47/48**, 21-28.
- Narcisi, B. & Vezzoli, L. (1999). Quaternary stratigraphy of distal tephra layers in the Mediterranean - an overview. *Global and Planetary Change* **21**, 31-50.
- Narcisi, B. (1996). Tephrochronology of a late quaternary lacustrine record from the Monticchio Maar (Vulture Volcano, southern Italy). *Quaternary Science Reviews* **15**, 155-165.
- Negendank, J. F. W. & Zolitschka, B. (1994). The tephra layers of the 76,000 year record of Lago Grande di Monticchio (Basilicata, Italy). *Terra Nostra* **1/94**, 70-75.
- Negendank, J. F. W., Vos, H., and Sánchez, A. (1994). Klimarhythmen in jahresgeschichteten organischen und klastischen Warven von Maarseen als hochzeitauflösende und sensitive Abfolgen zur Rekonstruktion und Prognostik von Klimavariabilitäten. *Wissenschaftlicher Zwischenbericht zum Projekt 07 VKVO1/1*, pp.7.
- Newton, A. J. & Dugmore, A. J. (1993). Tephrochronology of Core C from Lago Grande di Monticchio. In „Paleolimnology of European Maar Lakes.“ (J. F. W. Negendank, and B. Zolitschka, Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences* **49**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.333-348.
- Nicoletti, M. (1969). Datazione argon potassio di alcune vulcaniti delle Regioni vulcaniche Cimina e Vicana. *Periodico di Mineralogia* **1**, 1-20.
- Nielsen, C. H. & Sigurdsson, H. (1981). Quantitative methods for electron microprobe analysis of sodium in natural and synthetic glasses. *American Mineralogist* **66**, 547-552.
- Niessen, F., Lami, A. & Guilizzoni, P. (1993). Climatic and tectonic effect on sedimentation in central Italian volcano lakes (Latium) - implications from high resolution seismic profiles. In „Paleolimnology of European Maar Lakes.“ (J. F. W. Negendank & B. Zolitschka, Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences* **49**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.129-148.
- Ninkovich, D. & Hays, J. D. (1971). Tectonic setting of Mediterranean volcanoes. In „Acta Intern Congress of the volcano of Thera.“, Archeological Service of Greece, Athen, p.111-135.
- Ninkovich, D. & Hays, J. D. (1972). Mediterranean island arcs and origin of high potash volcanoes. *Earth and Planetary Science Letters* **16**, 331-345.
- Ninkovich, D. & Heezen, B. C. (1965). Santorini tephra: In „Proceedings of the Seventeenth Symposium of the Colston Research Society.“, Colston Research Papers 17 Butterworths Scientific Publications, London, p.413-452.

- Norin, E. (1958). The sediments of the central Tyrrhenian Sea. In „Reports of the Swedish Deep-Sea Expedition, 1947-1948.” (H. Pettersson, Ed.), Elanders Boktryckeri Aktiebolag, Göteborg, pp.136.
- Orsi, G. & Sheridan, M. F. (1984). The Green Tuff of Pantelleria: rheoignimbrite or rheomorphic fall? *Bulletin Volcanologique* **47**, 611-626.
- Orsi, G., de Vita, S. & Di Vito, M. (1996a). The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **74**, 179-214.
- Orsi, G., Gallo, G., Heiken, G., Wohletz, K., Yu, E. & Bonani, G. (1992). A comprehensive study of pumice formation and dispersal: the Cretatio Tephra of Ischia (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **53**, 329-354.
- Orsi, G., Piochi, M., Campajola, L., D'Onofrio, A., Gialanella, L. & Terrasi, F. (1996b). <sup>14</sup>C geochronological constraints for the volcanic history of the island of Ischia (Italy) over the last 5000 years. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **71**, 249-257.
- Pappalardo, L., Civetta, L., D' Antonio, M., Deino, A., Di Vito, M., Orsi, G., Carandente, A., de Vita, S., Isaia, R. & Piochi, M. (1999). Chemical and Sr-isotopical evolution of the Phlegrean magmatic system before the Campanian Ignimbrite and the Neapolitan Yellow Tuff eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **91**, 141-166.
- Paterne, M. & Guichard, F. (1993). Triggering of volcanic pulses in the Campanian area, South Italy, by periodic deep magma influx. *Journal of Geophysical Research* **98**, 1861-1873.
- Paterne, M., Guichard, F. & Labeyrie, J. (1988). Explosive activity of the South Italian volcanoes during the past 80,000 years as determined by marine tephrochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **34**, 153-172.
- Paterne, M., Guichard, F., Labeyrie, J., Gillot, P. Y. & Duplessy, J. C. (1986). Tyrrhenian Sea tephrochronology of the oxygen isotope record for the past 60,000 years. *Marine Geology* **72**, 259-285.
- Paterne, M., Labeyrie, J., Guichard, F., Mazaud, A. & Maitre, F. (1990). Fluctuations of the Campanian explosive volcanic activity (South Italy) during the past 190,000 years, as determined by marine tephrochronology. *Earth and Planetary Science Letters* **98**, 166-174.
- Paulick, H. & Franz, G. (1997): The color of pumice: case study on a trachytic fall deposit, Meidob volcanic field, Sudan.- *Bulletin of Volcanology* **59**, 171-185.
- Peccerillo, A. & Manetti, P. (1985). The potassium alkaline volcanism of central-southern Italy: a review of the data relevant to petrogenesis and geodynamic significance. *Trans. geol. Soc. S. Africa* **88**, 379-394.
- Peccerillo, A. (1985). Roman comagmatic province (central Italy): evidence for subduction-related magmas. *Geology* **13**, 103 -106.
- Perini, G. (1997). The magmatological evolution of Vico vulcano. *Plinius* **17**, 173-178.
- Pichler, H. (1970). „Italienische Vulkan-Gebiete I (Somma-Vesuv, Latium, Toscana).” Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart, pp.258.
- Pichler, H. (1981). „Italienische Vulkan-Gebiete III (Lipari, Vulcano, Stromboli, Tyrrhenisches Meer).” Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart, pp.270.
- Pichler, H. (1989). „Italienische Vulkangebiete V (Mte.Vulture, Äolische Inseln II, Mti. Iblei, Capo Pássero, Ústica, Pantelleria und Linosa).” Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart, pp.271.
- Poli, S., Chiesa, S., Gillot, P.-Y., Gregnanin, A. & Guichard, F. (1987). Chemistry versus time in the volcanic complex of Ischia (Gulf of Naples, Italy): evidence of successive magmatic cycles. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **95**, 322 -335.
- Radicati di Brozolo, F., Di Girolamo, P., Turi, B. & Oddone, M. (1988). <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar and K-Ar dating of K-rich rocks from the Roccamonfina Volcano, Roman Comagmatic Region, Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **52**, 1435-1441.
- Radicati di Brozolo, F., Huneke, J. C., Papanastassiou, D. A. & Wasserburg, G. J. (1981). <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar and Rb-Sr age determinations on Quaternary volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters* **53**, 445-456.

- Ramrath, A. (1997). „Laminierte Sedimente des Lago di Mezzano (Latium, Italien) - Limnogeologie und Rekonstruktion von Umweltbedingungen der letzten 34.000 Jahre.“, Dissertation, Universität Potsdam, pp.115.
- Ramrath, A., Zolitschka, B., Wulf, S. & Negendank, J. F. W. (1999). Late Pleistocene climatic variations as recorded in two Italian maar lakes (Lago di Mezzano, Lago Grande di Monticchio). *Quaternary Science Reviews* **18**, 977-992.
- Renne, P. R., Sharp, W.D., Deino, A.L., Orsi, G. & Civetta, L. (1997).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating into the historical realm: calibration against Pliny the Younger. *Science* **277**, 1279-1280.
- Rittmann, A. (1948). Origine e differenziazione del magma ischitano. *Schweizer mineralogische petrographische Mitteilungen* **28**, 643-698.
- Robinson, C., Shimmield, G. B. & Creer, K. M. (1993). Geochemistry of Lago Grande di Monticchio, S. Italy. In “Paleolimnology of European Maar Lakes.” (J. F. W. Negendank & B. Zolitschka, Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences* **49**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.317-332.
- Rolandi, G. & Mc Geehin, J. (1995). The eruptive history of Somma-Vesuvius. In „Trans. Am. Geophys. Union, Fall meeting.”, *EOS*, p.F672.
- Rolandi, G., Barrella, A. M. & Borrelli, A. (1993a). The 1631 eruption of Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **58**, 183-201.
- Rolandi, G., Petrosino, P. & McGeehin, J. (1998). The interplinian activity at Somma-Vesuvius in the last 3500 years. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **82**, 19-52.
- Romano, R. (1968). New petrochemical data of volcanites from the Island of Pantelleria (Channel of Sicily). *Geologische Rundschau* **57**, 773-783.
- Romano, R. (1982). Succession of the volcanic activity in the Etnean area. *Mem. Soc. Geol. Ital.* **23**, 27-48.
- Rosi, M. & Sbrana, A. (1987). „Phlegrean Fields.” Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Roma, **14** (9), pp.176.
- Rosi, M., Sbrana, A. & Vezzoli, L. (1988). Stratigrafia delle Isole di Prócida e Vivara. *Bollettino GNV* **4**, 500-525.
- Rosi, M., Sbrana, A. & Vezzoli, L. (1988a). Correlazione Tefrostratigrafiche di Alcuni Livelli di Ischia, Prócida e Campi Flegrei. *Mem. Soc. Geol. It.* **41**, 1015-1027.
- Rosi, M., Vezzoli, L., Castelmennano, A. & Grieco, G. (1999). Plinian pumice fall deposit of the Campanian Ignimbrite eruption (Phlegraean Fields, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **91**, 179-198.
- Ryan, W. B. F. (1972). Stratigraphy of Late Quaternary sediments in the Eastern Mediterranean. In „The Mediterranean Sea.” (D. J. Stanley, Ed.), Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, p.149-169.
- Ryan, W. B. F., Stanley, D. J., Hersey, J. B., Fahlquist, D. A. & Allan, T. D. (1970). The tectonics and geology of the Mediterranean Sea. In „The sea.” (A. E. Maxwell, Ed.), Wiley-Interscience, New York, p.387-492.
- Ryan, W. B. F., Workum, F. J. & Hersey, J. B. (1965). Sediments on the Tyrrhenian Abyssal Plain. *Geological Society of America. Bulletin* **76**, 1261-1282.
- Sachs, P. M. & Graf, H.-J. (1998). Die Rolle der Vulkane. In „Warnsignal Klima.” (J. L. Lozán, H. Graßl & P. Hupfer, Eds.), Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, p.38-41.
- Santacroce, R. (1983). A general model for the behaviour of the Somma-Vesuvius volcanic complex. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **17**, 237-248.
- Santacroce, R. (1987). “Somma-Vesuvius.” Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Roma, **14** (8), pp.252.
- Santi, P. (1990). New geochronological data of the Vulsini Volcanic District (Central Italy). In „Proceedings of SIMP Congress on Genesi e differenziazione del magmatismo potassico del bordo tirrenico.”, Ischia., Abstracts.

- Santo, A. P., Chen, Y., Clark, A. H., Farrar, E. & Tsegaye, A. (1995).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of the Filicudi island volcanics: implications for the volcanological history of the Aeolian Arc, Italy. *Acta Vulcanologica* **7**, 13-18.
- Scandone, R., Bellucci, F., Lirer, L. & Rolandi, G. (1991). The structure of the Campanian Plain and the activity of the Neapolitan volcanoes (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **48**, 1-31.
- Scarpati, C., Cole, P. & Perrotta, A. (1993). The Neapolitan Yellow Tuff - a large volume multiphase eruption from Campi Flegrei, Southern Italy. *Bulletin of Volcanology* **55**, 343-356.
- Scheld, A. (1995). „Tephralagen in "METEOR-Kernen" des Ionischen Meeres." Diplomarbeit, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., pp.84.
- Scherillo, A. (1965). Latino e vulcanologia: "Apud agrum Calenum flamma eruptata". *Atti Acc. Pontan.* **14**.
- Schmincke, H.-U. (1986): „Vulkanismus." Wissenschaftliche Buchgesellschaft, pp.164.
- Sengör, A. M. C. (1985). Die Alpiden und Kimmeriden: Die verdoppelte Geschichte der Tethis. *Geologische Rundschau* **74**, 181-213.
- Shackleton, N. J. (1987). Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews* **6**, 183-190.
- Sheridan, M. F. & Marshall, J. R. (1983). Interpretation of pyroclast surface features using SEM images. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **16**, 153-159.
- Signorelli, S., Vaggelli, G., Francalanci, L. & Rosi, M. (1999). Origin of magmas feeding the Plinian phase of the Campanian Ignimbrite eruption, Phlegrean Fields (Italy): constraints based on matrix-glass and glass-inclusion compositions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **91**, 199-220.
- Smith, D. & Westgate, J. A. (1969). Electron probe technique for characterizing pyroclastic deposits. *Earth and Planetary Science Letters* **5**, 313-319.
- Sollevanti, F. (1983). Geologic, volcanologic, and tectonic setting of the Vico-Cimino area, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **17**, 203-217.
- Sparks, R. S. J. & Huang, T. C. (1980). The volcanological significance of deep-sea ash layers associated with ignimbrites. *Geological Magazine* **117**, 425-436.
- Sparks, R. S., Bursik, M. I., Carey, S. N., Gilbert, J. S., Glaze, L. S., Sigurdsson, H. & Woods, A. W. (1997): „Volcanic plumes." John Wiley & Sons, Chichester, pp.574.
- Spera, F. J., De Vivo, B., Ayuso, R. A. & Belkin, H. E. (1998). „Vesuvius." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **82**, pp.247.
- Stuiver, M. & Reimer, P. J. (1993). Extended  $^{14}\text{C}$  data base and revised calib 3.0  $^{14}\text{C}$  age calibration program. *Radiocarbon* **35**, 215-230.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Burr, G., Hughen, K., Kromer, B., McCormick, J. & Spurk, M. (1998). The INTCAL 98 calibration curve. *Radiocarbon* **40**, 1041-1083.
- Tanguy, J. C. (1978). Tholeiitic basalt magmatism of Mount Etna and its relations with alkaline series. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **66**, 51-67.
- Tanguy, J. C. (1980). „L'Etna: étude pétrologique et paléomagnétique. Implications volcanologiques.", Dissertation, Univ. Paris VI, pp.617.
- Taylor, H. P., Giannetti, B. & Turi, B. (1979). Oxygen isotope geochemistry of the potassic igneous rocks from the Roccamonfina volcano, Roman comagmatic region, Italy. *Earth and Planetary Science Letters* **46**, 81-106.
- Taylor, R. E., Stuiver, M. & Reimer, P. J. (1996). Development and extension of the calibration of the radiocarbon time scale: archaeological applications. *Quaternary Science Reviews* **15**, 655-668.
- Tedesco, C. (1965). Main lines of the history of the Roccamonfina Volcano. *Bulletin of Volcanology* **28**, 119-139.
- Thompson, R. N. (1977). Primary basalts and magma genesis: III. Alban Hills, Roman Comagmatic Province, central Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **60**, 91-108.
- Thorarinsson, S. (1944): Tefrokronologiska studier pa Island.- *Geogr. Analer*, pp.215.

- Thorarinsson, S. (1967): „The eruption of Hekla 1947-1948, I. The eruptions of Hekla in historical times. A tephrochronological study.” Visindafelag Islendinga, Reykjavik, pp.183.
- Thunell, R., Williams, D., Tappa, E., Rio, D. & Raffi, I. (1979): The age, origin and volcanological significance of the Y-5 ash layer in the Mediterranean.- *Quaternary Research* **12**, 241-253.
- Trigila, R. (1995). „The volcano of the Alban Hills.” Tipografia S.G.S., Rom, pp.283.
- Trincardi, F., Cattaneo, A., Asioli, A., Correggiari, A. & Langone, L. (1996). Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the central Adriatic basin and the record of short-term climatic events. In „Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.” (P. Guilizzoni & F. Oldfield, Eds.), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* **55**, p.39-70.
- Tucker, M. E. (1985). „Einführung in die Sedimentpetrologie.” Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, pp.239.
- Turbeville, B. N. (1992).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages and stratigraphy of the Latera caldera, Italy. *Bulletin of Volcanology* **55**, 110-118.
- Turco, E. & Zuppetta, A. (1998). A kinematic model for the plio-Quaternary evolution of the Tyrrhenian-Apeninic system: implications for rifting processes and volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **82**, 1-18.
- Turi, B. & Taylor, H. P. (1976). Oxygen isotope studies of potassic volcanic rocks of the Roman Province, central Italy. *Contrib. Mineral. Petrol.* **55**, 1-31.
- Turton, I. (1993). Palaeomagnetic investigations of Lago Grande di Monticchio, southern Italy. In „Paleolimnology of European Maar lakes.” (J. F. W. Negendank & B. Zolitschka, Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences* **49**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.377-392.
- van den Bogaard, P. (1995).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of sanidine phenocrysts from Laacher See Tephra (12,900 yr BP): Chronostratigraphic and petrological significance. *Earth and Planetary Science Letters* **133**, 163-174.
- van Straaten, L. M. J. U. (1967). Turbidites, ash layers and shell beds in the bathyal zone of the southeastern Adriatic Sea. *Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique* **9**, 219-240.
- Vezzoli, L. (1988). „Island if Ischia.” Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Roma, **114 (10)**, pp.132.
- Vezzoli, L. (1991). Tephra layers in Bannock Basin (Eastern Mediterranean). *Marine Geology* **100**, 21-34.
- Vezzoli, L., Coltelli, M. & Del Carlo, P. (1998). Tephrochronology: from source area studies to stratigraphic and palaeoenvironmental perspectives, an example of Etna volcano (Italy). In „INQUA COT/UISPP 31 Inter-Congress Symposium.”, Brives-Charensac, Frankreich, p.25-27
- Villa, I. M. (1987). Datazioni  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  delle basi delle vulcaniti della Provincia Romana. *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* **42**, 315.
- Villa, I. M. (1993). Geochronology. In “Sabatini Volcanic Complex.” (M. di Filippo, Ed.), *Quad. Ric. Sci.* **114 (11)**, 33-79
- Vinci, A. (1985): Distribution and chemical composition of tephra layers from Eastern Mediterranean abyssal sediments.- *Marine Geology* **64**, 143-155.
- Vollmer, R. (1976). Rb-Sr and U-Th-Pb systematics of alkaline rocks: the alkaline rocks from Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **40**, 283-295.
- Vollmer, R. (1977). Isotopic evidence for genetic relations between acid and alkaline rocks in Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **60**, 109-118.
- Vollmer, R. (1989). On the origin of the Italian potassic magmas, 1. A discussion contribution. *Chemical Geology* **74**, 229-239.
- Vollmer, R. (1990). On the origin of the Italian potassic magmas - Reply. *Chemical Geology* **85**, 191-196.
- Vollmer, R. (1991). On the origin of the Italian potassic magmas: a one-dimensional diffusion-controlled model of source metasomatism. *Earth and Planetary Science Letters* **107**, 487-498.
- Vollmer, R., Johnston, K., Ghiara, M. R., Lirer, L. & Munno, R. (1981). Sr isotope geochemistry of megacrysts from continental rift and converging plate margin alkaline volcanism in South Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **11**, 317-327.

- Voltaggio, M., Andretta, D. & Taddeucci, A. (1994).  $^{230}\text{Th}$ - $^{238}\text{U}$  data in conflict with  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  leucite ages for Quaternary volcanic rocks of the Alban Hills, Italy. *European Journal of Mineralogy* **6**, 209-216.
- Vos, H., Sanchez, A., Zolitschka, B., Brauer, A. & Negendank, J. F. W. (1997). Solar activity variations recorded in varved sediments from the crater lake of Holzmaar - a maar lake in the Westeifel volcanic field, Germany. *Surveys in Geophysics* **18**, 163-182.
- Vos, H., Wulf, S. & Negendank, J. F. W. (1999). Lago Grande di Monticchio - time series analysis of tephra deposition. *Terra Nostra* **99/10**, 107-112.
- Wagner, G. A. (1995). „Altersbestimmungen von jungen Gesteinen und Artefakten - Physikalische Uhren in Quartärgeologie und Archäologie.“ Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, pp.277.
- Walker, G. P. L. (1971). Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology* **79**, 696-714.
- Walker, G. P. L. (1973): Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme.- *Geologische Rundschau* **62**, 431-446.
- Walker, G. P. L., Wilson, E. & Bowell, L. G. (1971): Explosive volcanic eruptions-I: the rate of fall of pyroclasts.- *Geophys. J. R. astr. Soc.* **22**, 377-383.
- Washington, H. S. (1906). The Roman Comagmatic Region. *Carnegie Institute Washington, Publications* **36**, pp.220.
- Watts, W. A. (1985). A long pollen record from Laghi di Monticchio, southern Italy: a preliminary account. *Journal of the Geological Society of London* **142**, 491-499.
- Watts, W. A., Allen, J. R. M. & Huntley, B. (1996a). Vegetation history and palaeoclimate of the last glacial period at Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews* **15**, 133-153.
- Watts, W. A., Allen, J. R. M., Huntley, B. & Fritz, S. C. (1996b). Vegetation history and climate of the last 15,000 years at Laghi di Monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews* **15**, 113-132.
- Westgate, J. A., Shane, P.A.R., Pearce, N.J.G., Perkins, W.T., Korisettar, R., Chesner, C.A., Williams, M.A.J. & Archaryya, S.K. (1998). All Toba Tephra occurrences across Peninsular India belong to the 75,000 yr B.P. eruption. *Quaternary Research* **50**, 107-112.
- Wilson, C. J. N. (1980): The role of fluidisation in the emplacement of pyroclastic flows: an experimental approach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **8**, 231-249.
- Wilson, L. & Huang, T. C. (1979): The influence of shape on the atmospheric settling velocity of volcanic ash particles. *Earth and Planetary Science Letters* **44**, 311-324.
- Wulf, S., Kuhn, T., Inthorn, M., Halbach, P. & Kuscü, I. (submitted.). Tephra from the Y-2 eruption of Santorini in sediments of the Sea of Marmara (Turkey). *Marine Geology*.
- Zielinski, G. A., Mayewski, L. D., Meeker, S., Whitlow, S., Twickler, M. S. & Taylor, K. (1996a). Potential atmospheric impact of the Toba mega-eruption ~71,000 years ago. *Geophysical Research Letters* **23**, 837-840.
- Zielinski, G. A., Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Whitlow, S. & Twickler, M. S. (1996b). A 110,000-yr record of explosive volcanism from the GISP2 (Greenland) ice core. *Quaternary Research* **43**, 109-118.
- Zolitschka, B. (1990). Jahreszeitlich geschichtete Seesedimente ausgewählter Eifelmaare. *Documenta naturae* **60**, 1-226.
- Zolitschka, B. (1996). “Paläoklimatische Bedeutung laminiertes Sedimente.” Habilitationsschrift, Universität Potsdam, pp.196.
- Zolitschka, B. & Negendank, J. F. W. (1993). Lago Grande di Monticchio (southern Italy): a high resolution sedimentary record of the last 70,000 years. In “Paleolimnology of European Maar lakes.” (J. F. W. Negendank & B. Zolitschka, Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences* **49**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p.277-288.
- Zolitschka, B. & Negendank, J. F. W. (1996). Sedimentology, dating and palaeoclimatic interpretation of a 76.3 ka record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews* **15**, 101-112.

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Schwerpunktprogrammes „International Continental Drilling Program / Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland“ (ICDP/KTB) gefördert (Projekt NE 154/33-1,-2,-3).

In erster Linie möchte ich Herrn Prof. Dr. Jörg F.W. Negendank, GeoForschungsZentrum / Universität Potsdam, danken, der mir dieses interessante und - im wahrsten Sinne des Wortes - vielseitige Dissertationsthema anvertraut und ein großes Interesse am Fortschritt dieser Arbeit gezeigt hat.

Herrn Prof. Dr. Hans-Wolfgang Hubberten, Alfred-Wegener-Institut Potsdam, sei für die Übernahme des Koreferates gedankt. Prof. Dr. Jörg Keller, Universität Freiburg, übernahm freundlicherweise das externe Gutachten. Ihm und Dr. Michael Kraml danke ich für die enge und hervorragende Zusammenarbeit, gerade in Bezug auf die Bereitstellung von z.T. unveröffentlichten Daten, ohne die ein Gelingen dieser Arbeit in Frage gestellt worden wäre. Für seine anhaltende Diskussions- und Motivationsbereitschaft sowie das bereitwillige Korrekturlesen dieser Arbeit sei Michael Kraml an dieser Stelle besonders herzlich gedankt.

Ein weiteres Dankeschön geht an Dr. Heinz Vos, Forschungszentrum Jülich, der freundlicherweise die spektralanalytischen Untersuchungen durchführte.

Meine britischen und neuseeländischen Kollegen, Dr. John Hunt, Dr. Brent Alloway, Dr. Tasha Black und Dr. David Lowe, gaben mir während der Anfangsphase meiner Arbeit wertvolle Tips bei der Einarbeitung in die Thematik der Tephrochronologie und in die Laborarbeit. Für die gute Zusammenarbeit sowie für die Bereitstellung von wichtigem Probenmaterial danke ich auch meinen italienischen Kollegen Prof. Dr. Guiseppe Cavarretta, Prof. Dr. Raffaello Cioni, Prof. Dr. Giovanni Orsi, Dr. Lucia Pappalardo, Dr. Monica Piochi, Dr. Massimo D'Antonio, Dr. Gianfilippo De Astis, Dr. Claudia Principe und Dr. Roberto Sulpizio.

Zusätzlich möchte ich folgenden GFZ-Mitarbeitern und Freunden herzlich danken:

- ✿ Meinen lieben Arbeitskollegen, insbesondere Uta Brathauer, Ute Frank, Claudia Migowski, Antje Ramrath, Christoph Breitzkreuz, Achim Brauer, Jens Mingram, Norbert Nowaczyk, Thomas Kulbe und Bernd Zolitschka, für die nette und motivierende Arbeitsatmosphäre, für ihr freundschaftliches Interesse und die hilfreichen Diskussionen.
- ✿ Den beiden Bohrteams, ohne deren Einsatz keine Bearbeitung der Tephren möglich gewesen wäre.
- ✿ Michael Köhler, Gabi Arnold, Dieter Berger und Klaus Reinhold für die unermüdliche Herstellung der scheinbar niemals enden wollenden Mikrosondendünnschliffe.
- ✿ Oona Appelt, Ursula Glenz, Dr. Dieter Rhede und Dr. Wolfgang Seifert für die meßtechnische Einführung und Unterstützung an der Mikrosonde.
- ✿ Manuela Dziggel und Andreas Hendrich für die Hilfe bei der Anfertigung von Graphiken sowie Manfred Prena für die hingebungsvolle Betreuung in Sachen Computer.
- ✿ Andrea di Muro für seine herzliche Gastfreundschaft während meiner unzähligen Aufenthalte im geliebten „Bella Italia“.
- ✿ Meinen Eltern für das bereitwillige und unvoreingenommene Korrekturlesen dieser Arbeit sowie meiner Schwester Susanne für die moralische Unterstützung insbesondere in der Endphase der Doktorarbeit.



## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

### Anhang A

LGM	: Lago Grande di Monticchio
PL	: Pyroklastische Lage (nach Zolitschka & Negendank, 1993)
MT	: Marker-Tephra (nach Zolitschka & Negendank, 1993)
L	: Layer (nach Narcisi, 1996)

### Anhang B

G	: Gläser	R	: Rhyolith
K	: Kristalle	TP	: Tephriphonolith
L	: Lithoklasten	Tr	: Trachyt
Kf	: Kalifeldspat (Sanidin)	TrA	: Trachyandesit
Plg	: Plagioklas	TrD	: Trachydazit
Lc	: Leuzit	AB	: Albaner Berge
Ne	: Nephelin	ÄO	: Äolische Inseln
So	: Sodalith	CF	: Phlegräische Felder
Cpx	: Klinopyroxen	IS	: Ischia
Opx	: Orthopyroxen	PA	: Pantelleria
Ac	: Akmit	PR	: Prócida-Vivara
Bi	: Biotit	RO	: Roccamonfina
Hbl	: Hornblende	SA	: Sabatiner Berge
Ap	: Apatit	SV	: Somma-Vesuv
Sc	: Skapolith	AMS	: Agnano Monte Spina
Gr	: Granat (Melanit)	AP	: Interplinianische Ereignisse zwischen Avellino-Pompeji
V	: Vulkanite	Me	: Mittelalterliche Eruptionen
K	: Karbonate	NYT	: Gelber Napolitanischer Tuff
S	: klastische Sedimente	TLc	: Trefola, Einheit c
NG	: normal gradiert	TLf	: Trefola, Einheit f
IG	: invers gradiert	TLo	: Trefola, Einheit o
A	: Andesit	TLs	: Trefola, Einheit s
BA	: Basaltischer Andesit	TVEss	: Tufo Verde Epomeo <i>sensu strictu</i>
BTrA	: Basaltischer Trachyandesit	UMSA	: Unitá di Monte San Angelo
F	: Foidit	VRa	: Verdolino, Einheit a
P	: Phonolith	YTT	: Gelber Trachytischer Tuff
PT	: Phonotephrit		

### Anhang C

SD	: Standardabweichung $\sigma$ (Berechnung siehe Kapitel 3.3.4)
n	: Anzahl der Gläser
SDM	: Mikrosonden-Strahldurchmesser in $\mu\text{m}$

### Anhang E

$d_{\text{max}}$	: maximaler Korndurchmesser (2D)
$d_{\text{max korr.}}$	: korrigierter maximaler Korndurchmesser (3D)
$\phi_{\text{max}}$	: korrigierter maximaler Korndurchmesser ( $\log_2$ )
$d_{\text{median}}$	: mittlerer Korndurchmesser (2D)
$d_{\text{median korr.}}$	: korrigierter mittlerer Korndurchmesser (3D)
$\text{Md}\phi$	: korrigierter mittlerer Korndurchmesser ( $\log_2$ )

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Mittl. Tiefe (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Mittl. Tiefe (cm)	Bezeichnung
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E	LGM-L	LGM-L	LGM-L	LGM-J	LGM-J	LGM-J	
1	88	9.00	6.09	<b>1.1</b>	E1-o, 5-6	<b>L1-7-1</b>	L1-u, 54-55	140.5				PL-1
2	818	0.40	49.97	<b>3.1</b>	E1-o, 50							
3	1072	0.25	75.81	<b>4.1</b>	E1-o, 75	<b>L2-1-3</b>	L2-o, 25	203.0				
4	1416	3.00	110.43	<b>5.2</b>	E1-u, 13	<b>L2-2-3</b>	L2-o, 51	229.0				
5	1441	35.00	115.34	<b>5.2 - 5.3</b>	E1-u, 15-17.5	<b>L2-3-1</b>	L2-o, 51.5-55	231.3				PL-2
6	3042	0.10	246.69	<b>12.1</b>	D1-o, 82							
7	3939	1.00	304.60	<b>14.2</b>	D1-u, 40.5	<b>L2-6-1</b>	L2-u, 28.5	304.5				
8	3971	0.35	306.34	<b>14.3</b>	D1-u, 41.5							
9	3981-3994	22.00	309.90	<b>14.3</b>	D1-u, 43-45	<b>L2-6-2</b>	L2-u, 32-33	308.5				PL-3 / L1
10	4018	24.00	313.93	<b>14.3-15.1</b>	D1-u, 47-49	<b>L2-6-2</b>	L2-u, 34.5-37	311.8				MT-1 / PL-4 / L2
11	4142	0.30	324.54	<b>15.2</b>	D1-u, 58.7							
12	4143	0.20	324.61	<b>15.2</b>	D1-u, 58.8							
13	4146	14.00	326.30	<b>15.2</b>	D1-u, 60.5-62	<b>L2-6-3</b>	L2-u, 44-45.5	320.8				PL-5 / L3
14	4153	17.00	328.26	<b>15.2</b>	D1-u, 62-63.7	<b>L2-6-3</b>	L2-u, 46-47	322.5				PL-6
15	4313	6.00	345.63	<b>16.1</b>	D1-u, 81.5-82.1	<b>L2-7-2</b>	L2-u, 65	341.0				PL-7
16	4614	1.00	368.68	<b>18.1</b>	B2-u, 52.6							
17	4619	11.00	370.18	<b>18.1</b>	B2-u, 53-54.1	<b>L3-3-2</b>	L3-o, 58.5-59.5	437.0				PL-8
18	4663	3.00	373.71	<b>18.2</b>	B2-u, 58	<b>L3-3-2</b>	L3-o, 63	441.0				
19	5393	0.75	421.32	<b>21.1</b>	D2-o, 52							
20	5502	0.10	427.22	<b>21.2</b>	D2-o, 58							
21	5635	0.70	437.50	<b>21.3</b>	D2-o, 70							
22	5675	0.50	441.34	<b>22.1</b>	D2-o, 73							
23	6581	1.00	500.73	<b>24.2</b>	D2-u, 37.5	<b>L3-7-2</b>	L3-u, 38	515.0				
24	6588	1.00	501.22	<b>24.2</b>	D2-u, 38	<b>L3-7-2</b>	L3-u, 39	516.0				
25	6592	0.50	501.42	<b>24.2</b>	D2-u, 38.2	<b>L3-7-2</b>	L3-u, 39.5	516.5				
26	7151	1.00	536.27	<b>26.1</b>	D2-u, 73.5							
27	9258	2.00	632.76	<b>31.1</b>	D3-o, 55							
28	9317	0.30	636.98	<b>31.1</b>	D3-o, 59.3							
29	9503	3.00	647.59	<b>31.3</b>	D3-o, 69.5	<b>L4-2-3</b>	L4-o, 48-48.5	626.3				
30	9590	2.00	653.08	<b>31.3</b>	D3-o, 70.1	<b>L4-2-3/-3-1</b>	L4-o, 51	629.0				
31	9620	1.00	654.95	<b>32.1</b>	D3-o, 77	<b>L4-3-1</b>	L4-o, 52	630.0				
32	9678	106.00	668.49	<b>32.1-2</b>	D3-o, 80.4-91	<b>L4-3-1/-2</b>	L4-o, 54-60	635.0				MT-2 / PL-9 / L4
33	9894	1.00	676.94	<b>32.3</b>	D3-o, 100	<b>L4-4-1</b>	L4-o, 79	657.0				
34	9958	3.00	679.39	<b>32.3</b>	D3-o, 101.8	<b>L4-4-1</b>	L4-o, 80.5	658.5				
35	11187	0.10	734.54	<b>35.2</b>	D3-u, 56.6							
36	11207	0.10	735.44	<b>35.2</b>	D3-u, 57.5	<b>L4-7-2</b>	L4-u, 35.5	713.5				
37	11501	0.40	746.57	<b>36.1</b>	D3-u, 68 (B4-u, 25)	<b>L4-8-1</b>	L4-u, 49	727.0				
38	11516	0.50	746.98	<b>36.1</b>	D3-u, 68.5 (B4-u, 25.5)	<b>L4-8-1</b>	L4-u, 50	728.0				
39	11522	0.40	747.26	<b>36.1</b>	D3-u, 69 (B4-u, 26)	<b>L4-8-1</b>	L4-u, 50.5	728.5				
40	11668	17.00	755.27	<b>36.2</b>	B4-u, 32.3-34	<b>L4-8-2</b>	L4-u, 60-61.7	738.9				PL-10
41	11888	1.00	769.26	<b>36.3</b>	B4-u, 48	<b>L4-8-3</b>	L4-u, 67.5	745.5				
42	11983	3.00	772.94	<b>37.1</b>	B4-u, 53	<b>L4-8-3</b>	L4-u, 72.5	750.5				
43	12072	1.00	776.32	<b>37.2</b>	B4-u, 55.3	<b>L4-8-3</b>	L4-u, 73.3	751.3				
44	12073	2.00	776.54	<b>37.2</b>	B4-u, 55.6	<b>L4-8-3</b>	L4-u, 74	752.0				
45	12074	2.00	776.77	<b>37.2</b>	B4-u, 55.8	<b>L4-8-3</b>	L4-u, 74.5	752.5				
46	12169	6.00	777.54	<b>37.2</b>	B4-u, 62-62.6							
47	12181	47.00	789.04	<b>37.3-38.1</b>	B4-u, 63.3-68	<b>L4-9-1</b>	L4-u, 76-81	756.5				MT-3 / PL-11 / L5
48	12184	2.00	789.35	<b>37.3</b>	B4-u, 68.5							

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter in Jahren B.P.	Mächtigkeit in mm	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Mittl. Tiefe (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Mittl. Tiefe (cm)	Bezeichnung
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E							
49	12591	0.20	811.24	40.1	D4-o, 36							
50	12592	0.10	811.29	40.1	D4-o, 36.1							
51	12643	0.30	813.32	40.2	D4-o, 38							
52	12765	0.10	817.81	40.2	D4-o, 42.7							
53	12905	0.30	822.65	40.3	D4-o, 47.5							
54	13172	1.00	831.90			L5-1-2	L5-o, 13.5	791.5				
55	14106	4.00	862.70	42.2	D4-o, 88-88.4	L5-2-2	L5-o, 35.3-35.7	813.5				
56	14113	11.00	863.80	42.2	D4-o, 88.4-89.5	L5-2-2	L5-o, 35.8-36.8	814.3				
57	14115	7.00	864.53	42.2	D4-o, 89.5-90.2	L5-2-2	L5-o, 36.9-37.5	815.2				PL-12 / L6
58	14458	2.00	878.47	43.1	D4-u, 3.5							
59	14501	0.20	879.96	43.1	D4-u, 5							
60	14557	18.00	883.38	43.1	D4-u, 6.8-8.4	L5-2-3	L5-o, 46-47.5	824.8				PL-13 / L7
61	14732	16.00	889.66	43.2	D4-u, 15.7-17.3	L5-3-1	L5-o, 53-54.5	831.8				PL-14
62	15028	4.00	901.63	44.2	D4-u, 27	L5-3-3	L5-o, 68	846.0				
63	15215	7.00	907.72	44.2	D4-u, 32.5-33.2	L5-4-1	L5-o, 77	855.0				PL-15
64	15243	0.20	909.55	44.3	D4-u, 35	L5-4-2	L5-o, 82.5	860.5				
65	15296	1.00	913.02	44.3	D4-u, 38.5	L5-4-2	L5-o, 85.5-85.9	863.7				
66	15551	4.00	920.87	45.2	D4-u, 46.5	L5-5-1	L5-u, -4.5	871.5				
67	15822	12.00	929.81	45.3	D4-u, 54-55.2	L5-5-1	L5-u, 1-2.5	878.8				PL-16
68	16135	0.30	948.29	46.2	D4-u, 74							
69	16444	0.50	956.95	46.3	D4-u, 82.2	L5-6-3	L5-u, 37	914.0				
70	17560	55.00	1015.50	48.2	D5-o, 37-42.5	L5-7-3	L5-u, 60.5-66.5	940.5				MT-4 / PL-17 / L8
71	17976	1.40	1031.60	49.2	D5-o, 59.5	L5-8-3	L5-u, 89	966.0				PL-18
72	18496	0.30	1054.60	50.1	D5-o, 83.8							
73	18538	0.20	1055.48	50.1	D5-o, 84.6							
74	19091	0.30	1085.41	51.2	D5-u, 13.7							
75	19282	182.00	1117.10	52.1-53.1	D5-u, 28-46	L6-1-3 /-2-2	L6-o, 19-36	1005.5	J3-1-3 - J3-2-3	J3-o, 60-75	453.5	MT-5 / PL-19 / L9
76	20149	2.00	1176.59	56.1	B6-u, 76.5	L6-4-1	L6-o, 85	1063.0	J3-4-1	J3-u, 5.3	491.3	PL-20
77	20229	1.00	1182.38	56.1	B6-u, 82.8	L6-4-2 /-3	L6-o, 90.7	1068.7	J3-4-1	J3-u, 9.3	495.3	
78	20269	2.00	1185.42	56.2	B6-u, 86	L6-4-2 /-3	L6-o, 96	1074.0	J3-4-2	J3-u, 12.5	498.5	
79	20678	2.00	1215.27	58.1	D6-o, 50.3	L6-5-3	L6-u, 24	1101.0	J3-5-2	J3-u, 33	519.0	
80	22621	2.00	1335.81	63.1	D6-u, 78.2	L7-3-1	L7-o, 54	1131.0	J4-3-2	J4-o, 61.5	647.5	
81	23930	286.00	1471.87	68.3-69.3	D7-o/u, 86-18	L7-8-1/-8-3	L7-u, 42-70	1133.0	J4-7-2 - J4-8-3	J4-u, 59-91.5	760.3	MT-6 / PL-21 / L10
82	25926	9.00	1633.74	76.2	B9-o, 34-34.9				J5-7-3	J5-u, 65.7-66.5	950.1	PL-22
83	25985	7.00	1637.96	76.2	B9-o, 38.5-39.2				J5-7-3	J5-u, 70-70.8	954.4	PL-23
84	26132	16.00	1650.50	77.1	D8-u, 2-3.6	L8-6-3	L8-u, 46-47	1519.5	J5-8-1/2	J5-u, 80.5-81.5	965.0	PL-24
85	26537	21.00	1683.02	78.2	D8-u, 35-37.1	L8-8-1	L8-u, 79-81.7	1553.4	J6-2-1	J6-o, 24-27	1011.5	PL-25
86	26788	68.00	1710.38	79.2	D8-u, 58.4-65				J6-3-1/-3-2	J6-o, 54-61.5	1043.8	MT-7 / PL-26 / L11
87	27706	5.00	1784.81	83.2	D9-o, 36.5							PL-27
88	29693	9.00	1917.63	89.1	B10-u, 25-25.9							PL-28
89	29870	12.00	1948.45	90.1	B10-u, 51.3-52.5							PL-29
90	29902	9.00	1962.98	91.2	D10-o, 9.5-10.4							PL-30
91	30534	97.00	2270.43	105.2-105.3	D11-u, 14.3-24				J9-4-2 - J9-4-3			PL-31
92	30671	0.20	2276.63	106.1	D11-u, 30.4				J9-5-1	J9-u, 1	1659.0	
93	30865	1.00	2288.05	106.2/3	D11-u, 41.5				J9-5-1	J9-u, 7	1665.0	
94	30922	4.00	2292.52	106.3	D11-u, 45.5-45.9				J9-5-2	J9-u, 17.5	1675.5	
95	30950	5.00	2294.97	107.1	D11-u, 47.7-48.2				J9-5-3	J9-u, 19	1677.0	PL-32
96	31393	27.00	2331.09	108.2	D11-u, 82.3-85				J9-7-1	J9-u, 51-54	1710.5	PL-33

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter in Jahren B.P.	Mächtigkeit in mm	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Schliff-Nr.	Kerntiefe (cm)	Mittl. Tiefe (cm)	Bezeichnung	
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E	LGM-L	LGM-L	LGM-L	LGM-J	LGM-J	LGM-J		
97	32970	257.00	2495.22	<b>115.3-116.2</b>	D12-u, 23-41.1	<b>L10-8-1/2</b>	L10-u, 75-88	1958.0	<b>J10-7-1/-7-3</b>	J10-u, 55.5-72	1947.8	MT-8 / PL-35 / L12	
98	33040	56.00	2505.73	<b>116.3-117.1</b>	D12-u, 46-51.6				<b>J10-8-1/2</b>	J10-u, 79.5-85	1966.3		PL-36
99	33140	5.00	2513.38	<b>117.2</b>	D12-u, 59-59.5				<b>J10-8-3</b>	J10-u, 93-93.5	1977.3		PL-37
100	33256	4.00	2522.12	<b>117.3</b>	D12-u, 69				<b>J11-1-2</b>	J11-o, 39.5	1995.5		
101	33560	13.00	2551.18	<b>119.3</b>	B13-u, 71.7-73				<b>J11-3-1</b>	J11-o, 76-78	2033.0	PL-38	
102	33783	1.00	2569.30			<b>J11-3-2</b>	J11-o, 88.5	2044.5					
103	34006	4.00	2587.43			<b>J11-4-1</b>	J11-u, 3	2057.0					
104	34140	1.00	2598.32			<b>J11-4-2</b>	J11-u, 10.5	2064.5					
105	34676	3.00	2641.88	<b>124.2</b>	D13-o, 85.7				<b>J11-5-2</b>	J11-u, 40.5	2094.5	PL-39	
106	34800	15.00	2652.28	<b>124.3</b>	D13-o, 94.5-96				<b>J11-6-1</b>	J11-u, 52-53.5	2106.8		
107	35030	7.00	2673.59	<b>125.3</b>	D13-u, 19.5-20.2				<b>J11-7-1</b>	J11-u, 79.3-80.4	2133.9		PL-40
108	35055	4.00	2675.75	<b>125.3</b>	D13-u, 22.2				<b>J11-7-1</b>	J11-u, 81.2	2135.2		
109	35075	3.00	2677.41	<b>125.3</b>	D13-u, 24				<b>J11-7-3</b>	J11-u, 90.5	2144.5		
110	36367	1.00	2884.29	<b>137.1</b>	D14-u, 32.6								
111	36754	3.00	2912.62	<b>138.2</b>	D14-u, 61.5							PL-43 / L13	
112	36765	2.00	2913.60	<b>138.2</b>	D14-u, 62.7								
113	37620	1.50	2984.81	<b>142.3</b>	B15-u, 74				<b>J13-4-3</b>	J13-u, 23	2305.5		
114	37669	0.90	2988.44	<b>144.1</b>	D15-o, 28.2				<b>J13-5-1</b>	J13-u, 25.5	2308.0		
115	37703	0.50	2989.66	<b>144.1</b>	D15-o, 29.4				<b>J13-5-1</b>	J13-u, 26.7	2309.2		
116	37718	1.00	2990.25	<b>144.1</b>	D15-o, 29.9				<b>J13-5-1</b>	J13-u, 27.4	2309.9		
117	37891	13.00	2997.87	<b>144.2</b>	D15-o, 36.4-37.7				<b>J13-5-2</b>	J13-u, 34-35.5	2317.3		
118	38131	0.20	3006.43	<b>144.3</b>	D15-o, 46.6				<b>J13-5-3</b>	J13-u, 45.5	2328.0		
119	39478	2.00	3053.63	<b>146.3</b>	D15-o, 95.4				<b>J13-7-3</b>	J13-u, 93	2375.5		
120	41451	0.30	3126.00	<b>149.3</b>	D15-u, 72								
121	42031	1.30	3172.34	<b>152.3</b>	B16-u, 54				<b>J14-4-3</b>	J14-u, 19.5	2464.5		PL-44
122	42067	1.80	3173.76	<b>152.3</b>	B16-u, 55.3				<b>J14-4-3</b>	J14-u, 23	2468.0		
123	42656	5.00	3196.41						<b>J14-5-3</b>	J14-u, 42.5-43	2487.8		
124	43509	2.00	3230.62	<b>155.2</b>	D16-o, 59.5								
125	44310	1.50	3259.33	<b>156.2</b>	D16-o, 88								
126	45606	16.00	3309.83	<b>158.3</b>	D16-u, 42-43.6				<b>J15-3-1</b>	J15-u, 3-4.5	2590.8		
127	45828	3.50	3322.74	<b>159.1</b>	D16-u, 56				<b>J15-3-2</b>	J15-u, 15-15.5	2602.3		
128	46457	1.00	3345.40	<b>160.1</b>	D16-u, 79.5				<b>J15-4-2</b>	J15-u, 38	2625.0		
129	46512	0.20	3347.35	<b>161.1</b>	B17-u, 32				<b>J15-5-2</b>	J15-u, 58	2645.0		
130	46559	0.30	3349.03	<b>161.1</b>	B17-u, 33.7				<b>J15-5-2</b>	J15-u, 59	2646.0		
131	48145	1.30	3407.64	<b>163.2</b>	D17-o, 33.8				<b>J15-6-2/3</b>	J15-u, 90	2677.0	MT-9 / PL-45 / L14	
132	49726	3.00	3464.34	<b>165.3</b>	D17-u, 45.5				<b>J16-2-2</b>	J16-o, 41	2727.0		
133	49777	1.00	3466.21	<b>165.3</b>	D17-u, 48.4				<b>J16-2-3</b>	J16-o, 42.5	2728.5		
134	50926	1.00	3517.25	<b>168.1</b>	B18-u, 8								
135	51811	5.00	3551.76	<b>169.2</b>	B18-u, 38				<b>J16-5-3</b>	J16-u, 21-21.5	2807.3		
136	53486	4.00	3627.39	<b>174.2</b>	B19, 14.5								
137	55000	2.00	3730.27	<b>179.2</b>	B20, 15.5				<b>J17-5-3</b>	J17-u, 44.5	2991.5		
138	56252	332.00	3863.77	<b>184.3-186.1</b>	D21, 56.3-89.5				<b>J18-4-1/-5-1</b>	J18-u, 0.5-30	3105.3		
139	56432	3.50	3876.93	<b>186.3</b>	B21, 66.5				<b>J18-5-3</b>	J18-u, 47	3137.0		
140	57568	6.00	3953.69	<b>191.1</b>	D23-o, 74.7-75.3				<b>J19-2-2</b>	J19-o, 85.4-86	3212.7		
141	60244	1.50	4102.65	<b>196.3</b>	D24-o, 85.5				<b>J20-2-1</b>	J20-u, -1.2	3345.2	PL-47	
142	60333	8.00	4106.83	<b>196.3</b>	D24-o, 89.7-90.5				<b>J20-2-1</b>	J20-u, 3.3-4.4	3347.9		
143	60667	3.00	4143.27	<b>198.1</b>	D24-u, 32.5				<b>J20-4-1</b>	J20-u, 45.4	3389.4		
144	64816	6.00	4377.76	<b>207.3</b>	D25-u, 66.4-67				<b>J23-1-3</b>	J23-u, 18.5	3678.5		

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter in Jahren B.P.	Mächtigkeit in mm	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr. Kerntiefe (cm)		Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Bezeichnung
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E	LGM-L	LGM-L	LGM-L	LGM-J	LGM-J	LGM-J	
145	65660	3.00	4418.50	209.1	D26-o, 1.3				J23-3-3	J23-u, 64	3724.0	
146	65714	1.00	4419.97	209.1	D26-o, 2.5				J23-3-3	J23-u, 66.5	3726.5	
147	65782	0.20	4423.79	209.1	D26-o, 4							
148	66564	8.00	4467.68	211.1	D26-o, 52.4-53.2				J24-2-1	J24-u, 28	3777.0	PL-51
149	68304	2.50	4599.17	216.2	D26-u, 87.5				J26-1-3	J26-o, 22	3919.0	
150	69139	20.00	4637.69	218.1	D27, 25.5-27.5				J26-3-2	J26-o, 64-66	3962.0	PL-55
151	71548	20.00	4767.96	223.1	D28, 54.5-56.5				J26-8-2	J26-u, 82.5-84.5	4080.0	PL-59
152	72664	1.00	4868.77	227.1	D29-o, 56.3				J27-1-1	J27-o, 27	4104.0	
153	73434	0.30	4916.63	229.1	D29-u, 27							
154	73505	0.40	4921.03	229.1	D29-u, 32				J27-3-2	J27-o, 84.5	4161.5	
155	73749	1.00	4930.58	229.2	D29-u, 41				J27-4-1	J27-o, 94.6	4171.6	
156	74538	1.50	5003.99	231.3	D30-o, 22				J28-2-1	J28-u, 2.5	4291.5	
157	75611	20.00	5062.35	234.1	D30-u, 54.5-56.5				J28-4-3	J28-u, 66-68	4356.0	PL-60
158	75711	0.30	5087.08						J29-1-1	J29-o, 23.5	4381.5	
159	77175	2.00	5202.50						J29-6-2	J29-u, 41.5	4497.5	
160	77182	7.50	5203.31						J29-6-2	J29-u, 41.8-42.5	4498.2	PL-61
161	77624	0.50	5223.75						J29-7-2	J29-u, 63	4519.0	
162	78146	6.00	5311.54						J30-2-3	J30-o, 68.7-69.3	4605.0	
163	78823	0.60	5411.23						J30-6-3	J30-u, 71	4704.0	
164	78853	0.10	5412.07						J30-6-3	J30-u, 71.5	4704.5	
165	79607	0.10	5444.98						J31-1-1	J31-o, 33.2	4739.2	
166	79618	1.00	5445.22						J31-1-1	J31-o, 33.5	4739.5	
167	79817	0.10	5449.21						J31-1-2	J31-o, 39.5	4745.5	
168	80286	0.20	5460.98						J31-1-3	J31-o, 50	4756.0	
169	81887	0.20	5527.02						J31-4-3	J31-u, 17.3	4818.8	
170	81907	4.00	5529.60						J31-4-3	J31-u, 20.5	4822.0	
171	81950	1.50	5531.06						J31-4-3	J31-u, 22	4823.5	
172	81965	0.20	5531.23						J31-4-3	J31-u, 22.3	4823.8	
173	82006	0.30	5531.77						J31-4-3	J31-u, 23	4824.5	
174	82131	5.00	5533.84						J31-5-1	J31-u, 24.8-25.3	4826.7	
175	82257	8.50	5540.44						J31-5-1	J31-u, 31.2-32	4833.1	PL-62
176	82384	2.40	5544.89						J31-5-2	J31-u, 36.7	4838.2	
177	82484	7.00	5546.59						J31-5-2	J31-u, 37.2-37.9	4839.1	
178	82842	1.90	5556.48						J31-5-3	J31-u, 49.3	4850.8	
179	83059	9.00	5562.13						J31-6-1	J31-u, 54.2-55.1	4856.2	
180	83060	8.00	5563.03						J31-6-1	J31-u, 55.2-56	4857.1	PL-63
181	83107	1.50	5563.77						J31-6-1	J31-u, 56.7	4858.2	
182	83184	0.10	5564.72						J31-6-1	J31-u, 57.5	4859.0	
183	83278	5.80	5567.38						J31-6-2	J31-u, 59.5-60.1	4861.3	
184	83689	0.75	5572.80						J31-6-3	J31-u, 66	4867.5	
185	85323	1.00	5824.25						J33-2-2	J33-u, 16.7	5117.7	
186	85445	3.00	5890.60						J33-5-1	J33-u, 83.8	5184.8	
187	85485	2.00	5905.75						J33-5-3	J33-u, 99.1	5200.1	
188	85568	1.00	5928.33						J34-2-1	J34-o, 76	5221.0	
189	85602	1.00	5935.37						J34-2-1	J34-o, 84.5	5229.5	
190	85676	2.00	5965.95						J34-3-2	J34-u, 17	5264.0	
191	85683	1.00	5967.35						J34-3-2	J34-u, 18.5	5265.5	
192	87267	30.00	6343.95						J37-3-2	J37-u, 14-17	5636.5	PL-64

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter in Jahren B.P.	Mächtigkeit in mm	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr. Kerntiefe (cm)		Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Bezeichnung	
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E	LGM-L	LGM-L	LGM-L	LGM-J	LGM-J	LGM-J		
193	87528	0.20	6347.20						J37-3-3	J37-u, 20.3	5641.3	PL-65	
194	87567	0.10	6347.69						J37-3-3	J37-u, 20.8	5641.8		
195	89127	0.20	6404.09						J37-6-1	J37-u, 76.5	5697.5		
196	89139	2.00	6404.92						J37-6-1	J37-u, 77.3	5698.3		
197	89144	6.50	6405.65						J37-6-1	J37-u, 77.6-78.2	5698.9		
198	89146	22.00	6409.25						J37-6-1	J37-u, 79.6- 81.8	5701.7		
199	89231	1.00	6411.15						J37-6-2	J37-u, 84	5705.0		
200	89509	2.30	6423.75						J37-6-3	J37-u, 96.1	5717.1		
201	89566	0.60	6438.71						J38-1-2	J38-o, 86.5	5733.5		
202	89569	0.10	6438.75						J38-1-2	J38-o, 86.7	5733.7		
203	89621	1.50	6439.65						J38-1-2	J38-o, 87.5	5734.5		
204	89793	0.50	6444.10						J38-1-3	J38-o, 91.7	5738.7		
205	89794	0.20	6444.13						J38-1-3	J38-o, 91.7	5738.7		
206	89795	0.10	6444.20						J38-1-3	J38-o, 91.7	5738.7		
207	89804	4.50	6445.00						J38-1-3	J38-o, 92.2-92.6	5739.4		
208	89814	2.50	6457.61						J38-2-1	J38-u, 6.1	5753.1		
209	89815	2.50	6458.16						J38-2-1	J38-u, 6.7	5753.7		
210	89816	3.50	6458.81						J38-2-1	J38-u, 7.4	5754.4		
211	89818	2.00	6459.11						J38-2-1	J38-u, 7.8	5754.8	PL-66	
212	89819	1.50	6459.28						J38-2-1	J38-u, 8	5755.0		
213	89834	4.00	6463.38						J38-2-2	J38-u, 11.3-11.7	5758.5		
214	89836	6.50	6464.53						J38-2-2	J38-u, 12.2-12.8	5759.5		
215	89838	2.00	6465.23						J38-2-2	J38-u, 13	5760.0		
216	89841	10.50	6466.28						J38-2-2	J38-u, 13.7-14.7	5760.2		
217	89851	1.30	6466.53						J38-2-2	J38-u, 14.9	5761.9		
218	89877	0.80	6466.88						J38-2-2	J38-u, 15.2	5762.2		
219	89971	0.10	6468.76						J38-2-3	J38-u, 16.7	5763.7		
220	90194	2.50	6472.48						J38-2-3	J38-u, 20.5	5767.5		
221	91363	5.00	6504.60						J38-4-1	J38-u, 52.6-53.1	5799.9		
222	91366	3.50	6505.72						J38-4-1	J38-u, 53.7	5800.7		
223	91367	2.00	6505.97						J38-4-1	J38-u, 53.9	5800.9		
224	91368	0.70	6506.10						J38-4-1	J38-u, 54	5801.0		
225	91369	7.00	6507.02						J38-4-1	J38-u, 54.2-54.9	5801.6		
226	91374	4.00	6508.31						J38-4-1	J38-u, 56.4	5803.4		
227	91376	4.00	6508.72						J38-4-1	J38-u, 56.8	5803.8		
228	91378	5.50	6510.00						J38-4-1	J38-u, 57.6-58.1	5804.9		
229	91795	0.10	6519.86						J38-4-2	J38-u, 67.3	5814.3		
230	91820	0.10	6520.06						J38-4-3	J38-u, 68	5815.0		
231	91836	0.20	6520.39						J38-4-3	J38-u, 68.4	5815.4		
232	91995	0.20	6523.64						J38-4-3	J38-u, 71.7	5818.7		
233	92040	0.20	6523.66						J38-4-3	J38-u, 72.5	5819.5		
234	92361	0.70	6564.30						J39-1-2	J39-o, 89.2	5859.2		
235	93207	0.40	6583.01						J39-2-1	J39-u, 9	5879.0		
236	93674	4.60	6601.90						J39-2-3	J39-u, 22.7-23.2	5893.0		
237	93991	0.10	6603.00						J39-3-1	J39-u, 27.8	5897.8		
238	94063	3.00	6604.18						J39-3-1	J39-u, 28.8	5898.8		
239	94141	0.20	6613.89						J39-3-2	J39-u, 39.5	5909.5		
240	94179	0.50	6615.11						J39-3-2	J39-u, 40.8	5910.8		

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter in Jahren B.P.	Mächtigkeit in mm	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr. Kerntiefe (cm)		Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Bezeichnung
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E	LGM-L	LGM-L	LGM-L	LGM-J	LGM-J	LGM-J	
241	94276	14.00	6624.61						<b>J39-3-3</b>	J39-u, 46-47.4	5916.8	PL-67
242	94280	48.00	6630.95						<b>J39-4-1</b>	J39-u, 49.2-54	5921.6	
243	94314	1.00	6632.25						<b>J39-4-1</b>	J39-u, 55.4	5925.4	
244	94356	0.50	6634.01						<b>J39-4-1</b>	J39-u, 57	5927.0	
245	94377	1.30	6634.36						<b>J39-4-1</b>	J39-u, 57.3	5927.3	
246	94448	0.50	6635.10						<b>J39-4-1</b>	J39-u, 57.9	5927.9	
247	94490	0.90	6635.60						<b>J39-4-1</b>	J39-u, 58.4	5928.4	
248	94545	0.10	6636.30						<b>J39-4-2</b>	J39-u, 59	5929.0	
249	94790	0.10	6638.78						<b>J39-4-2</b>	J39-u, 61.5	5931.5	
250	95337	24.00	6654.45						<b>J39-5-1</b>	J39-u, 79.6-82	5950.8	
251	95663	1.00	6679.16						<b>J40-1-1</b>	J40-o, 56.5	5976.5	PL-68
252	95850	13.00	6722.15						<b>J40-3-1</b>	J40-u, 0-1.3	6017.7	
253	95851	8.00	6723.05						<b>J40-3-1</b>	J40-u, 1.4-2.2	6018.8	
254	95853	12.00	6724.85						<b>J40-3-1</b>	J40-u, 2.8-4.0	6020.4	
255	95855	6.00	6727.35						<b>J40-3-1</b>	J40-u, 6.0-6.6	6023.3	
256	95857	5.00	6728.05						<b>J40-3-1</b>	J40-u, 7-7.5	6024.3	
257	95858	32.00	6731.25						<b>J40-3-1/2</b>	J40-u, 7.8-10.8	6026.3	
258	95865	43.00	6737.55						<b>J40-3-2</b>	J40-u, 12.5-16.8	6029.7	
259	95866	10.00	6738.05						<b>J40-3-2</b>	J40-u, 17.5-18.5	6033.0	
260	95867	30.00	6745.55						<b>J40-3-3</b>	J40-u, 23-26	6041.5	
261	95930	0.20	6748.79						<b>J40-4-1</b>	J40-u, 26.5	6043.5	PL-69
262	96302	0.50	6754.90						<b>J40-4-1</b>	J40-u, 33.2	6050.2	
263	96312	2.50	6755.24						<b>J40-4-1</b>	J40-u, 33.6	6050.6	
264	96526	1.50	6761.06						<b>J40-4-2</b>	J40-u, 39.5	6056.5	
265	96724	3.50	6769.39						<b>J40-4-3</b>	J40-u, 47.3-47.6	6064.5	
266	97054	10.00	6785.25						<b>J40-5-2</b>	J40-u, 61.3-62.3	6078.8	
267	97077	4.50	6803.85						<b>J40-5-2</b>	J40-u, 63	6079.5	
268	97078	2.00	6804.15						<b>J40-5-2</b>	J40-u, 64.6	6081.1	
269	97079	8.00	6804.45						<b>J40-5-2</b>	J40-u, 65	6081.5	
270	97080	9.50	6806.05						<b>J40-5-2</b>	J40-u, 65.4-66.3	6082.4	
271	97081	2.50	6806.35						<b>J40-5-2</b>	J40-u, 66.3-67	6083.2	PL-70
272	97107	12.00	6807.63						<b>J40-6-3</b>	J40-u, 84.3-85.5	6101.8	
273	97109	13.00	6809.95						<b>J40-6-3</b>	J40-u, 86.2-87.5	6103.9	
274	97114	4.00	6813.25						<b>J40-6-3</b>	J40-u, 93.3-93.7	6110.0	
275	97253	1.40	6846.05						<b>J41-2-2</b>	J41-u, 30.5	6137.5	
276	97255	11.00	6848.42						<b>J41-2-2</b>	J41-u, 34.5-35.6	6142.1	
277	97256	3.00	6848.89						<b>J41-2-2</b>	J41-u, 36	6143.0	
278	97274	2.50	6856.02						<b>J41-2-3</b>	J41-u, 43.5-43.8	6150.7	
279	97354	3.00	6861.88						<b>J41-2-3</b>	J41-u, 50	6157.0	
280	97356	0.80	6862.03						<b>J41-2-3</b>	J41-u, 50.8	6157.8	
281	97366	1.10	6862.26						<b>J41-3-1</b>	J41-u, 51	6158.0	MT-10 / PL-71
282	97408	2.00	6863.99						<b>J41-3-1</b>	J41-u, 51.6	6158.6	
283	97769	70.00	6929.73						<b>J42-1-2</b>	J42-o, 83-90	6216.5	
284	97770	3.20	6930.14						<b>J42-1-3</b>	J42-o, 92.8-93.1	6223.0	
285	97771	6.50	6930.89						<b>J42-1-3</b>	J42-o, 93.2-93.8	6223.5	
286	97772	14.40	6932.43						<b>J42-1-3</b>	J42-o, 93.9-95.3	6224.6	
287	97774	3.60	6933.11						<b>J42-1-3</b>	J42-o, 95.8-96.1	6226.0	
288	97786	1.25	6933.75						<b>J42-1-3</b>	J42-o, 97.3	6227.3	

# ANHANG A

## Schliffbezeichnungen, Alter, Mächtigkeiten und Tiefen der Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter in Jahren B.P.	Mächtigkeit in mm	Komposit-Tiefe Basis (cm)	Schliff-Nr. Kerntiefe (cm)		Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Schliff-Nr. Kerntiefe (cm) Mittl. Tiefe (cm)			Bezeichnung
				LGM-B/D/E	LGM-B/D/E	LGM-L	LGM-L	LGM-L	LGM-J	LGM-J	LGM-J	
289	97819	2.00	6934.68						<b>J42-1-3</b>	J42-o, 98.3	6228.3	
290	97836	4.40	6934.93						<b>J42-2-1</b>	J42-u, 0.9-1.3	6229.1	
291	97850	3.20	6935.54						<b>J42-2-1</b>	J42-u, 1.7-2.0	6229.9	PL-72
292	97958	0.80	6940.98						<b>J42-2-1</b>	J42-u, 7.7	6235.7	
293	98087	0.20	6943.65						<b>J42-2-2</b>	J42-u, 10.5	6238.5	
294	98093	12.00	6944.93						<b>J42-2-2</b>	J42-u, 11.4-12.6	6240.0	
295	98519	0.70	6973.66						<b>J42-3-2</b>	J42-u, 40.8	6268.8	
296	98734	2.00	6983.64						<b>J42-3-3</b>	J42-u, 50.8	6278.8	
297	98735	0.40	6983.75						<b>J42-3-3</b>	J42-u, 51	6279.0	
298	98736	3.00	6984.05						<b>J42-4-1</b>	J42-u, 51.3-51.6	6279.5	
299	98737	5.00	6984.55						<b>J42-4-1</b>	J42-u, 52.1-52.6	6280.4	
300	98738	1.00	6989.15						<b>J42-4-1</b>	J42-u, 55.1	6283.1	
301	98739	5.00	6989.80						<b>J42-4-1</b>	J42-u, 55.8-56.3	6284.1	
302	98740	12.00	6992.95						<b>J42-4-2</b>	J42-u, 58.8-60.0	6287.4	
303	98741	1.00	6994.15						<b>J42-4-2</b>	J42-u, 61.8	6289.8	
304	98742	1.50	6994.55						<b>J42-4-2</b>	J42-u, 62.2	6290.2	
305	98743	2.00	6994.85						<b>J42-4-2</b>	J42-u, 62.6	6290.6	
306	98745	13.00	6996.50						<b>J42-4-2</b>	J42-u, 63.3-64.6	6292.0	
307	98746	12.00	6998.25						<b>J42-4-2</b>	J42-u, 64.8-66	6293.4	
308	98749	29.00	7003.95						<b>J42-4-3</b>	J42-u, 66.1-69	6295.6	
309	98750	9.00	7006.75						<b>J42-4-3</b>	J42-u, 71-71.9	6299.5	
310	98753	97.00	7019.75						<b>J42-5-1</b>	J42-u, 73.8-83.5	6306.7	
311	98766	1.00	7077.53						<b>J44-1-1</b>	J44-u, 48	6374.0	PL-75
312	98995	1.60	7101.19						<b>J44-2-1</b>	J44-u, 67.4	6393.4	
313	99121	0.50	7104.75						<b>J44-2-1</b>	J44-u, 71.5	6397.5	
314	99144	0.10	7105.96						<b>J44-2-2</b>	J44-u, 74.1	6400.1	
315	99657	0.20	7136.69						<b>J45-2-1</b>	J45-o, 80	6433.0	
316	99753	8.00	7144.41						<b>J45-2-2</b>	J45-o, 86.6-87.4	6440.0	
317	99799	0.20	7145.83						<b>J45-2-2</b>	J45-o, 89.1	6442.1	
318	99945	2.60	7160.84						<b>J45-3-1</b>	J45-u, 2.2	6455.2	
319	100000	8.00	7165.50						<b>J45-3-1</b>	J45-u, 6.2-7	6459.6	
320	100237	2.00	7183.09						<b>J45-4-1</b>	J45-u, 26.6	6479.6	
321	100244	0.20	7184.03						<b>J45-4-1</b>	J45-u, 27.6	6480.6	
322	100317	4.00	7192.89						<b>J45-4-2</b>	J45-u, 35.7-36.1	6488.9	
323	100522	0.20	7202.32						<b>J45-4-3</b>	J45-u, 45.4	6498.4	
324	100523	1.00	7202.44						<b>J45-4-3</b>	J45-u, 45.5	6498.5	
325	101204	2.30	7225.02						<b>J45-5-3</b>	J45-u, 67.1	6520.1	
326	101210	0.70	7225.22						<b>J45-5-3</b>	J45-u, 67.3	6520.3	
327	101215	4.80	7225.84						<b>J45-5-3</b>	J45-u, 67.6-68.1	6520.9	
328	101239	0.20	7231.12						<b>J45-6-1</b>	J45-u, 74	6527.0	
329	101259	0.10	7231.83						<b>J45-6-1</b>	J45-u, 74.8	6527.8	
330	101277	0.10	7232.04						<b>J45-6-1</b>	J45-u, 75.1	6528.1	
331	101384	0.10	7237.80						<b>J45-6-2</b>	J45-u, 76.6	6529.6	
332	101425	1.50	7238.56						<b>J45-6-2</b>	J45-u, 78.1	6531.1	
333	101466	0.20	7239.12						<b>J45-6-2</b>	J45-u, 78.8	6531.8	
334	101654	1.00	7244.02						<b>J45-6-2</b>	J45-u, 83.4	6536.4	
335	101657	7.00	7245.42						<b>J45-6-2</b>	J45-u, 84-84.7	6537.4	
336	101658	5.00	7246.72						<b>J45-6-2</b>	J45-u, 85-85.5	6538.3	



# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- Sediment- klasten struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
1	6.09	88	9.00	grau	G + K + L	braun	cpx, hbl, kf, bi, plg, lc	V -	TP - P	SV 1631 n.Chr.
2	49.97	818	0.40	schwarz	G + K + L	hellbraun - braun	lc, cpx, hbl, plg, kf	V -	PT, TrA	SV lme2
3	75.81	1072	0.25	schwarz	G + K + L	hellbraun + schwarz	lc, cpx, kf, plg	V -	PT	SV lme2
4	110.43	1416	3.00	dunkelgrau	G + K + L	braun + hellbraun	cpx, lc, kf, plg, bi, hbl	V -	TP - PT - F	SV MI 1, 512 n.Chr.
5	115.34	1441	35.00	dunkelgrau	G + K + L	braun	cpx, lc, plg, bi, kf, hbl	V IG	P - F, BTrA	SV Pollena 472 n.Chr.
6	246.69	3042	0.10	hellbraun	K + G	farblos + hellbraun	kf, plg, bi	V -	Tr	IS Cretaio ?
7	304.60	3939	1.00	grau	G + K	braun	lc, cpx, ne, kf, bi, plg	- -	TP	SV umgelagert
8	306.34	3971	0.35	grau	K + G	hellbraun + braun	lc, cpx, kf, bi, plg	- -	TP - P	SV AP5
9	307.34	3981	5.00	grau	G + K	hellbraun + braun	lc, bi, cpx, kf, plg	- NG (3x)	TP - P	SV AP5
10	307.94	3984	4.00	grau	G + K	hellbraun	lc, cpx, bi, kf, plg	- NG	TP - P	SV AP5
11	308.29	3985	3.00	grau	G + K (+ L)	farblos - braun	lc, bi, cpx, kf, plg	V NG	TP - P	SV AP5
12	308.49	3986	1.50	grau	G + K	hellbraun + braun	lc, cpx, bi, kf, plg	- -	TP - P	SV AP5
13	308.69	3988	1.00	grau	G + K	hellbraun + braun	lc, cpx, bi, kf, plg	- -	TP - P	SV AP5
14	308.84	3989	1.00	grau	G + K	hellbraun + braun	lc, cpx, bi, kf, plg	- -	TP - P	SV AP5
15	309.09	3991	1.50	grau	G + K	hellbraun + braun	lc, cpx, bi, kf, plg	- -	TP - P	SV AP5
16	309.61	3992	2.00	grau	G + K	grau - braun	lc, cpx, bi, kf, plg	- -	TP - P	SV AP5
17	309.90	3994	0.60	grau	G + K	braun	lc, cpx, kf, plg	- -	TP - P	SV AP5
18	313.93	4018	24.00	grau	G + K + L	braun	cpx, lc, bi, plg, kf, hbl	V NG (2x)	P	SV AP4
19	324.54	4142	0.30	grau	K + G	farblos + braun	cpx, bi, lc, kf, plg, hbl	- -	-	SV ? umgelagert
20	324.61	4143	0.20	grau	K + G	farblos + braun	cpx, kf, plg, lc, hbl	- -	-	SV ? umgelagert
21	326.30	4146	14.00	grau	G + K + L	farblos + braun	cpx, bi, lc, plg, kf, hbl	V / K IG	P	SV AP2
22	328.26	4153	17.00	graubeige	G + K + L	farblos + grünbraun	cpx, bi, lc, plg, kf, hbl	V / K IG (2x)	P	SV AP2
23	345.63	4313	6.00	weiß-grau	G + K + L	farblos + graubraun	kf, plg, cpx, hbl, bi, so, ne, ε	V / K NG	P	SV Avellino
24	368.68	4614	1.00	weiß	G + K	farblos + hellbraun	kf, cpx, plg, bi, ap	- -	P - Tr	CF umgelagert
25	370.18	4619	11.00	weiß	G + K (+ L)	farblos + hellbraun	kf, cpx, bi, plg, ap	V NG + IG	P - Tr	CF AMS
26	373.71	4663	3.00	weiß	G + K	farblos + hellbraun	kf, cpx, bi, plg, ap	- NG	Tr - P	CF AMS
27	421.32	5393	0.75	grau	G + K + L	farblos + rehbraun	kf, plg, cpx, bi, hbl	V -	Tr	CF AMS
28	427.22	5502	0.10	grau	G + K	farblos + braun	kf, bi, plg, cpx	V -	-	CF ? AMS ?
29	437.50	5635	0.70	grau	G + K	farblos + braun	kf, bi, cpx, plg	V -	P - Tr	CF AMS
30	441.34	5675	0.50	grau	G + K + L	farblos + braun	kf, cpx, plg, bi	V -	P - Tr	CF AMS
31	500.73	6581	1.00	hellbraun	K + G	farblos + rehbraun	kf, cpx, bi	V NG	Tr	IS Piano Liguori
32	501.22	6588	1.00	hellbraun	K + G	farblos	kf, cpx, bi	- NG	Tr	IS Piano Liguori
33	501.42	6592	0.50	hellbraun	K + G	farblos	kf, cpx, bi	- NG	Tr	IS Piano Liguori
34	536.27	7151	1.00	grau	K + G + L	farblos	kf, plg, bi	V -	Tr	IS Cantariello
35	632.76	9258	2.00	hellbraun-grün	K + G + L	farblos + hellbraun	plg, cpx, ne, kf, lc, bi	V / K -	P	SV umgelagert
36	636.98	9317	0.30	hellbraun-grün	K + G + L	farblos + hellbraun	plg, kf, ne, cpx, bi, lc	V / K -	-	SV ? umgelagert
37	647.59	9503	3.00	hellbraun-grün	G + K + L	farblos + rehbraun	cpx, ne, bi, plg, kf	V / K IG	P	SV umgelagert
38	653.08	9590	2.00	hellbraun-grün	G + K + L	farblos + rehbraun	cpx, ne, plg, kf, bi, hbl	V / K NG	P, PT - TP	SV umgelagert
39	654.95	9620	1.00	hellbraun-grün	K + L + G	hellbraun - rehbraun	cpx, kf, plg, ne, bi	V / K -	P - Tr	SV umgelagert
40	668.49	9678	106.00	weiß-graugrün	G + K + L	farblos	kf, plg, cpx, bi, gr, lc	V / K IG	P, P - TP	SV Mercato
41	676.94	9894	1.00	ockerbraun	G + K	farblos + rehbraun	kf, bi, cpx, plg	- -	Tr - TrD	CF Fondi di Baia ?
42	679.39	9958	3.00	ockerbraun	G + K	farblos + rehbraun	kf, bi, plg	- -	-	CF ? Fondi di Baia ?
43	734.54	11187	0.10	weiß	G + K (+ L)	farblos	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF Casale ?
44	735.44	11207	0.10	weiß	G + K (+ L)	farblos	kf, bi, cpx, plg	V -	Tr - P	CF Casale ?
45	746.57	11501	0.40	hellbraun	G + K + L	farblos	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	IS Selva del Napolitano
46	746.98	11516	0.50	hellbraun	G + K + L	farblos-rosa + hellbraun	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	IS Selva del Napolitano
47	747.26	11522	0.40	hellbraun	G + K + L	farblos-grau	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	IS Selva del Napolitano
48	755.27	11668	17.00	hellbraun	G + K + L	hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi	V NG (2x)	Tr - TrA	CF Soccavo 4
49	769.26	11888	1.00	hellbraun	G + K + L	hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi	V -	TrA - TP, Tr	CF Soccavo 4
50	772.94	11983	3.00	hellbraun	G + K + L	hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi	V -	P - Tr, TP - TrA	CF Soccavo 4

# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- Sediment- klasten struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
51	776.32	12072	1.00	hellbraun	G + K (+ L)	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, cpx, bi, ap	V -	Tr - P - TrA	CF ?
52	776.54	12073	2.00	hellbraun	G + K (+ L)	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, cpx, bi, ap	V -	Tr - TrA - P - TP	CF ?
53	776.77	12074	2.00	hellbraun	G + K (+ L)	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, bi, cpx, ap	V -	Tr - P	CF ?
54	777.54	12169	6.00	braungrau	G + K + L	farblos-hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi, hbl, lc	V -	TP	CF Pomici Principali
55	789.04	12181	47.00	graubraun	G + K + L	hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi, lc	V IG	P	CF Pomici Principali
56	789.35	12184	2.00	hellbraun	G + K + L	farblos-hellbraun	kf, plg, cpx, bi	V -	-	CF ? Pomici Principali ?
57	789.85	12193	0.10	weiß	G + K	farblos-grau	kf, bi	-	-	? ?
58	811.24	12591	0.20	weiß	G + K	farblos-grau (+ braun)	kf, plg, cpx, bi	-	Tr	CF La Pigna 1 ?
59	811.29	12592	0.10	weiß	G + K	farblos-grau (+ braun)	kf, plg, cpx, bi	-	-	CF ? La Pigna 1 ?
60	813.32	12643	0.30	weiß	G + K	farblos-grau (+ braun)	kf, plg, bi	-	P	CF ?
61	817.81	12765	0.10	weiß	G + K (+ L)	farblos-grau (+ braun)	kf, plg, bi	V -	P	CF ?
62	822.65	12905	0.30	weiß	G + K	farblos-grau (+ braun)	kf, plg	-	-	CF ? ?
63	831.90	13172	1.00	weiß	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V IG	Tr	IS umgelagert
64	862.70	14106	4.00	weiß	G + K (+ L)	farblos-hellbraun	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr, TP - TrA	CF NYT
65	863.80	14113	11.00	weiß-gelb	G + K (+ L)	hellbraun-farblos	kf, plg, cpx, bi, ap	V NG	Tr, TP - TrA	CF NYT
66	864.53	14115	7.00	weiß-gelb	G + K (+ L)	hellbraun-farblos	kf, plg, cpx, bi	V -	Tr, TP - TrA	CF NYT
67	878.47	14458	2.00	weiß	G + K + L	farblos	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF Tufi Biancastri
68	879.96	14501	0.20	weiß	G + K + L	farblos	kf, plg, bi, cpx	V NG	-	CF ? Tufi Biancastri
69	883.38	14557	18.00	weiß	G + K + L	farblos	kf, plg, cpx, bi	V IG + NG	Tr	CF Tufi Biancastri
70	901.63	15028	4.00	weiß-hellrosa	G + K + L	farblos-hellbraun + braun	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF Lagno Amendolare
71	907.72	15215	7.00	weiß-hellrosa	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, bi, cpx	V NG	Tr	CF Lagno Amendolare
72	909.55	15243	0.20	hellbraun	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF ?
73	913.02	15296	1.00	weiß-hellrosa	G + K (+ L)	farblos-grauhellbraun	plg, kf, bi, cpx	V NG	Tr	CF Tls ?
74	920.87	15551	4.00	weiß-hellrosa	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	CF ?
75	929.81	15822	12.00	weiß	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	IS Faro di Punta Imperator
76	948.29	16135	0.30	weiß	G + K (+ L)	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF TLo ?
77	956.95	16444	0.50	dunkelbraun	K + G (+ L)	braun + hellbraun	plg, kf, cpx, hbl, ap	V -	TrD, TrA - TrD	CF Atna Biancavilla, Y-1
78	1015.50	17560	55.00	grau	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, plg, cpx, bi, hbl, ne	V NG (5x)	Tr	SV Verdoline
79	1031.60	17976	1.40	dunkelbraun	K + G + L	braun + hellbraun	plg, kf, cpx, ap, hbl	V -	TrD, R	CF Atna Biancavilla, D1
80	1054.60	18496	0.30	grau	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF ?
81	1055.48	18538	0.20	hellgrau	G + K + L	farblos (+ hellbraun)	kf, plg, bi	V -	Tr	CF ?
82	1085.41	19091	0.30	grau	K + G (+ L)	farblos	plg, kf, bi, cpx, hbl	V -	-	SV ? umgelagert
83	1117.10	19282	182.00	weiß-schwarz	G + K + L	farblos (+ hellbraun-braun)	kf, plg, cpx, hbl, ne, bi	V NG (4x)	Tr, BTrA - PT - TrA - TP	SV Pomici di Base
84	1176.59	20149	2.00	dunkelbraun	K + G + L	farblos + grünbraun + braun	kf, plg, cpx, bi	V -	BTrA, Tr	PR Solchiaro
85	1182.38	20229	1.00	dunkelbraun	K + G	grünbraun + farblos	kf, cpx, bi, plg	V -	-	PR ? Solchiaro
86	1185.42	20269	2.00	weiß	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, ap	V -	Tr	IS Faro di Punta Imperator
87	1215.27	20678	2.00	dunkelbraun	G + K + L	grünbraun (+ braun, farblos)	lc, plg, kf, cpx	V / K -	PT - BTrA - TP - TrA	AB umgelagert
88	1335.81	22621	2.00	dunkelbraun	G + K + L	farblos (+ braun)	plg, kf, cpx, bi	V -	TrA - Tr, TrA	CF umgelagert
89	1471.87	23930	286.00	beige	G + K (+ L)	hellbraun + farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V IG	Tr	CF Y-3 (Breccia Museo?)
90	1633.74	25926	9.00	schwarz-braun	G + K	grünbraun (+braun)	lc, cpx, plg, kf, ne, bi	-	PT - TP	AB Peperini
91	1637.96	25985	7.00	schwarz-braun	G + K	grünbraun + braun	lc, cpx, bi, kf, plg, ne	- NG	PT	AB Peperini
92	1650.50	26132	16.00	schwarz-grau	G + K (+ L)	grünbraun + braun	cpx, kf, lc, hbl, bi, plg	V / K NG	TP	AB Peperini
93	1683.02	26537	21.00	dunkelgrau	G + K (+ L)	hellbraun-braun + farblos	cpx, kf, plg, bi, hbl	V / K NG	Tr - P	SV ? Codola ?
94	1710.38	26788	68.00	dunkelgrau	G + K (+ L)	rehbraun + farblos	cpx, bi, kf, plg, hbl	V / K NG	Tr - P	SV ? Codola ?
95	1784.81	27706	5.00	dunkelbraun	K + G (+ L)	grünbraun	lc, bi, ne, plg, cpx, kf	K -	F - PT, F, F - P	AB Peperini
96	1917.63	29693	9.00	graubraun	G + K (+ L)	hellbraun + braun	cpx, kf, plg, bi, ne, ap, lc	V / K NG	TP - TrA, BTrA - TrB	AB Peperini
97	1948.45	29870	12.00	dunkelbraun	G + K (+ L)	hellbraun	kf, plg, bi, cpx, ap, lc	V / K -	PT	AB Peperini
98	1962.98	29902	9.00	schwarz	G + K (+ L)	hellbraun + braun	cpx, bi, kf, plg, ap, lc	V / K -	PT - BTrA, TrA - TP	AB Peperini
99	2270.43	30534	97.00	graubraun	L + K (+ G)	hellbraun + braun	cpx, bi, kf, lc	V / K NG	-	AB Peperini
100	2276.63	30671	0.20	weiß	G	farblos (+ rehbraun)	kf, plg	-	Tr	CF umgelagert

# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- Sediment- klasten struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
101	2288.05	30865	1.00	weiß	G + K + L	farblos (+ rehbraun)	kf, plg, cpx	V IG	Tr	CF VRa ?
102	2292.52	30922	4.00	weiß	G + K + L	farblos + rehbraun	kf, plg	V IG	Tr	CF VRa ?
103	2294.97	30950	5.00	weiß	G + K + L	farblos (+ rehbraun)	kf, plg, cpx, bi	V IG	Tr	CF VRa ?
104	2331.09	31393	27.00	weiß	G + K (+ L)	farblos (+ rehbraun)	kf, cpx, bi, plg	V NG (3x)	Tr	CF C-9
105	2495.22	32970	257.00	beige-grau	G + K + L	farblos-hellbraun + rehbraun	kf, plg, bi, cpx	V / S IG (2x)	Tr, P - Tr	CF Campanischer Ignimbrit
106	2505.73	33040	56.00	grau-beige	G + K + L	farblos + rehbraun	kf, cpx, bi, plg	V IG	Tr	IS Citara
107	2513.38	33140	5.00	grau-beige	G + K + L	farblos-hellbraun + rehbraun	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr - P	IS Citara
108	2522.12	33256	4.00	weiß-beige	G + L + K	farblos	kf, cpx, bi, plg	V -	Tr	IS Citara
109	2551.18	33560	13.00	weiß-beige	G + K + L	farblos-hellbraun + braun	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr - P, Tr	CF ?
110	2569.30	33783	1.00	weiß-grau	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	IS Citara
111	2587.43	34006	4.00	grau	K + G + L	farblos (+ rehbraun)	kf, cpx, bi, plg	V NG	-	IS ? Citara
112	2598.32	34140	1.00	grau	K + G + L	farblos	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr	IS Citara
113	2641.88	34676	3.00	hellbraun	G + K (+ L)	farblos (+ hellbraun)	kf, bi, cpx, plg	V -	Tr - P	IS / CF ? ?
114	2652.28	34800	15.00	graubeige	G + K + L	farblos-hellbraun	kf, cpx, plg, bi	V -	Tr - P	IS / CF ? ?
115	2673.59	35030	7.00	weiß	G + K + L	farblos	kf, cpx, bi, plg	V NG	Tr	IS Citara
116	2675.75	35055	4.00	weiß	G + K + L	farblos (+ rehbraun)	kf, bi, cpx, plg	V -	Tr	IS Citara
117	2677.41	35075	3.00	weiß	G + K + L	farblos	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr	IS Citara
118	2884.29	36367	1.00	graubraun	G + K (+ L)	farblos-grau + braun	kf, cpx, bi, plg	V -	TrA	PR ? ?
119	2912.62	36754	3.00	weiß	G + K + L	farblos	kf, cpx, plg, ap	V IG	P	IS / CF ? ?
120	2913.60	36765	2.00	weiß	G + K + L	farblos	kf, cpx, bi, plg, ap	V IG	P	IS / CF ? ?
121	2984.81	37620	1.50	weiß-beige	G + K + L	farblos	kf, cpx, bi, plg, ap	V IG	Tr	IS Citara
122	2988.44	37669	0.90	weiß-beige	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, cpx, bi, plg, ap	V IG	Tr	IS Citara
123	2989.66	37703	0.50	weiß-beige	K + G + L	farblos	kf, cpx, bi, ap	V NG	Tr	IS Citara
124	2990.25	37718	1.00	weiß-beige	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, cpx, plg, bi, ap	V NG	Tr	CF ?
125	2997.87	37891	13.00	weiß-beige	G + K + L	farblos (+ rehbraun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	IS Citara
126	3006.43	38131	0.20	weiß-beige	L + K + G	farblos	kf, cpx, bi	V -	Tr	IS Citara
127	3053.63	39478	2.00	weiß-beige	G + K + L	farblos (+ rehbraun)	kf, bi, plg, cpx	V -	Tr - P	IS / CF ? ?
128	3126.00	41451	0.30	weiß	G + K + L	farblos	kf, cpx, bi, plg	V -	-	IS / CF ? ?
129	3172.3	42031	1.30	weiß-beige	G + K + L	farblos (+ hellbraun)	kf, cpx, plg	V -	Tr - P	IS / CF ? ?
130	3173.8	42067	1.80	weiß-beige	G + K + L	farblos	kf, bi, cpx, plg	V -	Tr - P	IS / CF ? ?
131	3196.41	42656	5.00	weiß-beige	G + K + L	farblos	kf, cpx, plg, bi	V NG	Tr - P	IS / CF ? ?
132	3230.62	43509	2.00	grau-braun	G + K + L	farblos-grau (+ hellbraun)	kf, plg, cpx, bi	V -	TrA	PR ? ?
133	3259.33	44310	1.50	hellbraun	K + L + G	hellbraun	plg, bi, cpx, hbl, kf	V NG	Tr	CF ?
134	3309.83	45606	16.00	hellbraun	G + K + L	farblos + braun	kf, cpx, plg, bi	V NG (2x)	Tr - P	IS / CF ? ?
135	3322.74	45828	3.50	graubraun	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	cpx, kf, plg, hbl, bi	V NG	P - TP - Tr - TrA	CF ?
136	3345.40	46457	1.00	graubraun	G + K + L	farblos-hellbraun	kf, plg, cpx, bi	V IG	Tr	IS Citara
137	3347.35	46512	0.20	weiß	G + K + L	farblos	kf, cpx	V -	Tr	IS Citara
138	3349.03	46559	0.30	beige-grau	G + K + L	farblos	kf, cpx, bi	V -	Tr	IS Citara
139	3407.64	48145	1.30	hellbraun	G + K (+ L)	hellbraun-farblos (+ braun)	kf, cpx, plg, bi	V IG	P - Tr	IS / CF ? ?
140	3464.34	49726	3.00	weiß	G + K + L	farblos (+ braun + grau) kf, cpx, bi, plg	V NG	P - Tr	CF TL f	
141	3466.21	49777	1.00	graubraun	G + K (+ L)	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, cpx	V -	P - Tr	CF TL f
142	3517.25	50926	1.00	grau	K + L + G	farblos	kf, plg, cpx, bi	V -	Tr	CF ?
143	3551.76	51811	5.00	beige	G + K	farblos (+ braun)	kf, cpx, plg, bi	- -	Tr	IS Barano
144	3627.39	53486	4.00	hellgrau	G + K	farblos (+ braun)	kf, bi, cpx, plg, ap	- NG	P	CF ?
145	3730.27	55000	2.00	hellgrau	G + K + L	farblos (+ rehbraun)	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr	IS umgelagert
146	3863.77	56252	332.00	beige-grünlich	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr	IS TVEss
147	3876.93	56432	3.50	beige-grünlich	G + K (+ L)	farblos (+ braungrün)	kf, bi, cpx, plg	V IG	P	CF TLc
148	3953.69	57568	6.00	beige	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, bi, plg, cpx, ac	V NG	Tr	IS UMSA (Y-7)
149	4102.65	60244	1.50	grau-beige	G + K + L	farblos-hellbraun	kf, bi, cpx, plg, ap	V -	Tr	IS UMSA
150	4106.83	60333	8.00	beige	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, bi, cpx, plg, ap	V IG	Tr	IS UMSA

# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- Sediment- klasten struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
151	4143.27	60667	3.00	graubraun	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, bi, cpx, ap, ac	V NG	Tr	IS UMSA
152	4377.76	64816	6.00	beige	G + K + L	farblos-hellbraun (+ braun)	kf, bi, cpx, plg	V NG	Tr - P	CF ?
153	4418.50	65660	3.00	beige-grau	G + K + L	farblos-hellbraun	kf, plg, cpx, bi	V / K NG	Tr - P	RO ? YTT ?
154	4419.97	65714	1.00	beige-grau	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, bi, cpx, plg, ap	V / K NG	Tr - P	RO ? YTT ?
155	4423.79	65782	0.20	beige-grau	G + K + L	farblos	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	IS umgelagert
156	4467.68	66564	8.00	beige	G + K + L	farblos (+ hellbraun-braun)	kf, plg, bi, cpx	V / K NG	Tr - P	RO ? YTT ?
157	4599.17	68304	2.50	weiß	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, hbl, ap, cpx, bi	V -	Tr	CF ?
158	4637.69	69139	20.00	beige	G + K + L	farblos (+ hellbraun-braun)	kf, cpx, bi, plg	V NG	Tr	IS Pignatiello
159	4767.96	71548	20.00	beige	G + K + L	farblos (+ hellbraun)	kf, bi, cpx, plg	V IG	Tr - P	IS Pignatiello
160	4868.77	72664	1.00	weiß	G + K + L	farblos (+ hellbraun)	kf, plg, cpx, bi	V -	P, P - TP, Tr	CF ?
161	4916.63	73434	0.30	graubraun	K + L + G	farblos + braun	cpx, kf, plg, bi	V -	Tr	IS Parata
162	4921.03	73505	0.40	weiß	G (+ K + L)	farblos	kf, plg	V -	-	IS ? Parata
163	4930.58	73749	1.00	weiß-beige	G + K (+ L)	farblos	kf, plg, cpx, bi	V NG	P	CF ?
164	5003.99	74538	1.50	hellbraun-violett	K + G + L	hellbraun + braun	plg, kf, cpx, bi, ap, opx	V NG	A - TrA - BTrA - BA, TrA, TrAO	Y-9
165	5062.35	75611	20.00	beige	G + K + L	farblos + hellbraun-braun	kf, plg, cpx, bi, lc, ap	V NG	P, P - Tr - TP - TrA	CF ?
166	5087.08	75711	0.30	weiß	G + K (+ L)	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx, ap	V NG	Tr - P	CF ?
167	5202.50	77175	2.00	weiß	G + K (+ L)	farblos (+ hellbraun)	kf, bi, cpx, plg	V NG	-	IS ? Monte Vico
168	5203.31	77182	7.50	weiß	G + K + L	farblos (+ hellbraun-braun)	plg, kf, cpx, bi, ap	V NG	Tr	IS Monte Vico
169	5223.75	77624	0.50	weiß-beige	G + K + L	farblos (+ braun)	plg, kf, bi, cpx	V -	Tr	IS Monte Vico
170	5311.54	78146	6.00	weiß	G + K (+ L)	farblos + braun	plg, kf, bi, cpx	V NG	Tr	IS Monte Vico
171	5411.23	78823	0.60	weiß	G + K	farblos	kf, bi	- NG	TrD	? ?
172	5412.07	78853	0.10	weiß	G	farblos	-	-	TrD	? ?
173	5444.98	79607	0.10	weiß	G + K + L	farblos + graubraun	cpx, kf, plg, bi, lc	V -	TP	RO ? umgelagert
174	5445.22	79618	1.00	weiß	G + K + L	farblos + graubraun	cpx, kf, plg, bi, lc	V / K NG	P - Tr	RO ? YTT ?
175	5449.21	79817	0.10	weiß	G	farblos	-	-	-	? ?
176	5460.98	80286	0.20	beige-weiß	G + K	farblos	kf, plg, bi	-	-	? ?
177	5527.02	81887	0.20	weiß	G + K	farblos-hellbraun + braun	cpx, kf, plg, lc	-	-	P - TP CF ?
178	5529.60	81907	4.00	graubraun	G + K	farblos-hellbraun + braun	cpx, kf, plg, lc	- NG	P - Tr - TP	CF ?
179	5531.06	81950	1.50	weiß	G + K	farblos-hellbraun + braun	cpx, kf, plg, lc	- NG	Tr	CF ?
180	5531.23	81965	0.20	hellbraun	G + K	farblos-hellbraun + braun	cpx, kf, plg, lc	-	-	Tr CF ?
181	5531.77	82006	0.30	graubraun	G + K + L	farblos-braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf	V	Tr	CF ?
182	5533.84	82131	5.00	weiß	G + K (+ L)	farblos + braun	cpx, kf, plg, bi, lc	V NG	Tr - P	CF ?
183	5540.44	82257	8.50	weiß	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, cpx, bi	V -	Tr - P	CF ?
184	5544.89	82384	2.40	graubraun	G + K	farblos	kf, bi, cpx	-	-	Tr CF ?
185	5546.59	82484	7.00	weiß	G + K + L	farblos (+ hellbraun)	plg, kf, cpx, bi, ap	V -	Tr	CF ?
186	5556.48	82842	1.90	weiß	K + G + L	farblos + hellbraun-braun	kf, plg, cpx, bi	V NG	Tr	CF ?
187	5562.13	83059	9.00	weiß	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, cpx, bi	V -	Tr	CF ?
188	5563.03	83060	8.00	hellgrau	G + K (+ L)	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr, TP - TrA	CF ?
189	5563.77	83107	1.50	weiß	G + L (+ K)	farblos + braun	bi, kf, plg	V NG	Tr	CF ?
190	5564.72	83184	0.10	weiß	K + G	braun	plg, kf, cpx,	-	-	Tr CF ?
191	5567.38	83278	5.80	weiß	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	CF ?
192	5572.80	83689	0.75	weiß	G + K + L	farblos (+ braun)	plg, kf, bi, cpx	V NG	Tr	CF ?
193	5824.25	85323	1.00	hellbraun	G (+ K)	farblos (+ braun)	kf, plg, cpx, ap	-	-	TrD - R PA Ante Green Tuff (P-10)
194	5890.60	85445	3.00	weiß	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	CF ?
195	5905.75	85485	2.00	graubraun	G + K (+ L)	farblos + braun	kf, cpx, bi, plg	V -	Tr	CF ?
196	5928.33	85568	1.00	graubraun	G + K (+ L)	farblos (+ hellbraun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	CF ?
197	5935.37	85602	1.00	weiß	G + K	farblos (+ hellbraun)	kf, bi, plg, cpx	-	-	Tr CF ?
198	5965.95	85676	2.00	beige	G + K + L	farblos + hellbraun (+ brau	kf, cpx, plg, bi, lc	V NG	-	? ?
199	5967.35	85683	1.00	beige	G + K (+ L)	farblos + rehbraun	kf, bi, cpx, plg	V IG	-	? ?
200	6343.95	87267	30.00	graubeige	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, cpx, bi	V NG	Tr, TrA - TP	CF ?

# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- Sediment- klasten struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
201	6347.20	87528	0.20	graubeige	G + K	farblos (+ braun)	kf, bi, cpx, plg	- NG	Tr	CF ?
202	6347.69	87567	0.10	weiß	G + K	farblos	kf, plg, bi, cpx	- -	Tr	CF ?
203	6404.09	89127	0.20	graubeige	G + K	farblos-gelblich + braun	plg, kf, cpx	- -	Tr - TrA, Tr	SA umgelagert
204	6404.92	89139	2.00	graubeige	G + K (+ L)	farblos-gelblich + braun	plg, kf, cpx, lc, bi	V NG	TrA - TP	SA Tufo di Baccano
205	6405.65	89144	6.50	graubeige	G + K (+ L)	farblos-gelblich + braun	plg, kf, cpx, bi	V / P / S NG	Tr	SA Tufo di Baccano
206	6409.25	89146	22.00	braun-beige	G + K + L	farblos-gelblich + braun	plg, kf, cpx, bi, lc	V / P / S NG	P - Tr	SA Tufo di Baccano
207	6411.15	89231	1.00	beige	G + K + L	farblos-gelblich + braun	plg, kf, lc, cpx, ap	V NG	TrA - TP	SA Tufo di Baccano
208	6423.75	89509	2.30	dunkelbraun	G + K + L	hellbraun + braun + schwa	lc, cpx, kf, plg, bi	V NG	PT	AO Piano Caldera
209	6438.71	89566	0.60	schwarz	G + K (+ L)	hellbraun + braun	kf, cpx, plg, bi, ap	V NG	-	? (Atna) ?
210	6438.75	89569	0.10	schwarz	K + G (+ L)	hellbraun + braun + schwa	kf, plg, cpx, bi, ap	V -	-	? (Atna) ?
211	6439.65	89621	1.50	beige-violett	K + G (+ L)	hellbraun + braun + schwa	kf, plg, cpx, bi, lc	V NG	-	CF ? ?
212	6444.10	89793	0.50	beige-violett	G + K	farblos-hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi	- -	Tr	CF ?
213	6444.13	89794	0.20	beige-violett	G + K	farblos-hellbraun + braun	kf, plg, cpx, bi	- -	Tr	CF ?
214	6444.20	89795	0.10	beige-violett	G (+ K)	farblos-hellbraun + braun	kf, plg	- -	Tr	CF ?
215	6445.00	89804	4.50	beige-violett	G + K	farblos-hellbraun + braun	kf, plg, bi, cpx	- NG	Tr	CF ?
216	6457.61	89814	2.50	beige-violett	G + K + L	farblos-hellbraun + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V IG	Tr	CF ?
217	6458.16	89815	2.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V -	Tr	CF ?
218	6458.81	89816	3.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V IG	Tr	CF ?
219	6459.11	89818	2.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF ?
220	6459.28	89819	1.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V -	Tr	CF ?
221	6463.38	89834	4.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V -	Tr - P	CF ?
222	6464.53	89836	6.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V NG	Tr - P	CF ?
223	6465.23	89838	2.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V -	-	CF ? ?
224	6466.28	89841	10.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr	CF ?
225	6466.53	89851	1.30	beige-violett	G + K + L	farblos (+ braun)	plg, kf, cpx, bi	V NG	Tr	CF ?
226	6466.88	89877	0.80	beige-violett	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V -	Tr - TrA	CF ?
227	6468.76	89971	0.10	hellbraun	G + K	farblos-hellbraun (+ braun)	plg, bi, cpx, kf	- -	-	CF ? ?
228	6472.48	90194	2.50	grau-beige	G + K + L	farblos + braun	plg, bi, cpx, kf	V NG	Tr	CF ?
229	6504.60	91363	5.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V NG	Tr	CF ?
230	6505.72	91366	3.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V -	Tr	CF ?
231	6505.97	91367	2.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V -	Tr	CF ?
232	6506.10	91368	0.70	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V -	-	CF ? ?
233	6507.02	91369	7.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V -	Tr	CF ?
234	6508.31	91374	4.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V IG (2x)	Tr	CF ?
235	6508.72	91376	4.00	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V NG	Tr - P	CF ?
236	6510.00	91378	5.50	beige-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf	V NG	Tr	CF ?
237	6519.86	91795	0.10	beige	G + K (+ L)	farblos	plg, bi, kf	V -	-	CF ? ?
238	6520.06	91820	0.10	weiß	G (+ K)	farblos	kf	- -	Tr	CF ?
239	6520.39	91836	0.20	beige	G + K (+ L)	farblos + braun	plg, kf, bi	V -	Tr	CF ?
240	6523.64	91995	0.20	beige	G + K (+ L)	farblos + braun	plg, kf, cpx, bi	V -	P - Tr	CF ?
241	6523.66	92040	0.20	grau	K + G	hellbraun	plg, kf, cpx, bi	- -	P	CF ?
242	6564.30	92361	0.70	weiß	G + K	farblos	kf, plg, bi	- NG	Tr	IS umgelagert
243	6583.01	93207	0.40	beige-grau	G + K + L	farblos + hellbraun	plg, cpx, bi, kf, lc	V NG	TP - TrA, P	CF ?
244	6601.90	93674	4.60	weiß-grau	G (+ K + L)	farblos	kf, plg, cpx, bi	V NG	Tr	IS Monte S. Angelo
245	6603.00	93991	0.10	hellbraun	G + K	farblos + braun	kf, plg, lc	- -	Tr	CF ?
246	6604.18	94063	3.00	weiß-grau	G + K + L	farblos + braun	plg, bi, cpx, kf	V NG	Tr	CF ?
247	6613.89	94141	0.20	weiß-grau	G + K	farblos + hellbraun	plg, cpx, bi	- -	Tr - P, Tr	CF ?
248	6615.11	94179	0.50	weiß-grau	G + K (+ L)	farblos + braun	plg, kf, cpx, bi	V -	TrA, Tr	CF ?
249	6624.61	94276	14.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, ap	V IG	P	CF ?
250	6630.95	94280	48.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, ap, lc	V IG + NG	P	CF ?

# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- Sediment- klasten struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
251	6632.25	94314	1.00	weiß-beige	G (+ K)	farblos + braun	plg, kf, cpx, bi	- NG	-	CF ? ?
252	6634.01	94356	0.50	weiß-beige	G (+ K)	farblos + braun	plg, kf, cpx, bi	- NG	Tr	CF ?
253	6634.36	94377	1.30	weiß-beige	G + K (+ L)	farblos + braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi	V NG	TP - TrA, Tr - P	CF ?
254	6635.10	94448	0.50	weiß-beige	G + K (+ L)	farblos + braun + schwarz	plg, kf, bi, cpx, lc	V -	TP - P - TrA, TrA	CF ?
255	6635.60	94490	0.90	weiß-beige	G + K	farblos + braun	plg, kf, bi, cpx, lc	- NG	Tr - P, Tr	CF ?
256	6636.30	94545	0.10	weiß-beige	G + K (+ L)	farblos + hellbraun	plg, kf	V -	Tr	CF ?
257	6638.78	94790	0.10	weiß-beige	G + K + L	farblos	plg, kf, bi	V NG	-	CF ? ?
258	6654.45	95337	24.00	weiß-ocker	G + K + L	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	V NG	Tr	IS Monte S. Angelo
259	6679.16	95663	1.00	weiß	G (+ K)	farblos	kf, bi	- NG	Tr	IS Monte S. Angelo
260	6722.15	95850	13.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V IG (2x)	P	CF ?
261	6723.05	95851	8.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V NG (2x)	P	CF ?
262	6724.85	95853	12.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V NG	P	CF ?
263	6727.35	95855	6.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V -	P	CF ?
264	6728.05	95857	5.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V -	P	CF ?
265	6731.25	95858	32.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V IG	P, TrD	CF ?
266	6737.55	95865	43.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V -	-	CF ? ?
267	6738.1	95866	10.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V -	-	CF ? ?
268	6745.55	95867	30.00	weiß-ocker	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, bi, cpx, kf, lc	V IG	-	CF ? ?
269	6748.79	95930	0.20	hellbraun	G (+ K + L)	farblos + braun	plg, bi, lc	V -	P	CF ?
270	6754.90	96302	0.50	weiß	G + K	farblos	kf, plg, cpx	- NG	Tr	IS Monte S. Angelo
271	6755.24	96312	2.50	hellgrau	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, ne, lc	V NG	P	CF ?
272	6761.06	96526	1.50	hellgrau	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, ne, lc	V NG	P	CF ?
273	6769.39	96724	3.50	hellgrau	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, ne, lc	V -	-	CF ? ?
274	6785.25	97054	10.00	braun	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, ne, ap, lc	V IG	-	CF ? ?
275	6803.85	97077	4.50	grau-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V NG	-	CF ? ?
276	6804.15	97078	2.00	grau-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, lc, cpx, bi, ne, kf	V NG	-	CF ? ?
277	6805.05	97079	8.00	grau-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V NG	-	CF ? ?
278	6806.05	97080	9.50	grau-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V NG	-	CF ? ?
279	6806.35	97081	2.50	grau-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V NG	-	CF ? ?
280	6807.63	97107	12.00	braun	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V IG	P	CF ?
281	6809.95	97109	13.00	braun	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V IG	P, Tr	CF ?
282	6813.25	97114	4.00	grau-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, ne, kf, lc	V IG	-	CF ? ?
283	6846.05	97253	1.40	weiß-grau	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V -	-	CF ? ?
284	6848.42	97255	11.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V IG	P	CF ?
285	6848.89	97256	3.00	braun-violett	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V -	P - Tr	CF ?
286	6856.02	97274	2.50	grau-violett	G + K (+ L)	farblos + braun (+ schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V -	P	CF ?
287	6861.88	97354	3.00	grau-violett	G + K (+ L)	farblos + braun (+ schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V NG	Tr	CF ?
288	6862.03	97356	0.80	grau-violett	G + K (+ L)	farblos + braun (+ schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V -	-	CF ?
289	6862.26	97366	1.10	grau-violett	G + K	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	- -	P	CF ?
290	6863.99	97408	2.00	grau-violett	G + K	farblos-gelb + braun	plg, cpx, bi, kf, lc	- NG	P - Tr	CF ?
291	6929.73	97769	70.00	graubraun-rosa	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V IG	Tr	CF X-5
292	6930.14	97770	3.20	graubraun-rosa	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V -	-	CF ? X-5
293	6930.89	97771	6.50	graubraun-rosa	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V NG	-	CF ? X-5
294	6932.43	97772	14.40	graubraun-rosa	G + K + L	farblos + braun (+ schwarz	plg, cpx, bi, kf	V -	-	CF ? X-5
295	6933.11	97774	3.60	graubraun-rosa	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V -	-	CF ? X-5
296	6933.75	97786	1.25	graubraun-rosa	G + K	farblos	plg	- -	-	CF ? X-5
297	6934.68	97819	2.00	weiß	G + K + L	farblos + hellbraun	plg, kf, cpx, bi	V NG	-	CF ? ?
298	6934.93	97836	4.40	weiß-grau	G + K (+ L)	farblos (+ braun)	plg, kf, cpx, bi	V NG	Tr	CF ?
299	6935.54	97850	3.20	weiß-rosa	G + K + L	farblos + braun	plg, kf, cpx, bi	V NG	Tr	CF ?
300	6940.98	97958	0.80	weiß-beige	G + K	farblos (+ braun)	plg, kf, cpx, bi	- -	Tr	CF ?

# ANHANG B

## Beschreibung und Zuordnung der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Tiefe (cm)	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	Farbe	Komponenten	Farbe der vulkanischen Gläser	Mineralbestand	Litho- klasten	Sediment- struktur	Petrologie	Herkunft Ereignis
301	6943.65	98087	0.20	beige-rosa	G (+ K)	farblos	kf, plg	-	-	-	CF ? ?
302	6944.93	98093	12.00	dunkelgrau-ros.	G + K + L	farblos + braun + schwarz	plg, cpx, bi, kf, lc	V	NG	-	CF ? ?
303	6973.66	98519	0.70	beigerosa	K + G	farblos + braun + schwarz	plg, kf, bi, cpx, ap	-	NG	Tr	CF ?
304	6983.64	98734	2.00	graubeige	K + G	farblos + braun (+ schwarz	plg, kf, bi, ap	-	NG	Tr	CF X-5
305	6983.75	98735	0.40	graubeige	G + K	farblos + braun (+ schwarz	cpx, plg, kf, bi, ap	-	NG	Tr	CF X-5
306	6984.05	98736	3.00	graubeige	G + K	farblos + hellbraun	plg, kf, bi, cpx	-	NG	Tr	CF X-5
307	6984.55	98737	5.00	graubeige	G + K	farblos + hellbraun	plg, kf, bi, cpx	-	-	Tr	CF X-5
308	6989.15	98738	1.00	graubeige	G + K + L	farblos + hellbraun	plg, kf, bi, cpx	V	-	Tr	CF X-5
309	6989.80	98739	5.00	graubeige	G + K + L	farblos + hellbraun	plg, kf, bi, cpx	V	-	Tr - P, Tr	CF X-5
310	6992.95	98740	12.00	graubeige	G + K + L	farblos (+ braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, lc, ap	V	IG	Tr	CF X-5
311	6994.15	98741	1.00	graubeige	G + K + L	farblos (+ braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, lc, ap	V	-	Tr	CF X-5
312	6994.55	98742	1.50	graubeige	G + K + L	farblos (+ braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, lc, ap	V	-	Tr, TrD	CF X-5
313	6994.85	98743	2.00	graubeige	G + K + L	farblos (+ braun + schwarz	plg, kf, cpx, bi, lc, ap	V	-	Tr	CF X-5
314	6996.50	98745	13.00	graubeige	G + K	farblos	plg, kf, cpx, bi	-	NG (4x)	Tr	CF X-5
315	6998.25	98746	12.00	graubeige	G + K	farblos	plg, kf, cpx, bi	-	NG (3x)	-	CF ? X-5
316	7003.95	98749	29.00	graubeige	G (+ K)	farblos	plg, kf, cpx, bi	-	NG (2x)	Tr	CF X-5
317	7006.75	98750	9.00	graubeige	G (+ K)	farblos	plg, kf, cpx, bi	-	-	-	CF X-5
318	7019.75	98753	97.00	graubeige	G (+ K)	farblos	plg, kf, cpx, bi	-	NG (7x)	Tr	CF X-5
319	7077.53	98766	1.00	weiß-beige	G + K (+ L)	farblos	plg, kf, cpx, bi	V	NG	Tr	CF ?
320	7101.19	98995	1.60	weiß	K + G + L	farblos + hellbraun	kf, plg, bi, cpx	V	NG	Tr	CF ?
321	7104.75	99121	0.50	weiß-beige	G + K (+ L)	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	K	-	Tr	CF ?
322	7105.96	99144	0.10	weiß	G + K	farblos (+ braun)	kf, plg, bi, cpx	-	-	Tr	CF ?
323	7136.69	99657	0.20	weiß	G + K	farblos	kf, plg, bi, cpx	-	-	-	CF ? ?
324	7144.41	99753	8.00	grau-rosa	G + K (+L)	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	V	NG	-	CF ? ?
325	7145.83	99799	0.20	weiß-beige	G + K	farblos	kf, plg, bi, cpx	-	-	-	CF ? ?
326	7160.84	99945	2.60	weiß	G (+ K)	farblos	kf, plg, cpx, bi, ap	-	NG	Tr	IS umgelagert ?
327	7165.50	100000	8.00	weiß	G (+ K)	farblos	kf, plg, cpx, bi, ap	-	NG	Tr	IS umgelagert ?
328	7183.09	100237	2.00	beige	G + K + L	farblos + braun + schwarz	kf, cpx	V	NG	Tr	IS Punta Imperatore
329	7184.03	100244	0.20	beige	G + K	farblos + braun	kf, cpx	-	-	Tr	IS Punta Imperatore
330	7192.89	100317	4.00	beige	G + K (+ L)	farblos (+ hellbraun)	kf, plg, cpx	V	-	Tr	IS Punta Imperatore
331	7202.32	100522	0.20	beige	G + K	farblos	kf, plg, cpx, bi	-	-	Tr	CF ?
332	7202.44	100523	1.00	weiß-hellgrau	G + K (+ L)	farblos (+ braun)	kf, plg, cpx, bi	V	NG	Tr	CF ?
333	7225.02	101204	2.30	rosa-grau	G + K + L	farblos + braun	cpx, bi, plg, kf, lc, ap	V	NG	-	CF ? ?
334	7225.22	101210	0.70	rosa-grau	G + K + L	farblos + braun	cpx, bi, plg, kf, lc, ap	V	-	-	CF ? ?
335	7225.84	101215	4.80	grau	G + K + L	farblos + braun	cpx, bi, plg, kf, lc, ap	V	NG	Tr - TrA	CF ?
336	7231.12	101239	0.20	braun-rosa	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, cpx, bi	V	-	-	CF ? ?
337	7231.83	101259	0.10	braun-rosa	G + K	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	-	-	Tr - TrA	CF ?
338	7232.04	101277	0.10	braun-rosa	G + K	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx	-	-	Tr - TrA	CF ?
339	7237.80	101384	0.10	braun-rosa	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, bi, cpx, ap	V	-	Tr - TrA	CF ?
340	7238.56	101425	1.50	braun-rosa	G + K + L	farblos + braun	kf, plg, cpx, bi, lc, ap	V	NG	Tr	CF ?
341	7239.12	101466	0.20	braun-rosa	G + K (+L)	hellbraun + braun	plg, cpx, bi, kf, ap	V	-	TrA - Tr	CF ?
342	7244	101654	1.00	graubeige	G	farblos-hellbraun	-	-	NG	-	? ?
343	7245.4	101657	7.00	graubeige	G	farblos-hellbraun	-	-	NG	-	? ?
344	7246.7	101658	5.00	graubeige	G	farblos-hellbraun	-	-	NG	-	? ?

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	88 SD	818 SD	1,072 SD	1,416 SD	1,441a SD	1,441b SD	3,042 SD	3,939 SD	3,971 - 3,994 SD	4,018 SD	4,146 SD
SiO <sub>2</sub>	51.61 <sup>1.35</sup>	49.55 <sup>0.08</sup>	46.87 <sup>0.18</sup>	47.95 <sup>0.69</sup>	49.19 <sup>0.92</sup>	51.81 <sup>1.20</sup>	61.42 <sup>1.41</sup>	53.03 <sup>0.82</sup>	53.13 <sup>0.32</sup>	54.27 <sup>0.45</sup>	56.48 <sup>1.04</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.42 <sup>0.13</sup>	0.83 <sup>0.12</sup>	1.14 <sup>0.03</sup>	0.82 <sup>0.08</sup>	0.51 <sup>0.08</sup>	1.64 <sup>0.05</sup>	0.60 <sup>0.14</sup>	0.60 <sup>0.05</sup>	0.54 <sup>0.04</sup>	0.44 <sup>0.01</sup>	0.33 <sup>0.10</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.22 <sup>1.79</sup>	19.82 <sup>1.71</sup>	17.56 <sup>0.18</sup>	19.02 <sup>0.48</sup>	21.02 <sup>0.54</sup>	16.44 <sup>0.58</sup>	18.67 <sup>0.39</sup>	19.56 <sup>0.15</sup>	19.64 <sup>0.18</sup>	19.52 <sup>0.17</sup>	20.33 <sup>0.67</sup>
FeOt	4.09 <sup>1.12</sup>	8.61 <sup>0.99</sup>	9.26 <sup>0.12</sup>	6.98 <sup>0.74</sup>	4.87 <sup>0.47</sup>	8.23 <sup>1.07</sup>	2.65 <sup>0.74</sup>	5.35 <sup>0.41</sup>	4.82 <sup>0.26</sup>	4.12 <sup>0.14</sup>	2.99 <sup>0.83</sup>
MnO	0.14 <sup>0.08</sup>	0.24 <sup>0.04</sup>	0.20 <sup>0.03</sup>	0.25 <sup>0.28</sup>	0.20 <sup>0.04</sup>	0.18 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.05</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.11 <sup>0.05</sup>
MgO	0.54 <sup>0.27</sup>	1.90 <sup>0.47</sup>	3.59 <sup>0.05</sup>	2.70 <sup>0.72</sup>	0.70 <sup>0.25</sup>	3.05 <sup>0.09</sup>	0.43 <sup>0.16</sup>	1.09 <sup>0.25</sup>	0.96 <sup>0.14</sup>	0.72 <sup>0.04</sup>	0.45 <sup>0.10</sup>
CaO	5.21 <sup>1.50</sup>	8.47 <sup>0.36</sup>	8.78 <sup>0.09</sup>	8.63 <sup>0.83</sup>	5.83 <sup>0.51</sup>	7.15 <sup>0.97</sup>	1.30 <sup>0.16</sup>	5.79 <sup>0.54</sup>	5.12 <sup>0.38</sup>	4.18 <sup>0.06</sup>	3.42 <sup>0.58</sup>
Na <sub>2</sub> O	6.66 <sup>1.10</sup>	5.11 <sup>0.23</sup>	3.80 <sup>0.07</sup>	4.19 <sup>0.67</sup>	7.27 <sup>1.19</sup>	3.40 <sup>0.19</sup>	6.24 <sup>0.29</sup>	5.04 <sup>0.80</sup>	4.63 <sup>0.21</sup>	4.58 <sup>0.22</sup>	6.00 <sup>0.87</sup>
K <sub>2</sub> O	6.23 <sup>2.29</sup>	4.56 <sup>0.76</sup>	5.93 <sup>0.10</sup>	7.06 <sup>1.24</sup>	7.27 <sup>1.36</sup>	4.98 <sup>0.80</sup>	6.38 <sup>0.20</sup>	6.91 <sup>1.04</sup>	7.91 <sup>0.34</sup>	7.93 <sup>0.05</sup>	6.65 <sup>0.97</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20 <sup>0.26</sup>	0.50 <sup>0.03</sup>	1.02 <sup>0.08</sup>	0.55 <sup>0.16</sup>	0.31 <sup>0.14</sup>	1.09 <sup>0.05</sup>	0.05 <sup>0.04</sup>	0.18 <sup>0.05</sup>	0.19 <sup>0.05</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.17 <sup>0.24</sup>
Cl	0.88 <sup>0.24</sup>	0.90 <sup>0.10</sup>	0.51 <sup>0.02</sup>	0.67 <sup>0.10</sup>	1.01 <sup>0.19</sup>	0.15 <sup>0.08</sup>	0.45 <sup>0.16</sup>	0.66 <sup>0.24</sup>	0.64 <sup>0.04</sup>	0.59 <sup>0.01</sup>	0.59 <sup>0.23</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.11 <sup>0.10</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.01</sup>
<b>Summe</b>	97.00 <sup>n=5</sup>	100.29 <sup>n=3</sup>	98.55 <sup>n=10</sup>	98.66 <sup>n=11</sup>	98.03 <sup>n=7</sup>	98.07 <sup>n=3</sup>	98.23 <sup>n=9</sup>	98.20 <sup>n=6</sup>	97.57 <sup>n=15</sup>	96.48 <sup>n=5</sup>	97.40 <sup>n=8</sup>
<b>SDM</b>	20	15	20	20	20	20	20	15	20	15	15

Probe	4,153 SD	4,313 SD	4,614 SD	4,619 SD	4,663 SD	5,393 SD	5,635 SD	5,675 SD	6,588 SD	6,592 SD	7,151 SD
SiO <sub>2</sub>	56.08 <sup>0.26</sup>	55.96 <sup>0.98</sup>	58.71 <sup>1.25</sup>	59.35 <sup>0.32</sup>	60.51 <sup>0.63</sup>	59.21 <sup>0.50</sup>	59.87 <sup>0.32</sup>	59.34 <sup>1.23</sup>	64.27 <sup>0.50</sup>	64.24 <sup>0.61</sup>	63.15 <sup>0.62</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.35 <sup>0.05</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.50 <sup>0.04</sup>	0.43 <sup>0.01</sup>	0.47 <sup>0.02</sup>	0.46 <sup>0.03</sup>	0.47 <sup>0.05</sup>	0.46 <sup>0.04</sup>	0.71 <sup>0.06</sup>	0.73 <sup>0.04</sup>	0.64 <sup>0.09</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.89 <sup>0.50</sup>	21.61 <sup>1.15</sup>	18.58 <sup>0.38</sup>	18.54 <sup>0.11</sup>	18.68 <sup>0.31</sup>	18.22 <sup>0.12</sup>	18.32 <sup>0.06</sup>	18.42 <sup>0.17</sup>	19.16 <sup>0.24</sup>	19.25 <sup>0.32</sup>	18.50 <sup>0.14</sup>
FeOt	3.27 <sup>0.59</sup>	1.81 <sup>0.25</sup>	3.69 <sup>0.43</sup>	3.44 <sup>0.07</sup>	3.39 <sup>0.21</sup>	3.73 <sup>0.15</sup>	3.47 <sup>0.13</sup>	3.28 <sup>0.54</sup>	2.79 <sup>0.18</sup>	2.82 <sup>0.21</sup>	2.52 <sup>0.48</sup>
MnO	0.13 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.15 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.20 <sup>0.04</sup>	0.21 <sup>0.07</sup>	0.16 <sup>0.06</sup>
MgO	0.43 <sup>0.15</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.78 <sup>0.19</sup>	0.62 <sup>0.01</sup>	0.61 <sup>0.04</sup>	0.77 <sup>0.05</sup>	0.67 <sup>0.06</sup>	0.60 <sup>0.11</sup>	0.46 <sup>0.07</sup>	0.47 <sup>0.04</sup>	0.40 <sup>0.09</sup>
CaO	3.30 <sup>0.38</sup>	1.52 <sup>0.16</sup>	2.82 <sup>0.41</sup>	2.51 <sup>0.00</sup>	2.49 <sup>0.08</sup>	2.53 <sup>0.09</sup>	2.49 <sup>0.13</sup>	2.33 <sup>0.39</sup>	1.37 <sup>0.09</sup>	1.36 <sup>0.10</sup>	1.24 <sup>0.19</sup>
Na <sub>2</sub> O	6.08 <sup>0.73</sup>	7.97 <sup>0.30</sup>	4.22 <sup>0.27</sup>	4.39 <sup>0.04</sup>	4.36 <sup>0.22</sup>	4.07 <sup>0.09</sup>	4.77 <sup>0.10</sup>	4.88 <sup>0.52</sup>	5.15 <sup>0.50</sup>	5.25 <sup>0.34</sup>	6.38 <sup>0.55</sup>
K <sub>2</sub> O	7.74 <sup>0.71</sup>	6.94 <sup>0.24</sup>	8.43 <sup>0.18</sup>	8.53 <sup>0.02</sup>	8.55 <sup>0.32</sup>	8.14 <sup>0.17</sup>	8.39 <sup>0.41</sup>	8.10 <sup>0.34</sup>	5.92 <sup>0.29</sup>	6.04 <sup>0.43</sup>	6.29 <sup>0.56</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07 <sup>0.04</sup>	0.02 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.07</sup>	0.12 <sup>0.02</sup>	0.10 <sup>0.04</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.13 <sup>0.05</sup>	0.11 <sup>0.06</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.07 <sup>0.03</sup>
Cl	0.70 <sup>0.05</sup>	0.36 <sup>0.16</sup>	0.63 <sup>0.07</sup>	0.66 <sup>0.01</sup>	0.71 <sup>0.06</sup>	0.59 <sup>0.04</sup>	0.70 <sup>0.04</sup>	0.58 <sup>0.12</sup>	0.50 <sup>0.09</sup>	0.53 <sup>0.14</sup>	0.39 <sup>0.18</sup>
F	0.03 <sup>0.04</sup>	0.31 <sup>0.26</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.02 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.89 <sup>n=10</sup>	96.66 <sup>n=3</sup>	98.49 <sup>n=5</sup>	98.60 <sup>n=3</sup>	99.84 <sup>n=17</sup>	97.84 <sup>n=23</sup>	99.28 <sup>n=7</sup>	98.11 <sup>n=9</sup>	100.49 <sup>n=14</sup>	100.87 <sup>n=11</sup>	99.65 <sup>n=13</sup>
<b>SDM</b>	15	20	15	15	15	15	20	20	15	15	15



## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	9,258 SD	9,503 SD	9,590a SD	9,590b SD	9,620 SD	9,678a SD	9,678b SD	9,894 SD	11,187 SD	11,207 SD	11,501 SD
SiO <sub>2</sub>	58.21 <sup>1.27</sup>	58.48 <sup>0.34</sup>	57.99 <sup>0.19</sup>	49.65 <sup>0.00</sup>	59.10 <sup>1.60</sup>	57.98 <sup>1.31</sup>	54.69 <sup>0.00</sup>	62.24 <sup>0.24</sup>	59.16 <sup>0.28</sup>	58.86 <sup>0.70</sup>	63.97 <sup>0.24</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.37 <sup>0.05</sup>	0.41 <sup>0.03</sup>	0.11 <sup>0.00</sup>	1.19 <sup>0.00</sup>	0.27 <sup>0.10</sup>	0.13 <sup>0.03</sup>	0.43 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.45 <sup>0.03</sup>	0.55 <sup>0.04</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.07 <sup>0.30</sup>	20.06 <sup>0.17</sup>	21.59 <sup>0.00</sup>	18.19 <sup>0.00</sup>	20.10 <sup>0.49</sup>	21.08 <sup>0.29</sup>	18.20 <sup>0.00</sup>	18.82 <sup>0.22</sup>	18.03 <sup>0.10</sup>	18.38 <sup>0.21</sup>	18.88 <sup>0.09</sup>
FeOt	2.62 <sup>0.42</sup>	2.83 <sup>0.07</sup>	1.73 <sup>0.03</sup>	7.66 <sup>0.00</sup>	1.92 <sup>0.71</sup>	1.70 <sup>0.27</sup>	5.05 <sup>0.00</sup>	3.22 <sup>0.08</sup>	3.87 <sup>0.12</sup>	4.10 <sup>0.30</sup>	2.49 <sup>0.11</sup>
MnO	0.16 <sup>0.06</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.18 <sup>0.02</sup>	0.18 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.06</sup>	0.17 <sup>0.04</sup>	0.35 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.13 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.22 <sup>0.02</sup>
MgO	0.20 <sup>0.04</sup>	0.31 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.01</sup>	3.13 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.08</sup>	0.07 <sup>0.02</sup>	1.00 <sup>0.00</sup>	0.56 <sup>0.02</sup>	0.86 <sup>0.06</sup>	0.90 <sup>0.15</sup>	0.28 <sup>0.02</sup>
CaO	2.79 <sup>0.26</sup>	2.77 <sup>0.08</sup>	1.53 <sup>0.01</sup>	6.66 <sup>0.00</sup>	2.31 <sup>0.37</sup>	1.86 <sup>0.46</sup>	5.89 <sup>0.00</sup>	2.46 <sup>0.06</sup>	2.85 <sup>0.13</sup>	2.96 <sup>0.25</sup>	1.17 <sup>0.06</sup>
Na <sub>2</sub> O	5.77 <sup>0.88</sup>	5.15 <sup>0.17</sup>	8.25 <sup>0.06</sup>	3.64 <sup>0.00</sup>	5.05 <sup>1.25</sup>	8.27 <sup>0.54</sup>	7.11 <sup>0.00</sup>	3.77 <sup>0.17</sup>	3.38 <sup>0.19</sup>	3.97 <sup>0.15</sup>	6.62 <sup>0.16</sup>
K <sub>2</sub> O	8.02 <sup>0.61</sup>	9.08 <sup>0.32</sup>	5.95 <sup>0.14</sup>	6.18 <sup>0.00</sup>	8.09 <sup>0.88</sup>	6.54 <sup>0.54</sup>	5.27 <sup>0.00</sup>	6.47 <sup>0.25</sup>	8.12 <sup>0.33</sup>	8.56 <sup>0.19</sup>	6.10 <sup>0.15</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06 <sup>0.07</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.88 <sup>0.00</sup>	0.09 <sup>0.10</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.00</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.18 <sup>0.03</sup>	0.18 <sup>0.04</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>
Cl	0.64 <sup>0.19</sup>	0.63 <sup>0.02</sup>	0.60 <sup>0.03</sup>	0.41 <sup>0.00</sup>	0.41 <sup>0.22</sup>	0.54 <sup>0.12</sup>	0.51 <sup>0.00</sup>	0.79 <sup>0.03</sup>	0.60 <sup>0.04</sup>	0.60 <sup>0.03</sup>	0.63 <sup>0.05</sup>
F	0.01 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.11 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.09</sup>	0.01 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.09 <sup>0.05</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.76 <sup>n=21</sup>	99.73 <sup>n=7</sup>	97.95 <sup>n=2</sup>	97.68 <sup>n=1</sup>	97.48 <sup>n=16</sup>	98.29 <sup>n=11</sup>	98.42 <sup>n=1</sup>	99.01 <sup>n=10</sup>	97.54 <sup>n=9</sup>	98.97 <sup>n=9</sup>	100.81 <sup>n=8</sup>
<b>SDM</b>	15	15	20	20	15	20	20	15	15	20	15

Probe	11,516 SD	11,522 SD	11,668 SD	11,888a SD	11,888b SD	11,983a SD	11,983b SD	12,072 SD	12,073 SD	12,074 SD	12,169 SD
SiO <sub>2</sub>	63.63 <sup>0.23</sup>	63.69 <sup>0.67</sup>	56.88 <sup>1.44</sup>	54.54 <sup>0.72</sup>	59.08 <sup>0.34</sup>	56.35 <sup>0.39</sup>	53.66 <sup>0.41</sup>	57.80 <sup>0.90</sup>	55.29 <sup>1.43</sup>	56.01 <sup>1.39</sup>	53.74 <sup>0.44</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.54 <sup>0.04</sup>	0.56 <sup>0.03</sup>	0.63 <sup>0.13</sup>	0.71 <sup>0.14</sup>	0.44 <sup>0.04</sup>	0.54 <sup>0.02</sup>	0.59 <sup>0.03</sup>	0.52 <sup>0.08</sup>	0.62 <sup>0.11</sup>	0.55 <sup>0.04</sup>	0.74 <sup>0.04</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.74 <sup>0.08</sup>	18.58 <sup>0.34</sup>	18.15 <sup>0.14</sup>	17.86 <sup>0.20</sup>	18.06 <sup>0.09</sup>	17.99 <sup>0.06</sup>	17.82 <sup>0.02</sup>	18.12 <sup>0.25</sup>	17.82 <sup>0.27</sup>	17.88 <sup>0.18</sup>	17.70 <sup>0.15</sup>
FeOt	2.49 <sup>0.30</sup>	2.45 <sup>0.15</sup>	5.20 <sup>0.85</sup>	5.79 <sup>1.34</sup>	3.29 <sup>0.61</sup>	4.47 <sup>0.11</sup>	5.35 <sup>0.01</sup>	4.63 <sup>0.69</sup>	4.88 <sup>0.77</sup>	4.62 <sup>0.33</sup>	5.72 <sup>0.30</sup>
MnO	0.22 <sup>0.05</sup>	0.23 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>
MgO	0.29 <sup>0.05</sup>	0.28 <sup>0.02</sup>	1.45 <sup>0.41</sup>	1.86 <sup>0.66</sup>	0.63 <sup>0.26</sup>	1.17 <sup>0.05</sup>	1.92 <sup>0.06</sup>	1.22 <sup>0.31</sup>	1.55 <sup>0.52</sup>	1.35 <sup>0.29</sup>	2.05 <sup>0.13</sup>
CaO	1.13 <sup>0.10</sup>	1.15 <sup>0.07</sup>	3.54 <sup>0.69</sup>	4.82 <sup>1.24</sup>	2.46 <sup>0.48</sup>	3.44 <sup>0.04</sup>	5.13 <sup>0.01</sup>	3.53 <sup>0.55</sup>	4.11 <sup>0.82</sup>	3.96 <sup>0.65</sup>	4.87 <sup>0.36</sup>
Na <sub>2</sub> O	6.41 <sup>0.20</sup>	6.31 <sup>0.29</sup>	3.36 <sup>0.20</sup>	3.38 <sup>0.55</sup>	4.35 <sup>0.23</sup>	3.75 <sup>0.07</sup>	3.20 <sup>0.03</sup>	3.53 <sup>0.25</sup>	3.32 <sup>0.21</sup>	3.41 <sup>0.23</sup>	3.38 <sup>0.10</sup>
K <sub>2</sub> O	6.14 <sup>0.12</sup>	6.07 <sup>0.16</sup>	7.77 <sup>0.55</sup>	7.15 <sup>0.51</sup>	8.13 <sup>0.11</sup>	8.00 <sup>0.11</sup>	7.33 <sup>0.12</sup>	8.13 <sup>0.41</sup>	7.87 <sup>0.56</sup>	8.03 <sup>0.31</sup>	7.40 <sup>0.14</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.03 <sup>0.03</sup>	0.36 <sup>0.12</sup>	0.43 <sup>0.15</sup>	0.14 <sup>0.09</sup>	0.22 <sup>0.04</sup>	0.37 <sup>0.05</sup>	0.22 <sup>0.07</sup>	0.32 <sup>0.10</sup>	0.28 <sup>0.08</sup>	0.37 <sup>0.11</sup>
Cl	0.67 <sup>0.09</sup>	0.65 <sup>0.06</sup>	0.53 <sup>0.08</sup>	0.54 <sup>0.05</sup>	0.62 <sup>0.04</sup>	0.58 <sup>0.05</sup>	0.49 <sup>0.02</sup>	0.48 <sup>0.09</sup>	0.54 <sup>0.06</sup>	0.53 <sup>0.05</sup>	0.51 <sup>0.04</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	100.15 <sup>n=10</sup>	99.85 <sup>n=9</sup>	97.89 <sup>n=12</sup>	97.09 <sup>n=4</sup>	97.18 <sup>n=4</sup>	96.52 <sup>n=6</sup>	95.85 <sup>n=2</sup>	98.21 <sup>n=6</sup>	96.34 <sup>n=11</sup>	96.61 <sup>n=8</sup>	96.49 <sup>n=10</sup>
<b>SDM</b>	15	15	20	20	20	20	20	15	20	20	20

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	12,181 SD	12,591 SD	12,643 SD	12,765 SD	13.172a SD	13.172b SD	14.115a SD	14.115b SD	14,458 SD	14,557 SD	15,028 SD
SiO <sub>2</sub>	57.56 <sup>1.23</sup>	57.47 <sup>0.62</sup>	55.57 <sup>0.27</sup>	54.70 <sup>0.12</sup>	63.02 <sup>0.26</sup>	66.07 <sup>0.00</sup>	60.34 <sup>0.66</sup>	55.57 <sup>0.34</sup>	59.46 <sup>0.64</sup>	61.49 <sup>1.19</sup>	58.71 <sup>1.28</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.48 <sup>0.03</sup>	0.47 <sup>0.03</sup>	0.49 <sup>0.02</sup>	0.51 <sup>0.01</sup>	0.56 <sup>0.02</sup>	0.09 <sup>0.00</sup>	0.42 <sup>0.03</sup>	0.58 <sup>0.03</sup>	0.42 <sup>0.04</sup>	0.37 <sup>0.08</sup>	0.46 <sup>0.03</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.43 <sup>0.46</sup>	18.42 <sup>0.23</sup>	18.08 <sup>0.05</sup>	17.77 <sup>0.11</sup>	18.60 <sup>0.11</sup>	19.28 <sup>0.00</sup>	17.96 <sup>0.28</sup>	18.12 <sup>0.05</sup>	17.85 <sup>0.18</sup>	17.83 <sup>0.29</sup>	17.27 <sup>0.21</sup>
FeOt	4.09 <sup>0.42</sup>	3.74 <sup>0.22</sup>	3.86 <sup>0.13</sup>	3.74 <sup>0.04</sup>	2.59 <sup>0.05</sup>	0.32 <sup>0.00</sup>	2.81 <sup>0.05</sup>	5.21 <sup>0.07</sup>	2.75 <sup>0.10</sup>	2.05 <sup>0.67</sup>	3.46 <sup>0.53</sup>
MnO	0.13 <sup>0.04</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.11 <sup>0.02</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.23 <sup>0.03</sup>	0.01 <sup>0.00</sup>	0.15 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>	0.26 <sup>0.34</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>
MgO	1.06 <sup>0.52</sup>	0.79 <sup>0.06</sup>	0.78 <sup>0.04</sup>	0.74 <sup>0.01</sup>	0.31 <sup>0.01</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	1.59 <sup>0.06</sup>	0.44 <sup>0.03</sup>	0.35 <sup>0.25</sup>	0.74 <sup>0.22</sup>
CaO	3.56 <sup>0.83</sup>	3.12 <sup>0.16</sup>	3.24 <sup>0.09</sup>	3.10 <sup>0.04</sup>	1.11 <sup>0.03</sup>	0.59 <sup>0.00</sup>	2.13 <sup>0.03</sup>	4.73 <sup>0.13</sup>	2.20 <sup>0.05</sup>	1.89 <sup>0.25</sup>	2.68 <sup>0.44</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.83 <sup>0.24</sup>	3.20 <sup>0.19</sup>	3.68 <sup>0.10</sup>	3.55 <sup>0.06</sup>	6.83 <sup>0.20</sup>	5.58 <sup>0.00</sup>	4.80 <sup>0.17</sup>	3.43 <sup>0.07</sup>	4.45 <sup>0.08</sup>	4.59 <sup>0.73</sup>	3.86 <sup>0.33</sup>
K <sub>2</sub> O	8.88 <sup>0.44</sup>	8.30 <sup>0.61</sup>	8.97 <sup>0.05</sup>	8.99 <sup>0.20</sup>	5.96 <sup>0.06</sup>	8.05 <sup>0.00</sup>	8.30 <sup>0.09</sup>	7.83 <sup>0.05</sup>	8.16 <sup>0.10</sup>	7.93 <sup>0.71</sup>	7.87 <sup>0.19</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15 <sup>0.06</sup>	0.17 <sup>0.06</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.05</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.05 <sup>0.00</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.36 <sup>0.05</sup>	0.07 <sup>0.04</sup>	0.04 <sup>0.04</sup>	0.14 <sup>0.05</sup>
Cl	0.61 <sup>0.05</sup>	0.62 <sup>0.03</sup>	0.61 <sup>0.03</sup>	0.61 <sup>0.03</sup>	0.66 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.57 <sup>0.03</sup>	0.48 <sup>0.20</sup>	0.48 <sup>0.05</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.12 <sup>0.07</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.63 <sup>n=20</sup>	96.37 <sup>n=5</sup>	95.38 <sup>n=4</sup>	93.81 <sup>n=2</sup>	99.77 <sup>n=9</sup>	100.04 <sup>n=1</sup>	97.86 <sup>n=4</sup>	97.89 <sup>n=5</sup>	96.36 <sup>n=8</sup>	97.17 <sup>n=9</sup>	95.70 <sup>n=9</sup>
<b>SDM</b>	20	15	20	20	15	15	20	20	20	20	20

Probe	15,215 SD	15,243 SD	15,296 SD	15,551 SD	15,822 SD	16,135 SD	16.444a SD	16.444b SD	17,560 SD	17.976a SD	17.976b SD
SiO <sub>2</sub>	59.05 <sup>0.65</sup>	61.49 <sup>0.84</sup>	59.72 <sup>0.24</sup>	58.93 <sup>0.51</sup>	62.48 <sup>1.34</sup>	61.63 <sup>0.05</sup>	65.08 <sup>0.17</sup>	58.34 <sup>0.78</sup>	58.10 <sup>0.51</sup>	62.62 <sup>0.00</sup>	68.12 <sup>0.00</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.43 <sup>0.01</sup>	0.37 <sup>0.04</sup>	0.40 <sup>0.04</sup>	0.45 <sup>0.02</sup>	0.49 <sup>0.03</sup>	0.39 <sup>0.03</sup>	0.81 <sup>0.04</sup>	1.45 <sup>0.09</sup>	0.30 <sup>0.02</sup>	1.65 <sup>0.00</sup>	0.11 <sup>0.00</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.97 <sup>0.03</sup>	18.21 <sup>0.24</sup>	17.71 <sup>0.21</sup>	18.02 <sup>0.04</sup>	18.96 <sup>0.45</sup>	16.84 <sup>0.20</sup>	16.93 <sup>0.10</sup>	16.41 <sup>0.39</sup>	18.27 <sup>0.25</sup>	14.63 <sup>0.00</sup>	17.42 <sup>0.00</sup>
FeOt	3.23 <sup>0.70</sup>	2.37 <sup>0.37</sup>	2.55 <sup>0.07</sup>	3.72 <sup>0.52</sup>	2.83 <sup>0.19</sup>	2.26 <sup>0.04</sup>	3.29 <sup>0.05</sup>	5.34 <sup>0.44</sup>	3.34 <sup>0.19</sup>	5.00 <sup>0.00</sup>	0.38 <sup>0.00</sup>
MnO	0.09 <sup>0.00</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.32 <sup>0.05</sup>	0.24 <sup>0.04</sup>	0.20 <sup>0.02</sup>	0.18 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>	0.18 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.00</sup>
MgO	0.65 <sup>0.24</sup>	0.38 <sup>0.13</sup>	0.37 <sup>0.02</sup>	0.80 <sup>0.17</sup>	0.27 <sup>0.03</sup>	0.24 <sup>0.03</sup>	0.87 <sup>0.06</sup>	1.78 <sup>0.28</sup>	0.27 <sup>0.03</sup>	1.02 <sup>0.00</sup>	0.05 <sup>0.00</sup>
CaO	2.51 <sup>0.44</sup>	1.97 <sup>0.17</sup>	2.01 <sup>0.03</sup>	2.90 <sup>0.31</sup>	1.01 <sup>0.07</sup>	1.37 <sup>0.04</sup>	1.86 <sup>0.10</sup>	3.87 <sup>0.38</sup>	3.04 <sup>0.16</sup>	2.71 <sup>0.00</sup>	1.60 <sup>0.00</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.01 <sup>0.37</sup>	3.80 <sup>0.31</sup>	4.75 <sup>0.03</sup>	3.87 <sup>0.30</sup>	7.06 <sup>0.49</sup>	5.83 <sup>0.02</sup>	6.08 <sup>0.33</sup>	5.26 <sup>0.35</sup>	4.13 <sup>0.22</sup>	4.50 <sup>0.00</sup>	4.81 <sup>0.00</sup>
K <sub>2</sub> O	8.00 <sup>0.18</sup>	7.73 <sup>0.39</sup>	7.91 <sup>0.15</sup>	8.09 <sup>0.12</sup>	5.72 <sup>0.24</sup>	5.93 <sup>0.31</sup>	3.69 <sup>0.05</sup>	3.18 <sup>0.25</sup>	8.06 <sup>0.32</sup>	4.22 <sup>0.00</sup>	2.99 <sup>0.00</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14 <sup>0.06</sup>	0.07 <sup>0.04</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.02 <sup>0.01</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.57 <sup>0.16</sup>	0.06 <sup>0.05</sup>	0.46 <sup>0.00</sup>	0.04 <sup>0.00</sup>
Cl	0.50 <sup>0.07</sup>	0.52 <sup>0.10</sup>	0.54 <sup>0.02</sup>	0.52 <sup>0.04</sup>	0.76 <sup>0.06</sup>	0.71 <sup>0.12</sup>	0.47 <sup>0.02</sup>	0.40 <sup>0.03</sup>	0.71 <sup>0.08</sup>	0.34 <sup>0.00</sup>	0.04 <sup>0.00</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.01</sup>	0.04 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.44 <sup>n=2</sup>	97.01 <sup>n=9</sup>	96.01 <sup>n=3</sup>	97.47 <sup>n=3</sup>	99.76 <sup>n=10</sup>	95.28 <sup>n=2</sup>	99.31 <sup>n=4</sup>	96.69 <sup>n=7</sup>	96.28 <sup>n=5</sup>	97.25 <sup>n=1</sup>	95.56 <sup>n=1</sup>
<b>SDM</b>	20	15	20	20	15	20	15	15	20	15	15

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	17.976c SD	18.496a SD	18.496b SD	18,538 SD	19.282a SD	19.282b SD	20.149a SD	20.149b SD	20,269 SD	20,678 SD
SiO <sub>2</sub>	60.17 <sup>0.53</sup>	63.01 <sup>0.10</sup>	59.62 <sup>0.93</sup>	59.35 <sup>0.00</sup>	59.76 <sup>1.34</sup>	51.04 <sup>1.79</sup>	51.73 <sup>0.34</sup>	59.71 <sup>0.71</sup>	62.21 <sup>0.68</sup>	51.52 <sup>0.35</sup>
TiO <sub>2</sub>	1.05 <sup>0.05</sup>	0.16 <sup>0.01</sup>	0.39 <sup>0.02</sup>	0.35 <sup>0.00</sup>	0.34 <sup>0.06</sup>	1.18 <sup>0.28</sup>	1.59 <sup>0.04</sup>	0.44 <sup>0.09</sup>	0.47 <sup>0.03</sup>	1.40 <sup>0.04</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.47 <sup>0.11</sup>	19.46 <sup>0.07</sup>	18.04 <sup>0.16</sup>	16.60 <sup>0.00</sup>	17.95 <sup>0.44</sup>	16.42 <sup>1.35</sup>	16.88 <sup>0.04</sup>	18.19 <sup>0.13</sup>	17.69 <sup>0.27</sup>	16.90 <sup>0.11</sup>
FeOt	1.64 <sup>0.03</sup>	0.57 <sup>0.12</sup>	3.30 <sup>0.13</sup>	2.61 <sup>0.00</sup>	2.95 <sup>0.50</sup>	7.87 <sup>1.28</sup>	8.33 <sup>0.14</sup>	2.82 <sup>0.34</sup>	2.84 <sup>0.13</sup>	8.12 <sup>0.23</sup>
MnO	0.03 <sup>0.01</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.11 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.17 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.01</sup>	0.15 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.08</sup>	0.36 <sup>0.04</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>
MgO	0.17 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.72 <sup>0.14</sup>	0.50 <sup>0.00</sup>	0.38 <sup>0.18</sup>	3.10 <sup>0.64</sup>	3.00 <sup>0.09</sup>	0.52 <sup>0.18</sup>	0.25 <sup>0.01</sup>	3.03 <sup>0.07</sup>
CaO	4.74 <sup>0.11</sup>	1.52 <sup>0.10</sup>	2.48 <sup>0.12</sup>	2.13 <sup>0.00</sup>	2.95 <sup>0.61</sup>	7.08 <sup>1.09</sup>	6.79 <sup>0.18</sup>	1.72 <sup>0.75</sup>	1.04 <sup>0.05</sup>	6.41 <sup>0.11</sup>
Na <sub>2</sub> O	5.86 <sup>0.06</sup>	4.11 <sup>0.56</sup>	3.28 <sup>0.57</sup>	3.63 <sup>0.00</sup>	4.13 <sup>0.41</sup>	3.03 <sup>0.50</sup>	4.05 <sup>0.06</sup>	5.03 <sup>1.21</sup>	6.99 <sup>0.31</sup>	3.16 <sup>0.07</sup>
K <sub>2</sub> O	2.57 <sup>0.17</sup>	8.83 <sup>0.66</sup>	8.97 <sup>0.49</sup>	7.31 <sup>0.00</sup>	7.65 <sup>0.27</sup>	5.66 <sup>0.57</sup>	4.34 <sup>0.10</sup>	7.43 <sup>1.07</sup>	5.65 <sup>0.17</sup>	5.84 <sup>0.13</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.51 <sup>0.33</sup>	0.06 <sup>0.03</sup>	0.19 <sup>0.04</sup>	0.10 <sup>0.00</sup>	0.06 <sup>0.04</sup>	0.94 <sup>0.30</sup>	0.58 <sup>0.02</sup>	0.10 <sup>0.05</sup>	0.02 <sup>0.01</sup>	0.86 <sup>0.08</sup>
Cl	0.19 <sup>0.08</sup>	0.06 <sup>0.04</sup>	0.38 <sup>0.12</sup>	0.51 <sup>0.00</sup>	0.60 <sup>0.07</sup>	0.26 <sup>0.07</sup>	0.18 <sup>0.01</sup>	0.43 <sup>0.13</sup>	0.75 <sup>0.07</sup>	0.26 <sup>0.02</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.20 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.34 <sup>n=2</sup>	97.81 <sup>n=2</sup>	97.37 <sup>n=4</sup>	93.09 <sup>n=1</sup>	96.82 <sup>n=14</sup>	96.67 <sup>n=8</sup>	97.56 <sup>n=2</sup>	96.46 <sup>n=3</sup>	98.19 <sup>n=6</sup>	97.57 <sup>n=12</sup>
<b>SDM</b>	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Probe	22,621 SD	23,930 SD	25,926 SD	25,985 SD	26.132a SD	26.132b SD	26,537 SD	26,788 SD	27.706a SD	27.706b SD
SiO <sub>2</sub>	55.73 <sup>0.59</sup>	59.93 <sup>0.74</sup>	48.31 <sup>0.68</sup>	46.89 <sup>0.57</sup>	50.23 <sup>1.62</sup>	60.53 <sup>0.17</sup>	57.06 <sup>1.13</sup>	56.27 <sup>0.62</sup>	43.31 <sup>0.00</sup>	45.83 <sup>0.00</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.53 <sup>0.04</sup>	0.36 <sup>0.03</sup>	0.90 <sup>0.07</sup>	0.90 <sup>0.08</sup>	0.75 <sup>0.08</sup>	0.35 <sup>0.01</sup>	0.50 <sup>0.09</sup>	0.48 <sup>0.06</sup>	1.04 <sup>0.00</sup>	0.88 <sup>0.00</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.41 <sup>0.35</sup>	17.69 <sup>0.21</sup>	19.06 <sup>0.50</sup>	18.70 <sup>0.51</sup>	18.26 <sup>0.80</sup>	17.95 <sup>0.02</sup>	18.82 <sup>0.38</sup>	18.92 <sup>0.29</sup>	17.52 <sup>0.00</sup>	18.51 <sup>0.00</sup>
FeOt	5.31 <sup>0.32</sup>	3.15 <sup>0.28</sup>	7.29 <sup>0.79</sup>	7.05 <sup>0.52</sup>	6.77 <sup>0.54</sup>	3.13 <sup>0.02</sup>	3.47 <sup>0.38</sup>	3.52 <sup>0.30</sup>	9.37 <sup>0.00</sup>	8.05 <sup>0.00</sup>
MnO	0.15 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.19 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>	0.07 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.02</sup>	0.24 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.00</sup>
MgO	1.27 <sup>0.07</sup>	0.59 <sup>0.14</sup>	1.91 <sup>0.27</sup>	2.55 <sup>0.53</sup>	1.77 <sup>0.28</sup>	0.58 <sup>0.00</sup>	0.51 <sup>0.15</sup>	0.53 <sup>0.13</sup>	3.38 <sup>0.00</sup>	2.22 <sup>0.00</sup>
CaO	3.84 <sup>0.17</sup>	2.11 <sup>0.21</sup>	8.01 <sup>0.60</sup>	10.15 <sup>1.02</sup>	6.83 <sup>1.13</sup>	2.02 <sup>0.03</sup>	4.12 <sup>0.45</sup>	4.13 <sup>0.83</sup>	11.75 <sup>0.00</sup>	9.55 <sup>0.00</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.59 <sup>0.13</sup>	3.71 <sup>0.41</sup>	4.16 <sup>0.51</sup>	3.41 <sup>0.42</sup>	3.50 <sup>0.39</sup>	3.84 <sup>0.02</sup>	3.62 <sup>0.55</sup>	3.27 <sup>0.45</sup>	4.30 <sup>0.00</sup>	3.19 <sup>0.00</sup>
K <sub>2</sub> O	7.16 <sup>0.32</sup>	8.05 <sup>0.53</sup>	5.72 <sup>0.60</sup>	6.24 <sup>0.70</sup>	6.39 <sup>0.57</sup>	8.32 <sup>0.08</sup>	8.39 <sup>0.19</sup>	8.24 <sup>0.35</sup>	5.23 <sup>0.00</sup>	8.88 <sup>0.00</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32 <sup>0.05</sup>	0.11 <sup>0.05</sup>	0.40 <sup>0.09</sup>	0.68 <sup>0.38</sup>	0.68 <sup>0.96</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.10 <sup>0.03</sup>	0.10 <sup>0.03</sup>	0.65 <sup>0.00</sup>	0.47 <sup>0.00</sup>
Cl	0.47 <sup>0.01</sup>	0.50 <sup>0.10</sup>	0.70 <sup>0.12</sup>	0.61 <sup>0.07</sup>	0.53 <sup>0.10</sup>	0.38 <sup>0.02</sup>	0.51 <sup>0.05</sup>	0.48 <sup>0.07</sup>	0.17 <sup>0.00</sup>	0.08 <sup>0.00</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.18 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.66 <sup>n=5</sup>	96.20 <sup>n=20</sup>	96.49 <sup>n=12</sup>	97.19 <sup>n=10</sup>	95.76 <sup>n=12</sup>	97.14 <sup>n=2</sup>	97.13 <sup>n=7</sup>	95.95 <sup>n=6</sup>	97.03 <sup>n=1</sup>	97.80 <sup>n=1</sup>
<b>SDM</b>	20	20	20	20	20	20	15	20	20	20

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	27.706c SD	29.693a SD	29.693b SD	29,870 SD	29.902a SD	29.902b SD	30,671 SD	30.865a SD	30.865b SD	30.922a SD
SiO <sub>2</sub>	48.44 1.06	51.96 0.88	48.44 0.00	48.86 1.48	49.45 0.20	52.37 0.00	61.02 0.82	63.28 0.36	65.40 0.05	62.31 0.67
TiO <sub>2</sub>	0.56 0.06	0.74 0.12	1.09 0.00	0.90 0.10	0.83 0.04	0.61 0.00	0.53 0.04	0.50 0.03	0.10 0.01	0.48 0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.14 0.35	18.21 0.88	15.76 0.00	17.73 0.66	18.17 0.19	18.22 0.00	18.21 0.19	18.72 0.12	19.46 0.09	18.56 0.29
FeOt	4.50 0.42	6.74 0.78	8.56 0.00	7.24 0.42	6.71 0.07	6.21 0.00	2.32 0.20	2.39 0.11	0.35 0.01	2.18 0.28
MnO	0.20 0.02	0.17 0.03	0.16 0.00	0.16 0.02	0.14 0.02	0.14 0.00	0.20 0.04	0.21 0.03	0.02 0.01	0.19 0.03
MgO	0.66 0.18	1.74 0.36	3.77 0.00	3.81 0.85	3.30 0.07	1.79 0.00	0.29 0.03	0.26 0.02	0.00 0.00	0.25 0.03
CaO	6.24 0.64	7.35 0.59	11.61 0.00	9.24 1.45	8.45 0.12	6.29 0.00	1.35 0.14	1.20 0.05	1.05 0.14	1.29 0.14
Na <sub>2</sub> O	5.51 0.63	2.88 0.17	2.04 0.00	2.51 0.23	2.53 0.05	3.08 0.00	5.72 0.29	6.52 0.13	5.72 0.12	6.42 0.31
K <sub>2</sub> O	8.69 0.56	6.52 0.63	4.56 0.00	5.67 0.52	5.72 0.11	6.59 0.00	6.41 0.25	6.09 0.11	7.70 0.26	6.30 0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13 0.05	0.52 0.47	0.36 0.00	0.68 0.07	0.70 0.04	0.31 0.00	0.04 0.02	0.04 0.03	0.01 0.01	0.04 0.01
Cl	0.18 0.03	0.60 0.06	0.41 0.00	0.47 0.05	0.46 0.02	0.59 0.00	0.56 0.10	0.65 0.04	0.00 0.00	0.55 0.22
F	0.14 0.08	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.01 0.03	0.00 0.00	0.00 0.00
<b>Summe</b>	96.30 n=3	97.29 n=12	96.67 n=1	97.17 n=11	96.37 n=13	96.07 n=1	96.52 n=10	99.72 n=10	99.78 n=2	98.46 n=8
<b>SDM</b>	20	15	15	20	20	20	20	15	15	20

Probe	30.922b SD	30,950 SD	31,393 SD	32.970a SD	32.970b SD	33,040 SD	33,140 SD	33,256 SD	33.560a SD	33.560b SD
SiO <sub>2</sub>	64.04 0.00	61.44 0.59	62.77 1.03	61.32 0.69	59.30 0.00	60.20 0.82	59.52 0.40	59.72 0.74	59.66 0.76	58.59 0.00
TiO <sub>2</sub>	0.17 0.00	0.47 0.04	0.38 0.10	0.42 0.02	0.43 0.00	0.40 0.03	0.44 0.02	0.42 0.02	0.44 0.02	0.49 0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.90 0.00	18.07 0.21	17.16 0.82	19.02 0.29	18.87 0.00	18.70 0.26	18.58 0.17	18.51 0.28	18.86 0.23	18.50 0.00
FeOt	0.58 0.00	2.54 0.33	2.19 0.37	2.90 0.09	3.16 0.00	2.66 0.26	2.96 0.21	2.82 0.04	2.95 0.09	3.70 0.00
MnO	0.03 0.00	0.24 0.07	0.13 0.04	0.24 0.02	0.17 0.00	0.22 0.03	0.23 0.02	0.24 0.02	0.26 0.01	0.15 0.00
MgO	0.00 0.00	0.29 0.06	0.25 0.08	0.35 0.02	0.51 0.00	0.31 0.03	0.37 0.06	0.34 0.01	0.32 0.01	1.00 0.00
CaO	1.49 0.00	1.04 0.26	2.49 0.53	1.73 0.07	2.28 0.00	1.76 0.10	1.71 0.10	1.70 0.03	1.68 0.04	3.04 0.00
Na <sub>2</sub> O	5.94 0.00	6.56 0.80	3.34 0.20	5.48 0.61	4.83 0.00	5.80 0.16	5.87 0.30	5.79 0.20	6.34 0.19	3.93 0.00
K <sub>2</sub> O	7.14 0.00	5.94 0.37	7.59 0.89	6.81 0.30	8.63 0.00	7.14 0.23	7.28 0.13	6.91 0.14	6.89 0.12	8.27 0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00 0.00	0.04 0.01	0.03 0.02	0.04 0.02	0.09 0.00	0.04 0.02	0.05 0.03	0.05 0.03	0.04 0.02	0.17 0.00
Cl	0.02 0.00	0.66 0.12	0.47 0.08	0.78 0.05	0.60 0.00	0.70 0.07	0.73 0.04	0.71 0.02	0.82 0.02	0.39 0.00
F	0.00 0.00	0.04 0.12	0.00 0.00	0.22 0.16	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.04 0.03	0.00 0.00
<b>Summe</b>	99.31 n=1	97.15 n=10	96.69 n=9	99.06 n=37	98.73 n=1	97.76 n=10	97.56 n=6	97.04 n=6	98.08 n=13	98.14 n=1
<b>SDM</b>	20	20	15	15	15	20	20	20	20	20

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	33,783 SD	34,140 SD	34,676 SD	34,800 SD	35,030 SD	35,055 SD	35,075 SD	36,367 SD	36,754 SD	36,765 SD	37,620 SD
SiO <sub>2</sub>	63.24 <sup>0.46</sup>	62.14 <sup>0.43</sup>	60.83 <sup>0.31</sup>	58.30 <sup>0.56</sup>	61.01 <sup>0.60</sup>	61.55 <sup>0.82</sup>	61.85 <sup>0.63</sup>	55.56 <sup>0.99</sup>	58.73 <sup>0.56</sup>	57.68 <sup>0.38</sup>	62.04 <sup>0.43</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.48 <sup>0.02</sup>	0.50 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.38 <sup>0.02</sup>	0.48 <sup>0.04</sup>	0.49 <sup>0.06</sup>	0.48 <sup>0.02</sup>	0.55 <sup>0.09</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.45 <sup>0.02</sup>	0.48 <sup>0.03</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.31 <sup>0.17</sup>	18.99 <sup>0.12</sup>	19.29 <sup>0.13</sup>	18.29 <sup>0.24</sup>	18.28 <sup>0.24</sup>	18.43 <sup>0.23</sup>	18.56 <sup>0.29</sup>	18.34 <sup>1.91</sup>	19.08 <sup>0.20</sup>	18.95 <sup>0.12</sup>	18.31 <sup>0.16</sup>
FeOt	2.42 <sup>0.10</sup>	2.22 <sup>0.07</sup>	3.27 <sup>0.18</sup>	3.17 <sup>0.15</sup>	2.35 <sup>0.23</sup>	2.47 <sup>0.44</sup>	2.44 <sup>0.31</sup>	5.19 <sup>0.97</sup>	3.18 <sup>0.14</sup>	3.34 <sup>0.18</sup>	2.37 <sup>0.06</sup>
MnO	0.18 <sup>0.03</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.30 <sup>0.04</sup>	0.27 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.26 <sup>0.03</sup>	0.24 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>
MgO	0.33 <sup>0.04</sup>	0.27 <sup>0.01</sup>	0.27 <sup>0.02</sup>	0.27 <sup>0.00</sup>	0.33 <sup>0.07</sup>	0.36 <sup>0.16</sup>	0.30 <sup>0.03</sup>	1.59 <sup>0.56</sup>	0.34 <sup>0.04</sup>	0.52 <sup>0.08</sup>	0.32 <sup>0.02</sup>
CaO	1.40 <sup>0.08</sup>	1.31 <sup>0.04</sup>	1.67 <sup>0.17</sup>	1.59 <sup>0.09</sup>	1.36 <sup>0.08</sup>	1.49 <sup>0.26</sup>	1.42 <sup>0.17</sup>	6.20 <sup>1.14</sup>	1.89 <sup>0.11</sup>	2.27 <sup>0.15</sup>	1.37 <sup>0.03</sup>
Na <sub>2</sub> O	5.41 <sup>0.38</sup>	6.01 <sup>0.32</sup>	7.05 <sup>0.22</sup>	6.69 <sup>0.53</sup>	5.58 <sup>0.33</sup>	5.71 <sup>0.27</sup>	5.81 <sup>0.33</sup>	2.99 <sup>0.13</sup>	6.12 <sup>0.17</sup>	5.86 <sup>0.13</sup>	5.91 <sup>0.27</sup>
K <sub>2</sub> O	6.54 <sup>0.32</sup>	6.57 <sup>0.16</sup>	6.27 <sup>0.20</sup>	6.07 <sup>0.21</sup>	6.74 <sup>0.19</sup>	6.94 <sup>0.19</sup>	6.86 <sup>0.22</sup>	5.84 <sup>0.92</sup>	7.33 <sup>0.17</sup>	7.21 <sup>0.09</sup>	6.46 <sup>0.18</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.01</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.07 <sup>0.06</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.49 <sup>0.41</sup>	0.05 <sup>0.02</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>
Cl	0.56 <sup>0.07</sup>	0.61 <sup>0.03</sup>	0.87 <sup>0.07</sup>	0.79 <sup>0.02</sup>	0.57 <sup>0.04</sup>	0.54 <sup>0.03</sup>	0.58 <sup>0.06</sup>	0.43 <sup>0.08</sup>	0.93 <sup>0.27</sup>	0.82 <sup>0.03</sup>	0.57 <sup>0.02</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.21 <sup>0.11</sup>	0.01 <sup>0.01</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.01</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.79 <sup>n=11</sup>	98.70 <sup>n=12</sup>	100.20 <sup>n=12</sup>	95.64 <sup>n=2</sup>	96.80 <sup>n=8</sup>	98.10 <sup>n=10</sup>	98.38 <sup>n=11</sup>	97.22 <sup>n=7</sup>	98.13 <sup>n=12</sup>	97.26 <sup>n=9</sup>	97.90 <sup>n=9</sup>
<b>SDM</b>	15	15	15	20	20	20	20	15	20	20	15

Probe	37,669 SD	37,703 SD	37,718a SD	37,718b SD	37,891 SD	38,131 SD	39,478 SD	42,031 SD	42,067 SD	42,656 SD	43,509 SD
SiO <sub>2</sub>	60.81 <sup>0.75</sup>	62.68 <sup>0.93</sup>	62.19 <sup>0.56</sup>	59.53 <sup>0.00</sup>	63.14 <sup>0.53</sup>	62.06 <sup>0.86</sup>	59.66 <sup>0.34</sup>	58.10 <sup>1.11</sup>	59.58 <sup>0.59</sup>	60.76 <sup>0.64</sup>	56.39 <sup>1.16</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.44 <sup>0.04</sup>	0.41 <sup>0.20</sup>	0.51 <sup>0.04</sup>	0.56 <sup>0.00</sup>	0.50 <sup>0.04</sup>	0.46 <sup>0.08</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.45 <sup>0.03</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.03</sup>	0.57 <sup>0.07</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.36 <sup>0.17</sup>	18.73 <sup>0.43</sup>	18.65 <sup>0.28</sup>	18.95 <sup>0.00</sup>	18.85 <sup>0.13</sup>	18.42 <sup>0.28</sup>	18.79 <sup>0.14</sup>	18.83 <sup>0.23</sup>	19.23 <sup>0.23</sup>	19.63 <sup>0.20</sup>	17.19 <sup>1.26</sup>
FeOt	2.33 <sup>0.21</sup>	1.86 <sup>0.80</sup>	2.67 <sup>0.36</sup>	3.95 <sup>0.00</sup>	2.38 <sup>0.07</sup>	2.42 <sup>0.49</sup>	3.15 <sup>0.12</sup>	3.45 <sup>0.41</sup>	3.20 <sup>0.09</sup>	3.16 <sup>0.37</sup>	5.39 <sup>0.74</sup>
MnO	0.16 <sup>0.04</sup>	0.11 <sup>0.06</sup>	0.19 <sup>0.05</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.13 <sup>0.07</sup>	0.25 <sup>0.02</sup>	0.22 <sup>0.02</sup>	0.26 <sup>0.02</sup>	0.24 <sup>0.05</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>
MgO	0.35 <sup>0.09</sup>	0.25 <sup>0.14</sup>	0.40 <sup>0.06</sup>	0.97 <sup>0.00</sup>	0.27 <sup>0.02</sup>	0.38 <sup>0.14</sup>	0.35 <sup>0.02</sup>	0.66 <sup>0.35</sup>	0.34 <sup>0.01</sup>	0.32 <sup>0.05</sup>	1.92 <sup>0.49</sup>
CaO	1.46 <sup>0.16</sup>	1.42 <sup>0.16</sup>	1.48 <sup>0.13</sup>	2.68 <sup>0.00</sup>	1.26 <sup>0.05</sup>	1.49 <sup>0.23</sup>	1.79 <sup>0.04</sup>	2.39 <sup>0.58</sup>	1.88 <sup>0.03</sup>	1.96 <sup>0.31</sup>	6.29 <sup>1.09</sup>
Na <sub>2</sub> O	5.37 <sup>0.53</sup>	5.35 <sup>0.48</sup>	5.83 <sup>0.32</sup>	4.43 <sup>0.00</sup>	6.29 <sup>0.23</sup>	5.54 <sup>0.78</sup>	6.16 <sup>0.23</sup>	5.91 <sup>0.23</sup>	6.26 <sup>0.14</sup>	6.19 <sup>0.14</sup>	2.84 <sup>0.14</sup>
K <sub>2</sub> O	6.96 <sup>0.46</sup>	6.66 <sup>0.86</sup>	6.34 <sup>0.20</sup>	7.32 <sup>0.00</sup>	6.21 <sup>0.27</sup>	6.68 <sup>0.68</sup>	6.84 <sup>0.09</sup>	6.56 <sup>0.13</sup>	6.86 <sup>0.16</sup>	7.00 <sup>0.35</sup>	6.15 <sup>0.82</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06 <sup>0.03</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.07 <sup>0.03</sup>	0.21 <sup>0.00</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.08 <sup>0.04</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.09</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.05 <sup>0.01</sup>	0.59 <sup>0.39</sup>
Cl	0.46 <sup>0.10</sup>	0.36 <sup>0.21</sup>	0.58 <sup>0.10</sup>	0.29 <sup>0.00</sup>	0.65 <sup>0.02</sup>	0.42 <sup>0.17</sup>	0.85 <sup>0.04</sup>	0.79 <sup>0.04</sup>	0.85 <sup>0.04</sup>	0.82 <sup>0.18</sup>	0.46 <sup>0.08</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.04 <sup>0.04</sup>	0.04 <sup>0.05</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.65 <sup>n=8</sup>	97.80 <sup>n=9</sup>	98.78 <sup>n=8</sup>	98.93 <sup>n=1</sup>	99.62 <sup>n=12</sup>	98.00 <sup>n=11</sup>	98.11 <sup>n=12</sup>	97.31 <sup>n=5</sup>	98.76 <sup>n=10</sup>	100.41 <sup>n=11</sup>	97.81 <sup>n=7</sup>
<b>SDM</b>	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	44,310 SD	45,606 SD	45,828 SD	46,457 SD	46,512 SD	46,559 SD	48,145 SD	49,726 SD	49,777 SD	50,926 SD	51,811 SD
SiO <sub>2</sub>	60.35 <sup>0.80</sup>	59.60 <sup>0.32</sup>	54.67 <sup>0.91</sup>	62.42 <sup>0.52</sup>	61.26 <sup>0.64</sup>	61.97 <sup>1.50</sup>	58.38 <sup>0.54</sup>	58.84 <sup>0.40</sup>	59.22 <sup>0.36</sup>	62.61 <sup>0.35</sup>	60.79 <sup>0.79</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.42 <sup>0.15</sup>	0.40 <sup>0.02</sup>	0.59 <sup>0.05</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.47 <sup>0.03</sup>	0.41 <sup>0.14</sup>	0.40 <sup>0.04</sup>	0.42 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.42 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.05</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.42 <sup>1.02</sup>	18.93 <sup>0.10</sup>	17.59 <sup>0.41</sup>	18.41 <sup>0.07</sup>	18.18 <sup>0.25</sup>	18.43 <sup>0.41</sup>	18.68 <sup>0.19</sup>	18.94 <sup>0.15</sup>	19.16 <sup>0.09</sup>	18.74 <sup>0.20</sup>	18.22 <sup>0.38</sup>
FeOt	3.09 <sup>1.20</sup>	3.13 <sup>0.09</sup>	5.00 <sup>0.46</sup>	2.26 <sup>0.04</sup>	2.30 <sup>0.13</sup>	1.98 <sup>0.73</sup>	3.17 <sup>0.31</sup>	3.28 <sup>0.12</sup>	3.35 <sup>0.10</sup>	2.31 <sup>0.09</sup>	2.55 <sup>0.44</sup>
MnO	0.14 <sup>0.06</sup>	0.22 <sup>0.02</sup>	0.19 <sup>0.03</sup>	0.18 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.05</sup>	0.20 <sup>0.03</sup>	0.23 <sup>0.02</sup>	0.23 <sup>0.02</sup>	0.38 <sup>0.01</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>
MgO	0.39 <sup>0.20</sup>	0.39 <sup>0.01</sup>	1.52 <sup>0.33</sup>	0.25 <sup>0.02</sup>	0.27 <sup>0.03</sup>	0.23 <sup>0.10</sup>	0.38 <sup>0.05</sup>	0.40 <sup>0.01</sup>	0.42 <sup>0.02</sup>	0.38 <sup>0.01</sup>	0.40 <sup>0.20</sup>
CaO	2.82 <sup>0.51</sup>	2.04 <sup>0.05</sup>	4.10 <sup>0.51</sup>	1.26 <sup>0.05</sup>	1.38 <sup>0.13</sup>	1.30 <sup>0.21</sup>	2.03 <sup>0.13</sup>	2.09 <sup>0.06</sup>	2.11 <sup>0.04</sup>	1.46 <sup>0.02</sup>	1.59 <sup>0.47</sup>
Na <sub>2</sub> O	2.89 <sup>0.17</sup>	5.53 <sup>0.52</sup>	4.37 <sup>0.40</sup>	5.35 <sup>0.24</sup>	5.89 <sup>0.30</sup>	5.62 <sup>0.54</sup>	5.70 <sup>0.28</sup>	5.75 <sup>0.17</sup>	5.89 <sup>0.14</sup>	4.21 <sup>0.33</sup>	5.61 <sup>0.36</sup>
K <sub>2</sub> O	8.03 <sup>1.19</sup>	7.45 <sup>0.13</sup>	6.91 <sup>0.25</sup>	5.96 <sup>0.32</sup>	6.03 <sup>0.33</sup>	6.51 <sup>1.11</sup>	7.46 <sup>0.19</sup>	7.47 <sup>0.11</sup>	7.54 <sup>0.14</sup>	6.53 <sup>0.22</sup>	6.54 <sup>0.52</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09 <sup>0.05</sup>	0.05 <sup>0.02</sup>	0.34 <sup>0.09</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.04 <sup>0.01</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.06 <sup>0.02</sup>	0.08 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.02</sup>	0.07 <sup>0.06</sup>
Cl	0.67 <sup>0.30</sup>	0.81 <sup>0.02</sup>	0.64 <sup>0.04</sup>	0.65 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.07</sup>	0.52 <sup>0.22</sup>	0.76 <sup>0.09</sup>	0.82 <sup>0.05</sup>	0.82 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.05</sup>	0.44 <sup>0.09</sup>
F	0.18 <sup>0.08</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.26 <sup>n=7</sup>	98.36 <sup>n=9</sup>	95.75 <sup>n=12</sup>	97.07 <sup>n=3</sup>	96.44 <sup>n=6</sup>	97.03 <sup>n=13</sup>	97.04 <sup>n=13</sup>	98.11 <sup>n=13</sup>	99.09 <sup>n=11</sup>	97.51 <sup>n=6</sup>	96.70 <sup>n=12</sup>
<b>SDM</b>	15	15	20	15	15	15	15	15	15	15	15

Probe	53,486 SD	55,000 SD	56,252 SD	56,432 SD	57,568 SD	60,244 SD	60,333 SD	60,667 SD	64,816 SD	65,660 SD	65,714 SD
SiO <sub>2</sub>	59.23 <sup>0.54</sup>	60.55 <sup>0.60</sup>	62.34 <sup>0.71</sup>	57.85 <sup>0.17</sup>	61.48 <sup>1.26</sup>	61.70 <sup>0.90</sup>	62.64 <sup>0.37</sup>	62.59 <sup>0.45</sup>	58.72 <sup>0.47</sup>	58.30 <sup>0.69</sup>	58.67 <sup>0.49</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.41 <sup>0.04</sup>	0.47 <sup>0.03</sup>	0.57 <sup>0.04</sup>	0.42 <sup>0.03</sup>	0.54 <sup>0.11</sup>	0.59 <sup>0.05</sup>	0.59 <sup>0.02</sup>	0.58 <sup>0.04</sup>	0.45 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.05</sup>	0.45 <sup>0.02</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.82 <sup>0.35</sup>	18.23 <sup>0.13</sup>	18.84 <sup>0.29</sup>	19.49 <sup>0.15</sup>	18.70 <sup>0.25</sup>	18.60 <sup>0.26</sup>	18.94 <sup>0.19</sup>	18.96 <sup>0.11</sup>	18.26 <sup>0.22</sup>	18.20 <sup>0.41</sup>	18.24 <sup>0.18</sup>
FeOt	3.58 <sup>0.41</sup>	2.59 <sup>0.27</sup>	2.64 <sup>0.10</sup>	3.85 <sup>0.16</sup>	2.61 <sup>0.56</sup>	2.84 <sup>0.37</sup>	2.63 <sup>0.11</sup>	2.61 <sup>0.20</sup>	3.06 <sup>0.08</sup>	3.02 <sup>0.28</sup>	3.12 <sup>0.08</sup>
MnO	0.27 <sup>0.05</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.28 <sup>0.07</sup>	0.28 <sup>0.03</sup>	0.23 <sup>0.05</sup>	0.24 <sup>0.03</sup>	0.25 <sup>0.03</sup>	0.24 <sup>0.04</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.01</sup>
MgO	0.33 <sup>0.08</sup>	0.44 <sup>0.11</sup>	0.35 <sup>0.06</sup>	0.34 <sup>0.03</sup>	0.36 <sup>0.13</sup>	0.41 <sup>0.17</sup>	0.34 <sup>0.02</sup>	0.33 <sup>0.04</sup>	0.50 <sup>0.04</sup>	0.51 <sup>0.06</sup>	0.53 <sup>0.02</sup>
CaO	2.23 <sup>0.28</sup>	1.51 <sup>0.21</sup>	1.15 <sup>0.10</sup>	2.18 <sup>0.05</sup>	1.17 <sup>0.27</sup>	1.23 <sup>0.39</sup>	1.13 <sup>0.11</sup>	1.02 <sup>0.18</sup>	2.17 <sup>0.14</sup>	2.33 <sup>0.44</sup>	2.17 <sup>0.05</sup>
Na <sub>2</sub> O	6.31 <sup>0.46</sup>	5.43 <sup>0.25</sup>	6.72 <sup>0.46</sup>	6.38 <sup>0.16</sup>	6.50 <sup>0.50</sup>	6.71 <sup>0.51</sup>	6.64 <sup>0.29</sup>	6.88 <sup>0.34</sup>	4.69 <sup>0.34</sup>	4.46 <sup>0.18</sup>	4.48 <sup>0.18</sup>
K <sub>2</sub> O	7.09 <sup>0.43</sup>	6.70 <sup>0.29</sup>	5.86 <sup>0.30</sup>	7.23 <sup>0.07</sup>	6.20 <sup>0.53</sup>	6.06 <sup>0.28</sup>	5.88 <sup>0.30</sup>	5.95 <sup>0.18</sup>	7.99 <sup>0.30</sup>	8.12 <sup>0.45</sup>	8.08 <sup>0.23</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.04</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.06 <sup>0.04</sup>	0.06 <sup>0.05</sup>	0.04 <sup>0.03</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.10 <sup>0.03</sup>	0.08 <sup>0.02</sup>
Cl	0.87 <sup>0.14</sup>	0.42 <sup>0.06</sup>	0.61 <sup>0.12</sup>	0.91 <sup>0.04</sup>	0.60 <sup>0.14</sup>	0.59 <sup>0.08</sup>	0.61 <sup>0.05</sup>	0.59 <sup>0.07</sup>	0.65 <sup>0.04</sup>	0.62 <sup>0.07</sup>	0.62 <sup>0.02</sup>
F	0.07 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.01</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	100.02 <sup>n=14</sup>	96.48 <sup>n=9</sup>	99.27 <sup>n=24</sup>	98.83 <sup>n=8</sup>	98.31 <sup>n=18</sup>	98.90 <sup>n=13</sup>	99.55 <sup>n=15</sup>	99.65 <sup>n=10</sup>	96.61 <sup>n=12</sup>	96.12 <sup>n=9</sup>	96.47 <sup>n=10</sup>
<b>SDM</b>	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20	20

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	65,782 SD	66,564 SD	68,304 SD	69,139 SD	71,548 SD	72.664a SD	72.664b SD	72.664c SD	73,434 SD	73,749 SD
SiO <sub>2</sub>	62.07 <sup>0.30</sup>	58.32 <sup>0.31</sup>	58.25 <sup>0.31</sup>	62.43 <sup>0.29</sup>	59.06 <sup>0.37</sup>	59.86 <sup>0.41</sup>	56.82 <sup>0.25</sup>	63.88 <sup>0.00</sup>	60.91 <sup>0.41</sup>	58.66 <sup>0.66</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.58 <sup>0.02</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.38 <sup>0.04</sup>	0.55 <sup>0.02</sup>	0.40 <sup>0.02</sup>	0.41 <sup>0.02</sup>	0.67 <sup>0.01</sup>	0.20 <sup>0.00</sup>	0.59 <sup>0.05</sup>	0.40 <sup>0.02</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.57 <sup>0.23</sup>	18.01 <sup>0.09</sup>	18.32 <sup>0.15</sup>	19.39 <sup>0.13</sup>	18.19 <sup>0.19</sup>	19.15 <sup>0.15</sup>	18.18 <sup>0.11</sup>	19.18 <sup>0.00</sup>	17.77 <sup>0.00</sup>	18.78 <sup>0.20</sup>
FeOt	2.75 <sup>0.18</sup>	3.17 <sup>0.04</sup>	3.16 <sup>0.17</sup>	2.80 <sup>0.05</sup>	3.01 <sup>0.23</sup>	3.26 <sup>0.17</sup>	5.67 <sup>0.11</sup>	1.12 <sup>0.00</sup>	2.63 <sup>0.02</sup>	3.31 <sup>0.09</sup>
MnO	0.30 <sup>0.04</sup>	0.19 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>	0.31 <sup>0.02</sup>	0.22 <sup>0.03</sup>	0.21 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.01</sup>	0.05 <sup>0.00</sup>	0.23 <sup>0.03</sup>	0.21 <sup>0.02</sup>
MgO	0.35 <sup>0.05</sup>	0.53 <sup>0.04</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.29 <sup>0.01</sup>	0.39 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	1.53 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.00</sup>	0.36 <sup>0.00</sup>	0.48 <sup>0.06</sup>
CaO	1.00 <sup>0.06</sup>	2.15 <sup>0.07</sup>	2.04 <sup>0.07</sup>	1.03 <sup>0.05</sup>	1.85 <sup>0.13</sup>	2.07 <sup>0.08</sup>	3.89 <sup>0.03</sup>	1.25 <sup>0.00</sup>	1.12 <sup>0.01</sup>	2.17 <sup>0.09</sup>
Na <sub>2</sub> O	6.36 <sup>0.30</sup>	4.53 <sup>0.30</sup>	4.61 <sup>0.15</sup>	7.37 <sup>0.21</sup>	5.42 <sup>0.15</sup>	5.85 <sup>0.17</sup>	4.20 <sup>0.07</sup>	5.30 <sup>0.00</sup>	5.39 <sup>0.23</sup>	5.18 <sup>0.21</sup>
K <sub>2</sub> O	5.58 <sup>0.92</sup>	7.98 <sup>0.25</sup>	7.71 <sup>0.05</sup>	5.67 <sup>0.13</sup>	7.36 <sup>0.10</sup>	7.86 <sup>0.19</sup>	7.67 <sup>0.05</sup>	8.04 <sup>0.00</sup>	5.88 <sup>0.00</sup>	8.15 <sup>0.10</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.07 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.06 <sup>0.02</sup>	0.34 <sup>0.01</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.02</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>
Cl	0.71 <sup>0.05</sup>	0.70 <sup>0.07</sup>	0.57 <sup>0.02</sup>	0.74 <sup>0.03</sup>	0.80 <sup>0.04</sup>	0.77 <sup>0.04</sup>	0.48 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.63 <sup>0.00</sup>	0.81 <sup>0.05</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.02 <sup>0.03</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.14 <sup>n=8</sup>	95.93 <sup>n=7</sup>	95.58 <sup>n=3</sup>	100.45 <sup>n=16</sup>	96.58 <sup>n=11</sup>	99.77 <sup>n=12</sup>	99.48 <sup>n=2</sup>	99.29 <sup>n=1</sup>	95.45 <sup>n=2</sup>	98.04 <sup>n=10</sup>
<b>SDM</b>	20	20	20	15	20	15	15	15	20	20

Probe	74.538a SD	74.538b SD	75.611a SD	75.611b SD	75,711 SD	77,182 SD	77,624 SD	78,146 SD	78,823 SD	78,853 SD
SiO <sub>2</sub>	59.07 <sup>0.64</sup>	61.51 <sup>0.83</sup>	59.08 <sup>0.79</sup>	57.13 <sup>0.77</sup>	58.52 <sup>0.69</sup>	61.73 <sup>0.31</sup>	60.75 <sup>1.04</sup>	59.50 <sup>0.17</sup>	63.46 <sup>0.81</sup>	62.92 <sup>0.64</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.68 <sup>0.08</sup>	0.96 <sup>0.05</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.63 <sup>0.02</sup>	0.45 <sup>0.10</sup>	0.58 <sup>0.07</sup>	0.52 <sup>0.03</sup>	0.55 <sup>0.01</sup>	0.59 <sup>0.03</sup>	0.54 <sup>0.11</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.21 <sup>0.87</sup>	15.48 <sup>0.21</sup>	18.89 <sup>0.10</sup>	18.21 <sup>0.24</sup>	18.84 <sup>0.33</sup>	18.35 <sup>0.34</sup>	18.90 <sup>0.68</sup>	18.68 <sup>0.12</sup>	19.31 <sup>0.37</sup>	18.91 <sup>0.26</sup>
FeOt	4.16 <sup>0.46</sup>	5.22 <sup>0.29</sup>	3.66 <sup>0.14</sup>	5.62 <sup>0.13</sup>	3.07 <sup>1.11</sup>	2.96 <sup>0.30</sup>	2.74 <sup>0.38</sup>	2.38 <sup>0.02</sup>	2.86 <sup>0.09</sup>	2.49 <sup>0.70</sup>
MnO	0.10 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.20 <sup>0.03</sup>	0.18 <sup>0.01</sup>	0.15 <sup>0.05</sup>	0.23 <sup>0.06</sup>	0.18 <sup>0.04</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.22 <sup>0.03</sup>	0.19 <sup>0.08</sup>
MgO	1.22 <sup>0.36</sup>	1.43 <sup>0.22</sup>	0.53 <sup>0.02</sup>	1.47 <sup>0.05</sup>	0.70 <sup>0.31</sup>	0.43 <sup>0.14</sup>	0.55 <sup>0.09</sup>	0.46 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.37 <sup>0.13</sup>
CaO	5.48 <sup>0.78</sup>	3.48 <sup>0.27</sup>	2.15 <sup>0.05</sup>	3.68 <sup>0.12</sup>	2.59 <sup>0.64</sup>	1.17 <sup>0.32</sup>	1.38 <sup>0.27</sup>	1.33 <sup>0.01</sup>	1.32 <sup>0.06</sup>	1.77 <sup>0.78</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.04 <sup>0.21</sup>	3.90 <sup>0.03</sup>	5.43 <sup>0.21</sup>	3.92 <sup>0.10</sup>	4.24 <sup>0.50</sup>	6.67 <sup>0.87</sup>	5.93 <sup>0.47</sup>	6.13 <sup>0.06</sup>	4.25 <sup>0.76</sup>	4.51 <sup>0.94</sup>
K <sub>2</sub> O	2.92 <sup>0.32</sup>	4.00 <sup>0.14</sup>	8.03 <sup>0.09</sup>	7.86 <sup>0.09</sup>	8.28 <sup>0.78</sup>	6.42 <sup>0.56</sup>	6.76 <sup>0.53</sup>	6.22 <sup>0.05</sup>	5.61 <sup>0.58</sup>	5.68 <sup>0.75</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.29 <sup>0.04</sup>	0.39 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.04</sup>	0.37 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.07</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.10 <sup>0.01</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.05 <sup>0.01</sup>
Cl	0.21 <sup>0.02</sup>	0.29 <sup>0.01</sup>	0.85 <sup>0.04</sup>	0.46 <sup>0.01</sup>	0.52 <sup>0.23</sup>	0.47 <sup>0.12</sup>	0.38 <sup>0.08</sup>	0.46 <sup>0.07</sup>	0.50 <sup>0.03</sup>	0.41 <sup>0.17</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.34 <sup>n=5</sup>	96.73 <sup>n=4</sup>	99.13 <sup>n=16</sup>	99.43 <sup>n=3</sup>	97.37 <sup>n=4</sup>	99.00 <sup>n=5</sup>	98.14 <sup>n=5</sup>	95.86 <sup>n=2</sup>	98.52 <sup>n=11</sup>	97.75 <sup>n=7</sup>
<b>SDM</b>	20	20	20	20	15	20	15	15	15	15

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	79,607 SD	79,618 SD	81,887 SD	81,907 SD	81,950 SD	81,965 SD	82,006 SD	82,131 SD	82,257 SD	82,384 SD	82,484 SD
SiO <sub>2</sub>	54.82 <sup>1.05</sup>	58.08 <sup>0.55</sup>	56.45 <sup>0.46</sup>	56.32 <sup>0.32</sup>	59.66 <sup>0.00</sup>	58.77 <sup>0.55</sup>	61.21 <sup>0.58</sup>	58.70 <sup>0.17</sup>	58.71 <sup>0.36</sup>	58.83 <sup>0.33</sup>	57.15 <sup>0.48</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.64 <sup>0.03</sup>	0.46 <sup>0.03</sup>	0.66 <sup>0.02</sup>	0.63 <sup>0.02</sup>	0.33 <sup>0.00</sup>	0.52 <sup>0.05</sup>	0.45 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.40 <sup>0.00</sup>	0.45 <sup>0.00</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.28 <sup>0.37</sup>	18.24 <sup>0.26</sup>	18.07 <sup>0.25</sup>	18.29 <sup>0.12</sup>	19.25 <sup>0.00</sup>	18.26 <sup>0.36</sup>	18.13 <sup>0.28</sup>	18.24 <sup>0.20</sup>	17.76 <sup>0.06</sup>	17.57 <sup>0.17</sup>	17.18 <sup>0.05</sup>
FeOt	5.52 <sup>0.23</sup>	3.95 <sup>0.24</sup>	5.48 <sup>0.15</sup>	4.93 <sup>0.13</sup>	2.07 <sup>0.00</sup>	3.67 <sup>0.72</sup>	3.39 <sup>0.33</sup>	3.30 <sup>0.30</sup>	3.35 <sup>0.03</sup>	3.11 <sup>0.03</sup>	3.15 <sup>0.02</sup>
MnO	0.16 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.18 <sup>0.04</sup>	0.16 <sup>0.04</sup>	0.17 <sup>0.05</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.19 <sup>0.01</sup>
MgO	2.00 <sup>0.44</sup>	0.85 <sup>0.10</sup>	1.55 <sup>0.04</sup>	1.43 <sup>0.07</sup>	0.44 <sup>0.00</sup>	0.91 <sup>0.06</sup>	0.53 <sup>0.04</sup>	0.63 <sup>0.06</sup>	0.58 <sup>0.00</sup>	0.52 <sup>0.00</sup>	0.54 <sup>0.02</sup>
CaO	5.06 <sup>0.78</sup>	2.80 <sup>0.17</sup>	3.94 <sup>0.12</sup>	3.72 <sup>0.06</sup>	2.49 <sup>0.00</sup>	2.58 <sup>0.06</sup>	2.20 <sup>0.14</sup>	2.67 <sup>0.14</sup>	2.30 <sup>0.04</sup>	2.47 <sup>0.16</sup>	2.10 <sup>0.05</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.52 <sup>0.28</sup>	4.24 <sup>0.17</sup>	4.17 <sup>0.19</sup>	4.25 <sup>0.07</sup>	4.82 <sup>0.00</sup>	4.37 <sup>0.03</sup>	4.60 <sup>0.39</sup>	4.38 <sup>0.26</sup>	4.60 <sup>0.16</sup>	4.03 <sup>0.64</sup>	4.53 <sup>0.06</sup>
K <sub>2</sub> O	7.65 <sup>0.24</sup>	8.41 <sup>0.19</sup>	7.59 <sup>0.42</sup>	7.38 <sup>0.35</sup>	6.38 <sup>0.00</sup>	7.20 <sup>0.08</sup>	7.91 <sup>0.74</sup>	8.20 <sup>0.18</sup>	8.09 <sup>0.07</sup>	7.69 <sup>0.01</sup>	7.41 <sup>0.11</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.45 <sup>0.08</sup>	0.18 <sup>0.05</sup>	0.39 <sup>0.06</sup>	0.34 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.00</sup>	0.21 <sup>0.04</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.10 <sup>0.01</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.08 <sup>0.00</sup>	0.09 <sup>0.00</sup>
Cl	0.56 <sup>0.06</sup>	0.64 <sup>0.03</sup>	0.47 <sup>0.03</sup>	0.41 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.00</sup>	0.58 <sup>0.03</sup>	0.10 <sup>0.06</sup>	0.51 <sup>0.04</sup>	0.55 <sup>0.00</sup>	0.50 <sup>0.01</sup>	0.52 <sup>0.02</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	97.53 <sup>n=13</sup>	97.86 <sup>n=15</sup>	98.81 <sup>n=11</sup>	97.73 <sup>n=2</sup>	95.73 <sup>n=1</sup>	97.11 <sup>n=3</sup>	98.77 <sup>n=2</sup>	97.21 <sup>n=4</sup>	96.53 <sup>n=3</sup>	95.23 <sup>n=2</sup>	93.18 <sup>n=2</sup>
<b>SDM</b>	15	15	15	15	15	15	15	20	20	15	15

Probe	82,842 SD	83,059 SD	83.060a SD	83.060b SD	83,107 SD	83,184 SD	83,278 SD	83,689 SD	85,323 SD	85,445 SD	85,485 SD
SiO <sub>2</sub>	60.59 <sup>0.97</sup>	61.14 <sup>0.26</sup>	61.12 <sup>0.31</sup>	57.05 <sup>0.11</sup>	61.02 <sup>0.86</sup>	60.99 <sup>0.00</sup>	61.00 <sup>0.45</sup>	61.69 <sup>0.95</sup>	66.56 <sup>1.27</sup>	61.57 <sup>0.51</sup>	61.48 <sup>1.36</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.39 <sup>0.05</sup>	0.39 <sup>0.03</sup>	0.41 <sup>0.05</sup>	0.93 <sup>0.01</sup>	0.44 <sup>0.01</sup>	0.33 <sup>0.00</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.42 <sup>0.04</sup>	0.61 <sup>0.08</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.41 <sup>0.16</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.32 <sup>0.38</sup>	18.27 <sup>0.06</sup>	17.93 <sup>0.29</sup>	18.38 <sup>0.02</sup>	18.00 <sup>0.39</sup>	18.16 <sup>0.00</sup>	18.05 <sup>0.13</sup>	18.47 <sup>0.25</sup>	14.07 <sup>1.04</sup>	18.01 <sup>0.22</sup>	18.12 <sup>0.66</sup>
FeOt	2.69 <sup>0.40</sup>	2.55 <sup>0.18</sup>	2.76 <sup>0.38</sup>	5.97 <sup>0.08</sup>	2.95 <sup>0.08</sup>	2.24 <sup>0.00</sup>	2.72 <sup>0.11</sup>	2.66 <sup>0.30</sup>	4.84 <sup>0.14</sup>	2.60 <sup>0.12</sup>	2.34 <sup>1.04</sup>
MnO	0.13 <sup>0.03</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.18 <sup>0.05</sup>	0.15 <sup>0.01</sup>	0.18 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.18 <sup>0.02</sup>	0.19 <sup>0.03</sup>	0.24 <sup>0.02</sup>	0.22 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.11</sup>
MgO	0.42 <sup>0.11</sup>	0.40 <sup>0.02</sup>	0.38 <sup>0.07</sup>	1.74 <sup>0.01</sup>	0.43 <sup>0.01</sup>	0.34 <sup>0.00</sup>	0.40 <sup>0.01</sup>	0.40 <sup>0.08</sup>	0.34 <sup>0.07</sup>	0.36 <sup>0.03</sup>	0.30 <sup>0.16</sup>
CaO	2.05 <sup>0.53</sup>	1.89 <sup>0.02</sup>	1.83 <sup>0.15</sup>	4.29 <sup>0.07</sup>	1.76 <sup>0.20</sup>	1.87 <sup>0.00</sup>	1.88 <sup>0.04</sup>	1.82 <sup>0.18</sup>	0.79 <sup>0.19</sup>	1.69 <sup>0.05</sup>	1.60 <sup>0.22</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.29 <sup>0.44</sup>	3.82 <sup>0.38</sup>	4.75 <sup>0.86</sup>	3.96 <sup>0.00</sup>	5.85 <sup>0.51</sup>	3.90 <sup>0.00</sup>	4.44 <sup>0.34</sup>	5.07 <sup>0.57</sup>	5.23 <sup>0.47</sup>	4.94 <sup>0.30</sup>	5.32 <sup>0.37</sup>
K <sub>2</sub> O	7.66 <sup>0.36</sup>	7.14 <sup>0.57</sup>	7.72 <sup>0.42</sup>	7.48 <sup>0.05</sup>	7.58 <sup>0.24</sup>	7.41 <sup>0.00</sup>	7.22 <sup>0.35</sup>	7.43 <sup>0.38</sup>	4.29 <sup>0.20</sup>	6.64 <sup>0.27</sup>	6.82 <sup>0.74</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.06 <sup>0.02</sup>	0.08 <sup>0.02</sup>	0.37 <sup>0.02</sup>	0.07 <sup>0.02</sup>	0.03 <sup>0.00</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.06 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>
Cl	0.47 <sup>0.11</sup>	0.55 <sup>0.04</sup>	0.44 <sup>0.19</sup>	0.35 <sup>0.01</sup>	0.56 <sup>0.01</sup>	0.52 <sup>0.00</sup>	0.57 <sup>0.04</sup>	0.55 <sup>0.11</sup>	0.38 <sup>0.11</sup>	0.71 <sup>0.04</sup>	0.53 <sup>0.28</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.21 <sup>0.05</sup>	0.04 <sup>0.06</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.04</sup>
<b>Summe</b>	96.97 <sup>n=10</sup>	96.39 <sup>n=3</sup>	97.52 <sup>n=5</sup>	100.57 <sup>n=2</sup>	98.72 <sup>n=5</sup>	95.87 <sup>n=1</sup>	96.80 <sup>n=10</sup>	98.61 <sup>n=12</sup>	97.35 <sup>n=10</sup>	97.09 <sup>n=13</sup>	97.02 <sup>n=11</sup>
<b>SDM</b>	15	15	15	15	20	15	15	15	15	15	15



## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	85,568 SD	85,602 SD	87.267a SD	87.267b SD	87,528 SD	87,567 SD	89.127a SD	89.127b SD	89,139 SD	89,144 SD	89,146 SD
SiO <sub>2</sub>	61.90 <sup>0.47</sup>	60.93 <sup>0.61</sup>	60.51 <sup>0.98</sup>	54.43 <sup>0.39</sup>	59.55 <sup>0.81</sup>	59.67 <sup>0.61</sup>	56.35 <sup>0.48</sup>	60.43 <sup>0.00</sup>	52.77 <sup>0.81</sup>	59.90 <sup>1.07</sup>	59.48 <sup>1.22</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.45 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.07</sup>	0.38 <sup>0.03</sup>	0.69 <sup>0.02</sup>	0.36 <sup>0.02</sup>	0.36 <sup>0.05</sup>	0.57 <sup>0.04</sup>	0.38 <sup>0.00</sup>	0.77 <sup>0.03</sup>	0.38 <sup>0.04</sup>	0.43 <sup>0.03</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.02 <sup>0.23</sup>	17.87 <sup>0.20</sup>	18.35 <sup>0.15</sup>	17.85 <sup>0.13</sup>	18.23 <sup>0.28</sup>	18.10 <sup>0.23</sup>	18.27 <sup>0.40</sup>	17.96 <sup>0.00</sup>	18.29 <sup>0.26</sup>	18.57 <sup>0.42</sup>	18.80 <sup>0.42</sup>
FeOt	2.66 <sup>0.16</sup>	2.46 <sup>0.49</sup>	2.92 <sup>0.32</sup>	5.95 <sup>0.41</sup>	2.71 <sup>0.28</sup>	2.79 <sup>0.50</sup>	4.41 <sup>0.31</sup>	2.42 <sup>0.00</sup>	4.62 <sup>0.31</sup>	3.11 <sup>0.64</sup>	3.57 <sup>0.26</sup>
MnO	0.19 <sup>0.02</sup>	0.20 <sup>0.05</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.19 <sup>0.05</sup>	0.16 <sup>0.01</sup>	0.10 <sup>0.00</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.05</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>
MgO	0.35 <sup>0.02</sup>	0.34 <sup>0.09</sup>	0.37 <sup>0.16</sup>	1.82 <sup>0.22</sup>	0.39 <sup>0.10</sup>	0.31 <sup>0.08</sup>	1.36 <sup>0.44</sup>	0.45 <sup>0.00</sup>	2.55 <sup>0.13</sup>	0.56 <sup>0.15</sup>	0.68 <sup>0.12</sup>
CaO	1.64 <sup>0.03</sup>	1.65 <sup>0.06</sup>	2.00 <sup>0.33</sup>	4.53 <sup>0.35</sup>	1.91 <sup>0.34</sup>	1.97 <sup>0.11</sup>	3.66 <sup>0.75</sup>	2.71 <sup>0.00</sup>	5.94 <sup>0.19</sup>	2.36 <sup>0.17</sup>	2.71 <sup>0.24</sup>
Na <sub>2</sub> O	5.12 <sup>0.35</sup>	4.56 <sup>0.18</sup>	5.12 <sup>0.40</sup>	3.64 <sup>0.08</sup>	5.11 <sup>0.92</sup>	4.97 <sup>0.23</sup>	3.47 <sup>0.15</sup>	4.37 <sup>0.00</sup>	3.66 <sup>0.08</sup>	4.32 <sup>0.59</sup>	4.44 <sup>0.21</sup>
K <sub>2</sub> O	6.80 <sup>0.45</sup>	6.43 <sup>0.67</sup>	7.28 <sup>0.40</sup>	6.77 <sup>0.21</sup>	7.50 <sup>0.38</sup>	6.91 <sup>0.41</sup>	6.92 <sup>0.35</sup>	7.64 <sup>0.00</sup>	6.29 <sup>0.17</sup>	7.49 <sup>0.36</sup>	8.49 <sup>0.21</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.06 <sup>0.02</sup>	0.07 <sup>0.09</sup>	0.43 <sup>0.03</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.04 <sup>0.01</sup>	0.29 <sup>0.06</sup>	0.32 <sup>0.00</sup>	0.41 <sup>0.05</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.03</sup>
Cl	0.71 <sup>0.07</sup>	0.66 <sup>0.15</sup>	0.74 <sup>0.07</sup>	0.54 <sup>0.02</sup>	0.63 <sup>0.14</sup>	0.73 <sup>0.16</sup>	0.58 <sup>0.05</sup>	0.08 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.04</sup>	0.56 <sup>0.20</sup>	0.55 <sup>0.03</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.06 <sup>0.11</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.17 <sup>0.05</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.10</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	97.74 <sup>n=9</sup>	95.45 <sup>n=7</sup>	97.77 <sup>n=11</sup>	96.68 <sup>n=3</sup>	96.51 <sup>n=6</sup>	95.88 <sup>n=7</sup>	95.99 <sup>n=5</sup>	96.84 <sup>n=1</sup>	95.74 <sup>n=4</sup>	97.47 <sup>n=8</sup>	99.30 <sup>n=6</sup>
<b>SDM</b>	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15

Probe	89,231 SD	89,509 SD	89,793 SD	89,794 SD	89,795 SD	89,804 SD	89,814 SD	89,815 SD	89,816 SD	89,818 SD	89,819 SD
SiO <sub>2</sub>	52.54 <sup>0.48</sup>	49.53 <sup>0.99</sup>	59.48 <sup>0.54</sup>	59.09 <sup>0.66</sup>	59.66 <sup>0.64</sup>	60.12 <sup>0.56</sup>	59.26 <sup>0.40</sup>	59.92 <sup>0.81</sup>	59.91 <sup>0.61</sup>	60.50 <sup>0.30</sup>	59.79 <sup>0.68</sup>
TiO <sub>2</sub>	1.00 <sup>0.25</sup>	1.38 <sup>0.21</sup>	0.37 <sup>0.05</sup>	0.38 <sup>0.03</sup>	0.38 <sup>0.03</sup>	0.39 <sup>0.02</sup>	0.39 <sup>0.02</sup>	0.37 <sup>0.01</sup>	0.38 <sup>0.02</sup>	0.37 <sup>0.03</sup>	0.39 <sup>0.03</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.80 <sup>0.56</sup>	17.36 <sup>0.62</sup>	18.48 <sup>0.31</sup>	18.49 <sup>0.23</sup>	18.54 <sup>0.40</sup>	18.45 <sup>0.20</sup>	18.32 <sup>0.17</sup>	18.55 <sup>0.14</sup>	18.59 <sup>0.18</sup>	18.80 <sup>0.15</sup>	18.63 <sup>0.10</sup>
FeOt	7.60 <sup>0.79</sup>	8.77 <sup>0.99</sup>	3.08 <sup>0.36</sup>	3.14 <sup>0.16</sup>	3.16 <sup>0.28</sup>	3.24 <sup>0.22</sup>	3.39 <sup>0.16</sup>	3.11 <sup>0.12</sup>	3.21 <sup>0.16</sup>	3.14 <sup>0.33</sup>	3.42 <sup>0.46</sup>
MnO	0.17 <sup>0.02</sup>	0.19 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.03</sup>	0.17 <sup>0.01</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.01</sup>
MgO	2.77 <sup>0.41</sup>	3.60 <sup>0.34</sup>	0.52 <sup>0.06</sup>	0.55 <sup>0.03</sup>	0.56 <sup>0.10</sup>	0.57 <sup>0.05</sup>	0.57 <sup>0.03</sup>	0.53 <sup>0.03</sup>	0.53 <sup>0.06</sup>	0.52 <sup>0.06</sup>	0.64 <sup>0.19</sup>
CaO	6.00 <sup>1.21</sup>	8.89 <sup>1.05</sup>	2.31 <sup>0.12</sup>	2.35 <sup>0.03</sup>	2.47 <sup>0.51</sup>	2.33 <sup>0.13</sup>	2.25 <sup>0.10</sup>	2.22 <sup>0.18</sup>	2.16 <sup>0.54</sup>	2.34 <sup>0.13</sup>	2.56 <sup>0.47</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.50 <sup>0.53</sup>	3.38 <sup>0.67</sup>	4.30 <sup>0.39</sup>	4.37 <sup>0.37</sup>	4.36 <sup>0.48</sup>	4.52 <sup>0.32</sup>	4.70 <sup>0.40</sup>	4.75 <sup>0.46</sup>	4.81 <sup>0.35</sup>	4.89 <sup>0.48</sup>	4.80 <sup>0.47</sup>
K <sub>2</sub> O	5.72 <sup>0.82</sup>	4.64 <sup>1.44</sup>	7.91 <sup>0.54</sup>	7.60 <sup>0.38</sup>	7.00 <sup>0.36</sup>	7.98 <sup>0.30</sup>	7.33 <sup>0.27</sup>	7.73 <sup>0.28</sup>	7.58 <sup>0.28</sup>	7.71 <sup>0.42</sup>	7.50 <sup>0.21</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.68 <sup>0.16</sup>	1.10 <sup>0.41</sup>	0.09 <sup>0.02</sup>	0.09 <sup>0.04</sup>	0.11 <sup>0.05</sup>	0.10 <sup>0.02</sup>	0.10 <sup>0.03</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.08 <sup>0.02</sup>	0.08 <sup>0.03</sup>	0.12 <sup>0.07</sup>
Cl	0.32 <sup>0.05</sup>	0.29 <sup>0.13</sup>	0.61 <sup>0.08</sup>	0.63 <sup>0.03</sup>	0.61 <sup>0.11</sup>	0.64 <sup>0.04</sup>	0.65 <sup>0.03</sup>	0.62 <sup>0.03</sup>	0.65 <sup>0.03</sup>	0.60 <sup>0.08</sup>	0.63 <sup>0.07</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.01</sup>	0.01 <sup>0.03</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.03 <sup>n=7</sup>	99.06 <sup>n=10</sup>	97.17 <sup>n=9</sup>	96.71 <sup>n=6</sup>	96.87 <sup>n=12</sup>	98.37 <sup>n=13</sup>	96.96 <sup>n=9</sup>	97.88 <sup>n=7</sup>	97.93 <sup>n=7</sup>	98.95 <sup>n=8</sup>	98.48 <sup>n=7</sup>
<b>SDM</b>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser der distalen Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	89,834 SD	89,836 SD	89,841 SD	89,851 SD	89,877 SD	90,194 SD	91,363 SD	91,366 SD	91,367 SD	91,369 SD	91,374 SD
SiO <sub>2</sub>	59.40 <sub>0.62</sub>	59.81 <sub>0.78</sub>	57.42 <sub>0.54</sub>	58.79 <sub>0.14</sub>	57.75 <sub>0.30</sub>	57.03 <sub>0.58</sub>	58.65 <sub>0.57</sub>	58.61 <sub>0.64</sub>	58.71 <sub>0.43</sub>	58.93 <sub>0.83</sub>	58.38 <sub>0.59</sub>
TiO <sub>2</sub>	0.33 <sub>0.02</sub>	0.36 <sub>0.05</sub>	0.34 <sub>0.03</sub>	0.39 <sub>0.04</sub>	0.45 <sub>0.05</sub>	0.58 <sub>0.05</sub>	0.41 <sub>0.03</sub>	0.41 <sub>0.01</sub>	0.39 <sub>0.02</sub>	0.41 <sub>0.04</sub>	0.39 <sub>0.04</sub>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.27 <sub>0.31</sub>	18.42 <sub>0.38</sub>	17.73 <sub>0.22</sub>	17.82 <sub>0.11</sub>	18.00 <sub>0.14</sub>	18.29 <sub>0.10</sub>	18.45 <sub>0.18</sub>	18.48 <sub>0.13</sub>	18.49 <sub>0.19</sub>	18.60 <sub>0.13</sub>	18.58 <sub>0.27</sub>
FeOt	2.96 <sub>0.27</sub>	2.94 <sub>0.72</sub>	2.79 <sub>0.34</sub>	3.63 <sub>0.34</sub>	4.29 <sub>0.58</sub>	4.96 <sub>0.32</sub>	3.52 <sub>0.12</sub>	3.47 <sub>0.12</sub>	3.37 <sub>0.17</sub>	3.45 <sub>0.29</sub>	3.47 <sub>0.34</sub>
MnO	0.14 <sub>0.02</sub>	0.15 <sub>0.05</sub>	0.12 <sub>0.04</sub>	0.16 <sub>0.02</sub>	0.14 <sub>0.03</sub>	0.16 <sub>0.02</sub>	0.15 <sub>0.01</sub>	0.15 <sub>0.02</sub>	0.14 <sub>0.02</sub>	0.15 <sub>0.02</sub>	0.14 <sub>0.03</sub>
MgO	0.46 <sub>0.05</sub>	0.43 <sub>0.18</sub>	0.48 <sub>0.02</sub>	0.66 <sub>0.19</sub>	0.97 <sub>0.17</sub>	1.39 <sub>0.15</sub>	0.76 <sub>0.02</sub>	0.75 <sub>0.02</sub>	0.72 <sub>0.04</sub>	0.73 <sub>0.09</sub>	0.71 <sub>0.10</sub>
CaO	2.14 <sub>0.05</sub>	2.27 <sub>0.09</sub>	2.05 <sub>0.09</sub>	2.53 <sub>0.31</sub>	3.28 <sub>0.32</sub>	4.04 <sub>0.37</sub>	2.64 <sub>0.07</sub>	2.58 <sub>0.06</sub>	2.57 <sub>0.10</sub>	2.50 <sub>0.29</sub>	2.62 <sub>0.09</sub>
Na <sub>2</sub> O	4.74 <sub>0.44</sub>	4.50 <sub>0.69</sub>	4.77 <sub>0.51</sub>	3.92 <sub>0.23</sub>	3.72 <sub>0.23</sub>	4.06 <sub>0.09</sub>	4.24 <sub>0.27</sub>	4.36 <sub>0.20</sub>	4.31 <sub>0.36</sub>	4.63 <sub>0.40</sub>	4.57 <sub>0.37</sub>
K <sub>2</sub> O	8.42 <sub>0.49</sub>	8.51 <sub>0.35</sub>	7.38 <sub>0.17</sub>	8.62 <sub>0.07</sub>	8.17 <sub>0.30</sub>	7.08 <sub>0.22</sub>	7.86 <sub>0.25</sub>	7.86 <sub>0.52</sub>	7.75 <sub>0.28</sub>	7.70 <sub>0.39</sub>	7.69 <sub>0.36</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09 <sub>0.00</sub>	0.07 <sub>0.02</sub>	0.06 <sub>0.00</sub>	0.13 <sub>0.05</sub>	0.19 <sub>0.06</sub>	0.28 <sub>0.05</sub>	0.13 <sub>0.03</sub>	0.13 <sub>0.02</sub>	0.13 <sub>0.04</sub>	0.14 <sub>0.02</sub>	0.14 <sub>0.03</sub>
Cl	0.55 <sub>0.08</sub>	0.54 <sub>0.16</sub>	0.48 <sub>0.23</sub>	0.52 <sub>0.16</sub>	0.44 <sub>0.04</sub>	0.53 <sub>0.03</sub>	0.58 <sub>0.03</sub>	0.59 <sub>0.02</sub>	0.56 <sub>0.03</sub>	0.56 <sub>0.07</sub>	0.56 <sub>0.08</sub>
F	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>
<b>Summe</b>	97.39 <sub>n=3</sub>	97.86 <sub>n=4</sub>	93.51 <sub>n=3</sub>	97.03 <sub>n=4</sub>	97.28 <sub>n=6</sub>	98.26 <sub>n=10</sub>	97.25 <sub>n=8</sub>	97.26 <sub>n=8</sub>	97.02 <sub>n=7</sub>	97.67 <sub>n=16</sub>	97.12 <sub>n=8</sub>
<b>SDM</b>	20	20	20	20	20	15	15	15	15	15	15

Probe	91,376 SD	91,378 SD	91,820 SD	91,836 SD	91,995 SD	92,040 SD	92,361 SD	93,207a SD	93,207b SD	93,674 SD	93,991 SD
SiO <sub>2</sub>	58.17 <sub>0.41</sub>	58.11 <sub>0.44</sub>	58.61 <sub>0.55</sub>	57.18 <sub>0.92</sub>	58.72 <sub>0.73</sub>	59.41 <sub>0.46</sub>	62.34 <sub>0.51</sub>	56.18 <sub>0.25</sub>	58.07 <sub>0.00</sub>	61.30 <sub>0.49</sub>	59.46 <sub>0.00</sub>
TiO <sub>2</sub>	0.40 <sub>0.02</sub>	0.41 <sub>0.03</sub>	0.40 <sub>0.02</sub>	0.51 <sub>0.07</sub>	0.47 <sub>0.02</sub>	0.46 <sub>0.03</sub>	0.53 <sub>0.07</sub>	0.67 <sub>0.04</sub>	0.44 <sub>0.00</sub>	0.61 <sub>0.03</sub>	0.61 <sub>0.00</sub>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.48 <sub>0.21</sub>	18.46 <sub>0.17</sub>	18.60 <sub>0.14</sub>	18.58 <sub>0.12</sub>	18.95 <sub>0.20</sub>	19.47 <sub>0.14</sub>	18.46 <sub>0.16</sub>	18.38 <sub>0.21</sub>	19.65 <sub>0.00</sub>	18.64 <sub>0.14</sub>	18.26 <sub>0.00</sub>
FeOt	3.59 <sub>0.07</sub>	3.79 <sub>0.56</sub>	3.54 <sub>0.10</sub>	4.59 <sub>0.60</sub>	4.09 <sub>0.14</sub>	3.79 <sub>0.11</sub>	2.32 <sub>0.49</sub>	5.26 <sub>0.23</sub>	3.72 <sub>0.00</sub>	2.68 <sub>0.06</sub>	4.97 <sub>0.00</sub>
MnO	0.14 <sub>0.02</sub>	0.13 <sub>0.02</sub>	0.15 <sub>0.02</sub>	0.14 <sub>0.02</sub>	0.13 <sub>0.02</sub>	0.16 <sub>0.00</sub>	0.17 <sub>0.06</sub>	0.14 <sub>0.02</sub>	0.16 <sub>0.00</sub>	0.26 <sub>0.02</sub>	0.17 <sub>0.00</sub>
MgO	0.71 <sub>0.08</sub>	0.77 <sub>0.02</sub>	0.76 <sub>0.02</sub>	1.26 <sub>0.28</sub>	1.16 <sub>0.03</sub>	0.77 <sub>0.01</sub>	0.40 <sub>0.12</sub>	1.83 <sub>0.16</sub>	0.73 <sub>0.00</sub>	0.35 <sub>0.01</sub>	1.03 <sub>0.00</sub>
CaO	2.56 <sub>0.15</sub>	2.61 <sub>0.13</sub>	2.50 <sub>0.05</sub>	3.60 <sub>0.48</sub>	3.17 <sub>0.07</sub>	3.05 <sub>0.13</sub>	1.36 <sub>0.05</sub>	4.19 <sub>0.23</sub>	3.02 <sub>0.00</sub>	1.11 <sub>0.04</sub>	2.74 <sub>0.00</sub>
Na <sub>2</sub> O	4.97 <sub>0.51</sub>	4.65 <sub>0.41</sub>	4.33 <sub>0.09</sub>	4.25 <sub>0.22</sub>	4.72 <sub>0.12</sub>	4.61 <sub>0.25</sub>	5.29 <sub>0.33</sub>	4.08 <sub>0.13</sub>	4.93 <sub>0.00</sub>	6.60 <sub>0.26</sub>	5.56 <sub>0.00</sub>
K <sub>2</sub> O	7.53 <sub>0.38</sub>	7.61 <sub>0.35</sub>	8.11 <sub>0.20</sub>	7.26 <sub>0.24</sub>	7.86 <sub>0.29</sub>	8.92 <sub>0.26</sub>	6.68 <sub>0.46</sub>	7.14 <sub>0.23</sub>	7.93 <sub>0.00</sub>	5.78 <sub>0.29</sub>	6.44 <sub>0.00</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14 <sub>0.02</sub>	0.16 <sub>0.03</sub>	0.14 <sub>0.03</sub>	0.27 <sub>0.07</sub>	0.20 <sub>0.03</sub>	0.12 <sub>0.02</sub>	0.08 <sub>0.02</sub>	0.33 <sub>0.04</sub>	0.16 <sub>0.00</sub>	0.04 <sub>0.03</sub>	0.24 <sub>0.00</sub>
Cl	0.56 <sub>0.03</sub>	0.57 <sub>0.02</sub>	0.58 <sub>0.02</sub>	0.51 <sub>0.04</sub>	0.55 <sub>0.02</sub>	0.55 <sub>0.00</sub>	0.36 <sub>0.10</sub>	0.53 <sub>0.06</sub>	0.57 <sub>0.00</sub>	0.59 <sub>0.02</sub>	0.74 <sub>0.00</sub>
F	0.04 <sub>0.09</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>	0.00 <sub>0.00</sub>
<b>Summe</b>	97.12 <sub>n=8</sub>	97.12 <sub>n=6</sub>	97.58 <sub>n=10</sub>	98.03 <sub>n=10</sub>	99.90 <sub>n=15</sub>	101.16 <sub>n=2</sub>	97.91 <sub>n=10</sub>	98.62 <sub>n=13</sub>	99.25 <sub>n=1</sub>	97.84 <sub>n=11</sub>	100.05 <sub>n=1</sub>
<b>SDM</b>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser distaler Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	94,063 SD	94,141a SD	94,141b SD	94,179a SD	94,179b SD	94,276 SD	94,280 SD	94,356 SD	94,377a SD	94,377b SD	94,448a SD
SiO <sub>2</sub>	58.16 <sup>0.44</sup>	58.46 <sup>0.36</sup>	61.57 <sup>0.00</sup>	54.65 <sup>0.45</sup>	59.04 <sup>0.50</sup>	58.68 <sup>0.26</sup>	57.97 <sup>0.79</sup>	58.70 <sup>0.64</sup>	53.83 <sup>0.27</sup>	56.87 <sup>0.20</sup>	56.84 <sup>0.83</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.47 <sup>0.03</sup>	0.47 <sup>0.04</sup>	0.26 <sup>0.00</sup>	0.71 <sup>0.07</sup>	0.42 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.45 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.06</sup>	0.75 <sup>0.04</sup>	0.48 <sup>0.04</sup>	0.56 <sup>0.05</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.71 <sup>0.33</sup>	18.53 <sup>0.11</sup>	19.63 <sup>0.00</sup>	18.29 <sup>0.64</sup>	18.36 <sup>0.29</sup>	18.61 <sup>0.16</sup>	19.26 <sup>0.26</sup>	18.89 <sup>0.45</sup>	18.22 <sup>0.37</sup>	18.98 <sup>0.31</sup>	18.59 <sup>0.14</sup>
FeOt	3.96 <sup>0.34</sup>	3.95 <sup>0.40</sup>	1.83 <sup>0.00</sup>	6.41 <sup>0.42</sup>	3.91 <sup>0.32</sup>	3.82 <sup>0.08</sup>	3.56 <sup>0.18</sup>	3.43 <sup>0.73</sup>	6.78 <sup>0.26</sup>	4.57 <sup>0.37</sup>	5.17 <sup>0.36</sup>
MnO	0.14 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.02 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.17 <sup>0.00</sup>
MgO	0.85 <sup>0.06</sup>	0.93 <sup>0.17</sup>	0.13 <sup>0.00</sup>	2.09 <sup>0.26</sup>	0.80 <sup>0.12</sup>	0.74 <sup>0.01</sup>	0.79 <sup>0.02</sup>	0.79 <sup>0.21</sup>	2.27 <sup>0.17</sup>	1.08 <sup>0.10</sup>	1.44 <sup>0.21</sup>
CaO	3.10 <sup>0.20</sup>	3.05 <sup>0.50</sup>	2.90 <sup>0.00</sup>	5.82 <sup>0.23</sup>	2.85 <sup>0.30</sup>	2.80 <sup>0.11</sup>	2.81 <sup>0.29</sup>	3.05 <sup>0.08</sup>	6.09 <sup>0.17</sup>	4.16 <sup>0.34</sup>	4.48 <sup>0.46</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.41 <sup>0.24</sup>	4.45 <sup>0.53</sup>	3.79 <sup>0.00</sup>	3.68 <sup>0.14</sup>	4.00 <sup>0.33</sup>	4.89 <sup>0.22</sup>	5.13 <sup>0.45</sup>	4.64 <sup>0.46</sup>	3.56 <sup>0.05</sup>	4.14 <sup>0.03</sup>	4.08 <sup>0.18</sup>
K <sub>2</sub> O	7.66 <sup>0.27</sup>	7.91 <sup>0.35</sup>	8.53 <sup>0.00</sup>	6.41 <sup>0.29</sup>	8.13 <sup>0.39</sup>	8.10 <sup>0.17</sup>	7.71 <sup>0.50</sup>	7.45 <sup>0.39</sup>	6.40 <sup>0.22</sup>	7.41 <sup>0.42</sup>	7.48 <sup>0.33</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18 <sup>0.04</sup>	0.17 <sup>0.04</sup>	0.07 <sup>0.00</sup>	0.49 <sup>0.09</sup>	0.18 <sup>0.05</sup>	0.15 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.13 <sup>0.05</sup>	0.57 <sup>0.07</sup>	0.26 <sup>0.04</sup>	0.34 <sup>0.06</sup>
Cl	0.55 <sup>0.07</sup>	0.57 <sup>0.04</sup>	0.16 <sup>0.00</sup>	0.45 <sup>0.03</sup>	0.50 <sup>0.07</sup>	0.55 <sup>0.03</sup>	0.55 <sup>0.12</sup>	0.52 <sup>0.13</sup>	0.47 <sup>0.02</sup>	0.54 <sup>0.04</sup>	0.51 <sup>0.03</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.08 <sup>n=9</sup>	98.52 <sup>n=9</sup>	98.85 <sup>n=1</sup>	99.04 <sup>n=5</sup>	98.22 <sup>n=5</sup>	98.80 <sup>n=6</sup>	98.37 <sup>n=20</sup>	98.06 <sup>n=7</sup>	98.98 <sup>n=5</sup>	98.45 <sup>n=2</sup>	99.55 <sup>n=8</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Probe	94,448b SD	94,490a SD	94,490b SD	94,545a SD	94,545b SD	95,337 SD	95,663 SD	95,850 SD	95,851 SD	95,853 SD	95,855 SD
SiO <sub>2</sub>	56.97 <sup>0.00</sup>	58.77 <sup>0.82</sup>	62.13 <sup>0.00</sup>	59.69 <sup>1.02</sup>	62.06 <sup>0.00</sup>	61.51 <sup>0.53</sup>	60.66 <sup>0.18</sup>	56.59 <sup>0.72</sup>	55.50 <sup>0.22</sup>	57.61 <sup>0.27</sup>	56.77 <sup>0.92</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.36 <sup>0.00</sup>	0.47 <sup>0.04</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.43 <sup>0.03</sup>	0.32 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.03</sup>	0.61 <sup>0.01</sup>	0.41 <sup>0.04</sup>	0.40 <sup>0.01</sup>	0.45 <sup>0.01</sup>	0.44 <sup>0.03</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.93 <sup>0.00</sup>	19.14 <sup>0.37</sup>	21.27 <sup>0.00</sup>	19.37 <sup>0.34</sup>	20.17 <sup>0.00</sup>	18.63 <sup>0.27</sup>	18.77 <sup>0.11</sup>	19.00 <sup>0.32</sup>	18.79 <sup>0.07</sup>	19.55 <sup>0.23</sup>	19.28 <sup>0.25</sup>
FeOt	2.97 <sup>0.00</sup>	3.75 <sup>0.24</sup>	0.61 <sup>0.00</sup>	2.91 <sup>0.24</sup>	1.49 <sup>0.00</sup>	2.80 <sup>0.14</sup>	2.63 <sup>0.11</sup>	3.54 <sup>0.12</sup>	3.54 <sup>0.11</sup>	3.66 <sup>0.12</sup>	3.70 <sup>0.14</sup>
MnO	0.08 <sup>0.00</sup>	0.17 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.17 <sup>0.04</sup>	0.07 <sup>0.00</sup>	0.31 <sup>0.03</sup>	0.27 <sup>0.02</sup>	0.18 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.14 <sup>0.04</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>
MgO	0.64 <sup>0.00</sup>	0.80 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.54 <sup>0.11</sup>	0.15 <sup>0.00</sup>	0.33 <sup>0.03</sup>	0.34 <sup>0.00</sup>	0.70 <sup>0.04</sup>	0.70 <sup>0.03</sup>	0.71 <sup>0.02</sup>	0.71 <sup>0.03</sup>
CaO	5.28 <sup>0.00</sup>	2.66 <sup>0.40</sup>	3.37 <sup>0.00</sup>	2.19 <sup>0.56</sup>	2.91 <sup>0.00</sup>	0.99 <sup>0.09</sup>	1.05 <sup>0.02</sup>	2.91 <sup>0.08</sup>	2.84 <sup>0.02</sup>	3.00 <sup>0.06</sup>	3.05 <sup>0.08</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.09 <sup>0.00</sup>	5.13 <sup>0.46</sup>	4.56 <sup>0.00</sup>	5.37 <sup>0.48</sup>	4.39 <sup>0.00</sup>	6.80 <sup>0.45</sup>	7.04 <sup>0.14</sup>	5.05 <sup>0.61</sup>	5.13 <sup>0.06</sup>	5.30 <sup>0.24</sup>	5.44 <sup>0.37</sup>
K <sub>2</sub> O	5.82 <sup>0.00</sup>	7.38 <sup>0.45</sup>	7.55 <sup>0.00</sup>	7.00 <sup>0.37</sup>	8.08 <sup>0.00</sup>	5.38 <sup>0.38</sup>	5.82 <sup>0.01</sup>	8.19 <sup>0.38</sup>	7.81 <sup>0.01</sup>	8.31 <sup>0.28</sup>	7.71 <sup>0.30</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.06 <sup>0.00</sup>	0.09 <sup>0.04</sup>	0.02 <sup>0.00</sup>	0.03 <sup>0.02</sup>	0.04 <sup>0.04</sup>	0.15 <sup>0.04</sup>	0.11 <sup>0.02</sup>	0.10 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.03</sup>
Cl	0.30 <sup>0.00</sup>	0.69 <sup>0.07</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.54 <sup>0.09</sup>	0.10 <sup>0.00</sup>	0.71 <sup>0.10</sup>	0.65 <sup>0.01</sup>	0.58 <sup>0.04</sup>	0.56 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.05</sup>	0.56 <sup>0.02</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.02</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	97.64 <sup>n=1</sup>	98.94 <sup>n=8</sup>	99.67 <sup>n=1</sup>	98.17 <sup>n=6</sup>	99.74 <sup>n=1</sup>	97.94 <sup>n=12</sup>	97.70 <sup>n=2</sup>	97.16 <sup>n=5</sup>	95.38 <sup>n=2</sup>	99.29 <sup>n=3</sup>	97.81 <sup>n=5</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser distaler Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	95,857 SD	95.858a SD	95.858b SD	95,930 SD	96,302 SD	96,312 SD	96,526 SD	97,107 SD	97.109a SD	97.109b SD	97,255 SD
SiO <sub>2</sub>	55.90 <sup>0.00</sup>	55.71 <sup>0.90</sup>	58.74 <sup>0.00</sup>	58.22 <sup>0.47</sup>	62.25 <sup>0.52</sup>	57.59 <sup>0.43</sup>	55.51 <sup>0.35</sup>	57.05 <sup>0.60</sup>	57.01 <sup>0.60</sup>	61.28 <sup>0.00</sup>	57.25 <sup>0.64</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.38 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.32 <sup>0.00</sup>	0.45 <sup>0.03</sup>	0.64 <sup>0.02</sup>	0.47 <sup>0.01</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.49 <sup>0.03</sup>	0.49 <sup>0.04</sup>	0.33 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.01</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.47 <sup>0.00</sup>	19.10 <sup>0.29</sup>	19.61 <sup>0.00</sup>	19.39 <sup>0.17</sup>	18.46 <sup>0.29</sup>	19.27 <sup>0.14</sup>	18.95 <sup>0.18</sup>	19.39 <sup>0.21</sup>	19.20 <sup>0.26</sup>	18.53 <sup>0.00</sup>	18.79 <sup>0.14</sup>
FeOt	3.90 <sup>0.00</sup>	3.80 <sup>0.04</sup>	2.96 <sup>0.00</sup>	3.68 <sup>0.22</sup>	2.66 <sup>0.09</sup>	3.83 <sup>0.20</sup>	3.52 <sup>0.04</sup>	4.25 <sup>0.28</sup>	4.35 <sup>0.43</sup>	2.81 <sup>0.00</sup>	3.90 <sup>0.15</sup>
MnO	0.21 <sup>0.00</sup>	0.19 <sup>0.04</sup>	0.09 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>	0.27 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>
MgO	0.70 <sup>0.00</sup>	0.77 <sup>0.01</sup>	0.75 <sup>0.00</sup>	0.71 <sup>0.03</sup>	0.35 <sup>0.02</sup>	0.82 <sup>0.06</sup>	0.69 <sup>0.03</sup>	0.94 <sup>0.16</sup>	1.00 <sup>0.25</sup>	0.46 <sup>0.00</sup>	0.70 <sup>0.04</sup>
CaO	2.94 <sup>0.00</sup>	3.07 <sup>0.04</sup>	3.62 <sup>0.00</sup>	3.16 <sup>0.24</sup>	1.11 <sup>0.04</sup>	3.09 <sup>0.22</sup>	2.95 <sup>0.05</sup>	3.37 <sup>0.33</sup>	3.42 <sup>0.36</sup>	2.19 <sup>0.00</sup>	2.79 <sup>0.11</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.96 <sup>0.00</sup>	4.95 <sup>0.20</sup>	3.75 <sup>0.00</sup>	4.94 <sup>0.34</sup>	5.79 <sup>0.46</sup>	4.93 <sup>0.41</sup>	4.23 <sup>0.01</sup>	4.86 <sup>0.52</sup>	4.81 <sup>0.40</sup>	4.51 <sup>0.00</sup>	4.70 <sup>0.22</sup>
K <sub>2</sub> O	8.77 <sup>0.00</sup>	8.14 <sup>0.02</sup>	5.06 <sup>0.00</sup>	7.91 <sup>0.70</sup>	5.42 <sup>0.47</sup>	7.90 <sup>0.41</sup>	8.60 <sup>0.13</sup>	7.59 <sup>0.53</sup>	7.42 <sup>0.52</sup>	8.05 <sup>0.00</sup>	8.68 <sup>0.38</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.18 <sup>0.03</sup>	0.18 <sup>0.06</sup>	0.05 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>
Cl	0.55 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.00</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.62 <sup>0.03</sup>	0.62 <sup>0.04</sup>	0.62 <sup>0.02</sup>	0.61 <sup>0.00</sup>	0.62 <sup>0.05</sup>	0.61 <sup>0.07</sup>	0.52 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.04</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	97.80 <sup>n=1</sup>	96.78 <sup>n=3</sup>	95.16 <sup>n=1</sup>	99.22 <sup>n=19</sup>	97.49 <sup>n=9</sup>	98.66 <sup>n=5</sup>	95.63 <sup>n=2</sup>	98.76 <sup>n=9</sup>	98.51 <sup>n=8</sup>	98.75 <sup>n=1</sup>	98.01 <sup>n=6</sup>
<b>SDM</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>

Probe	97,256 SD	97,274 SD	97,354 SD	97,356 SD	97,366 SD	97,408 SD	97,769 SD	97,836 SD	97,850 SD	97,958 SD	98.519a SD
SiO <sub>2</sub>	57.60 <sup>0.34</sup>	56.68 <sup>0.46</sup>	57.98 <sup>0.15</sup>	58.02 <sup>0.34</sup>	57.74 <sup>0.48</sup>	57.62 <sup>0.79</sup>	58.59 <sup>0.65</sup>	55.96 <sup>0.00</sup>	59.36 <sup>0.22</sup>	59.16 <sup>0.42</sup>	<b>57.58</b> <sup>0.37</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.48 <sup>0.03</sup>	0.47 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.43 <sup>0.03</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.45 <sup>0.08</sup>	0.39 <sup>0.06</sup>	0.34 <sup>0.00</sup>	0.33 <sup>0.03</sup>	0.40 <sup>0.04</sup>	<b>0.48</b> <sup>0.02</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.32 <sup>0.20</sup>	18.98 <sup>0.32</sup>	19.35 <sup>0.15</sup>	19.31 <sup>0.14</sup>	19.04 <sup>0.18</sup>	18.54 <sup>0.38</sup>	18.14 <sup>0.42</sup>	17.47 <sup>0.00</sup>	18.72 <sup>0.29</sup>	18.62 <sup>0.29</sup>	<b>18.22</b> <sup>0.11</sup>
FeOt	3.87 <sup>0.14</sup>	4.08 <sup>0.20</sup>	3.74 <sup>0.17</sup>	3.72 <sup>0.15</sup>	3.71 <sup>0.12</sup>	3.69 <sup>0.64</sup>	3.63 <sup>0.82</sup>	3.20 <sup>0.00</sup>	2.61 <sup>0.59</sup>	3.44 <sup>0.28</sup>	<b>4.33</b> <sup>0.07</sup>
MnO	0.15 <sup>0.03</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.01</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.01</sup>	0.23 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.06</sup>	0.14 <sup>0.03</sup>	<b>0.14</b> <sup>0.02</sup>
MgO	0.80 <sup>0.02</sup>	0.84 <sup>0.05</sup>	0.75 <sup>0.04</sup>	0.73 <sup>0.07</sup>	0.73 <sup>0.03</sup>	0.83 <sup>0.44</sup>	0.73 <sup>0.30</sup>	0.52 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.02</sup>	0.66 <sup>0.07</sup>	<b>1.09</b> <sup>0.03</sup>
CaO	3.05 <sup>0.12</sup>	3.40 <sup>0.08</sup>	3.20 <sup>0.12</sup>	3.20 <sup>0.09</sup>	3.22 <sup>0.11</sup>	3.14 <sup>0.72</sup>	2.71 <sup>0.68</sup>	2.31 <sup>0.00</sup>	2.84 <sup>0.19</sup>	2.64 <sup>0.08</sup>	<b>3.43</b> <sup>0.04</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.28 <sup>0.22</sup>	4.30 <sup>0.13</sup>	4.16 <sup>0.28</sup>	4.15 <sup>0.26</sup>	4.68 <sup>0.41</sup>	4.26 <sup>0.53</sup>	4.16 <sup>0.03</sup>	3.62 <sup>0.00</sup>	3.49 <sup>0.21</sup>	3.29 <sup>0.30</sup>	<b>3.95</b> <sup>0.16</sup>
K <sub>2</sub> O	7.92 <sup>0.56</sup>	8.06 <sup>0.28</sup>	7.77 <sup>0.58</sup>	7.86 <sup>0.61</sup>	7.98 <sup>0.55</sup>	8.03 <sup>0.81</sup>	8.00 <sup>0.07</sup>	7.80 <sup>0.00</sup>	8.63 <sup>0.21</sup>	7.62 <sup>0.46</sup>	<b>7.81</b> <sup>0.24</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13 <sup>0.03</sup>	0.16 <sup>0.03</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.13 <sup>0.01</sup>	0.10 <sup>0.03</sup>	0.15 <sup>0.06</sup>	0.14 <sup>0.07</sup>	0.12 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.01</sup>	0.11 <sup>0.02</sup>	<b>0.22</b> <sup>0.03</sup>
Cl	0.62 <sup>0.04</sup>	0.61 <sup>0.04</sup>	0.64 <sup>0.04</sup>	0.62 <sup>0.04</sup>	0.62 <sup>0.02</sup>	0.59 <sup>0.16</sup>	0.50 <sup>0.03</sup>	0.54 <sup>0.00</sup>	0.32 <sup>0.15</sup>	0.56 <sup>0.03</sup>	<b>0.48</b> <sup>0.02</sup>
F	0.17 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.11 <sup>0.04</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	<b>0.00</b> <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.17 <sup>n=9</sup>	97.56 <sup>n=20</sup>	98.25 <sup>n=6</sup>	98.25 <sup>n=7</sup>	98.29 <sup>n=6</sup>	97.30 <sup>n=8</sup>	97.02 <sup>n=2</sup>	91.99 <sup>n=1</sup>	96.86 <sup>n=2</sup>	96.51 <sup>n=7</sup>	<b>97.61</b> <sup>n=6</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser distaler Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	98.519b SD	98,526 SD	98,734 SD	98,735 SD	98,736 SD	98,737 SD	98,738 SD	98.739a SD	98.739b SD	98,740 SD	98,741 SD
SiO <sub>2</sub>	59.88 <sup>0.00</sup>	55.51 <sup>0.35</sup>	58.62 <sup>0.00</sup>	58.36 <sup>0.00</sup>	58.61 <sup>1.26</sup>	57.64 <sup>0.96</sup>	58.43 <sup>0.94</sup>	56.33 <sup>0.00</sup>	63.77 <sup>0.00</sup>	58.52 <sup>0.80</sup>	<b>59.84</b> <sup>0.65</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.27 <sup>0.00</sup>	0.43 <sup>0.02</sup>	0.37 <sup>0.00</sup>	0.37 <sup>0.00</sup>	0.44 <sup>0.07</sup>	0.50 <sup>0.10</sup>	0.41 <sup>0.05</sup>	0.47 <sup>0.00</sup>	0.19 <sup>0.00</sup>	0.38 <sup>0.06</sup>	<b>0.35</b> <sup>0.01</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.95 <sup>0.00</sup>	18.95 <sup>0.18</sup>	18.15 <sup>0.00</sup>	17.03 <sup>0.00</sup>	18.37 <sup>0.19</sup>	18.38 <sup>0.28</sup>	18.18 <sup>0.19</sup>	17.56 <sup>0.00</sup>	19.42 <sup>0.00</sup>	17.80 <sup>0.23</sup>	<b>18.48</b> <sup>0.29</sup>
FeOt	1.82 <sup>0.00</sup>	3.52 <sup>0.04</sup>	3.01 <sup>0.00</sup>	2.94 <sup>0.00</sup>	3.66 <sup>0.75</sup>	4.20 <sup>0.77</sup>	3.31 <sup>0.31</sup>	4.10 <sup>0.00</sup>	0.78 <sup>0.00</sup>	3.42 <sup>0.62</sup>	<b>3.09</b> <sup>0.16</sup>
MnO	0.06 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.16 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	<b>0.12</b> <sup>0.00</sup>
MgO	0.55 <sup>0.00</sup>	0.69 <sup>0.03</sup>	0.55 <sup>0.00</sup>	0.50 <sup>0.00</sup>	0.82 <sup>0.34</sup>	1.21 <sup>0.51</sup>	0.65 <sup>0.16</sup>	1.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.71 <sup>0.26</sup>	<b>0.60</b> <sup>0.02</sup>
CaO	3.16 <sup>0.00</sup>	2.95 <sup>0.05</sup>	2.36 <sup>0.00</sup>	2.71 <sup>0.00</sup>	2.95 <sup>0.68</sup>	3.51 <sup>0.84</sup>	2.54 <sup>0.27</sup>	3.35 <sup>0.00</sup>	1.53 <sup>0.00</sup>	2.58 <sup>0.54</sup>	<b>2.46</b> <sup>0.13</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.62 <sup>0.00</sup>	4.23 <sup>0.01</sup>	3.90 <sup>0.00</sup>	3.38 <sup>0.00</sup>	3.95 <sup>0.19</sup>	3.83 <sup>0.25</sup>	3.77 <sup>0.25</sup>	3.83 <sup>0.00</sup>	5.49 <sup>0.00</sup>	4.04 <sup>0.19</sup>	<b>3.67</b> <sup>0.14</sup>
K <sub>2</sub> O	7.50 <sup>0.00</sup>	8.60 <sup>0.13</sup>	8.20 <sup>0.00</sup>	7.57 <sup>0.00</sup>	8.08 <sup>0.38</sup>	7.95 <sup>0.18</sup>	8.08 <sup>0.20</sup>	7.87 <sup>0.00</sup>	7.72 <sup>0.00</sup>	7.96 <sup>0.18</sup>	<b>8.00</b> <sup>0.25</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.00</sup>	0.16 <sup>0.07</sup>	0.24 <sup>0.10</sup>	0.12 <sup>0.02</sup>	0.17 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.08</sup>	<b>0.10</b> <sup>0.03</sup>
Cl	0.14 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.00</sup>	0.53 <sup>0.00</sup>	0.51 <sup>0.00</sup>	0.47 <sup>0.05</sup>	0.38 <sup>0.08</sup>	0.46 <sup>0.06</sup>	0.44 <sup>0.00</sup>	0.01 <sup>0.00</sup>	0.49 <sup>0.05</sup>	<b>0.45</b> <sup>0.03</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	<b>0.07</b> <sup>0.02</sup>
<b>Summe</b>	96.00 <sup>n=1</sup>	95.60 <sup>n=2</sup>	95.76 <sup>n=1</sup>	93.49 <sup>n=1</sup>	97.53 <sup>n=11</sup>	97.90 <sup>n=5</sup>	95.99 <sup>n=4</sup>	95.16 <sup>n=1</sup>	99.01 <sup>n=1</sup>	96.06 <sup>n=7</sup>	<b>97.08</b> <sup>n=2</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

Probe	98.742a SD	98.742b SD	98,743 SD	98,745 SD	98.749a SD	98.749b SD	98.753a SD	98.753b SD	98,766 SD	98,995 SD	99,121 SD
SiO <sub>2</sub>	59.59 <sup>0.13</sup>	63.73 <sup>0.00</sup>	58.94 <sup>1.24</sup>	59.38 <sup>0.65</sup>	56.62 <sup>0.35</sup>	60.76 <sup>0.00</sup>	59.43 <sup>0.69</sup>	62.95 <sup>0.00</sup>	56.69 <sup>0.17</sup>	59.13 <sup>0.78</sup>	59.34 <sup>0.54</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.36 <sup>0.02</sup>	0.67 <sup>0.00</sup>	0.40 <sup>0.07</sup>	0.36 <sup>0.01</sup>	0.51 <sup>0.01</sup>	0.33 <sup>0.00</sup>	0.39 <sup>0.02</sup>	0.11 <sup>0.00</sup>	0.34 <sup>0.03</sup>	0.40 <sup>0.15</sup>	0.34 <sup>0.04</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.26 <sup>0.06</sup>	18.99 <sup>0.00</sup>	18.33 <sup>0.04</sup>	17.95 <sup>0.20</sup>	17.99 <sup>0.03</sup>	18.28 <sup>0.00</sup>	18.48 <sup>0.29</sup>	20.45 <sup>0.00</sup>	17.17 <sup>0.09</sup>	18.12 <sup>0.31</sup>	18.62 <sup>0.10</sup>
FeOt	3.04 <sup>0.10</sup>	2.81 <sup>0.00</sup>	3.36 <sup>0.58</sup>	3.27 <sup>0.09</sup>	4.60 <sup>0.08</sup>	2.74 <sup>0.00</sup>	3.26 <sup>0.29</sup>	0.44 <sup>0.00</sup>	2.57 <sup>0.05</sup>	3.12 <sup>0.95</sup>	2.82 <sup>0.30</sup>
MnO	0.16 <sup>0.01</sup>	0.31 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.01</sup>	0.15 <sup>0.00</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.04 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.04</sup>	0.12 <sup>0.02</sup>
MgO	0.59 <sup>0.03</sup>	0.34 <sup>0.00</sup>	0.81 <sup>0.33</sup>	0.59 <sup>0.02</sup>	1.30 <sup>0.10</sup>	0.43 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.17</sup>	0.04 <sup>0.00</sup>	0.61 <sup>0.03</sup>	0.66 <sup>0.29</sup>	0.45 <sup>0.09</sup>
CaO	2.40 <sup>0.01</sup>	0.99 <sup>0.00</sup>	2.91 <sup>0.74</sup>	2.40 <sup>0.09</sup>	4.00 <sup>0.07</sup>	2.23 <sup>0.00</sup>	2.50 <sup>0.28</sup>	2.51 <sup>0.00</sup>	2.12 <sup>0.07</sup>	2.49 <sup>0.74</sup>	2.37 <sup>0.11</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.34 <sup>0.24</sup>	5.23 <sup>0.00</sup>	3.65 <sup>0.09</sup>	4.09 <sup>0.10</sup>	3.74 <sup>0.02</sup>	4.22 <sup>0.00</sup>	3.93 <sup>0.43</sup>	3.98 <sup>0.00</sup>	4.23 <sup>0.07</sup>	3.95 <sup>0.17</sup>	3.85 <sup>0.33</sup>
K <sub>2</sub> O	7.41 <sup>0.30</sup>	5.21 <sup>0.00</sup>	7.44 <sup>0.18</sup>	8.29 <sup>0.18</sup>	7.41 <sup>0.11</sup>	8.31 <sup>0.00</sup>	8.12 <sup>0.34</sup>	9.36 <sup>0.00</sup>	7.56 <sup>0.06</sup>	8.14 <sup>0.60</sup>	8.35 <sup>0.30</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09 <sup>0.01</sup>	0.03 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.08</sup>	0.09 <sup>0.03</sup>	0.24 <sup>0.03</sup>	0.04 <sup>0.00</sup>	0.11 <sup>0.02</sup>	0.27 <sup>0.00</sup>	0.10 <sup>0.01</sup>	0.13 <sup>0.08</sup>	0.08 <sup>0.04</sup>
Cl	0.47 <sup>0.04</sup>	0.73 <sup>0.00</sup>	0.49 <sup>0.04</sup>	0.51 <sup>0.03</sup>	0.42 <sup>0.00</sup>	0.55 <sup>0.00</sup>	0.39 <sup>0.17</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.45 <sup>0.01</sup>	0.41 <sup>0.18</sup>	0.47 <sup>0.08</sup>
F	0.07 <sup>0.03</sup>	0.35 <sup>0.00</sup>	0.18 <sup>0.03</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	95.64 <sup>n=4</sup>	99.08 <sup>n=1</sup>	96.60 <sup>n=3</sup>	96.94 <sup>n=6</sup>	96.84 <sup>n=2</sup>	97.92 <sup>n=1</sup>	97.26 <sup>n=6</sup>	100.15 <sup>n=1</sup>	91.80 <sup>n=2</sup>	96.57 <sup>n=6</sup>	96.70 <sup>n=6</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

## ANHANG C

Mikrosondendaten der durchschnittlichen chemischen Zusammensetzung vulkanischer Gläser distaler Fallout-Tephren im Monticchio-Profil

Probe	99,144 SD	99,945 SD	100,000 SD	100,237 SD	100,244 SD	100,317 SD	100,522 SD	100,523 SD	101,215 SD	101,259 SD
SiO <sub>2</sub>	59.21 <sup>1.08</sup>	59.14 <sup>0.19</sup>	62.08 <sup>1.06</sup>	62.10 <sup>0.59</sup>	60.54 <sup>0.73</sup>	62.67 <sup>1.67</sup>	60.17 <sup>0.04</sup>	58.28 <sup>0.00</sup>	57.19 <sup>1.32</sup>	57.92 <sup>1.15</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.37 <sup>0.02</sup>	0.57 <sup>0.03</sup>	0.62 <sup>0.02</sup>	0.64 <sup>0.03</sup>	0.65 <sup>0.01</sup>	0.55 <sup>0.16</sup>	0.38 <sup>0.02</sup>	0.36 <sup>0.00</sup>	0.54 <sup>0.02</sup>	0.61 <sup>0.11</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.33 <sup>0.12</sup>	17.89 <sup>0.06</sup>	18.20 <sup>0.36</sup>	19.06 <sup>0.16</sup>	18.38 <sup>0.36</sup>	18.85 <sup>0.39</sup>	18.32 <sup>0.05</sup>	17.75 <sup>0.00</sup>	18.18 <sup>0.54</sup>	18.76 <sup>0.44</sup>
FeOt	3.04 <sup>0.05</sup>	2.75 <sup>0.06</sup>	3.06 <sup>0.11</sup>	2.99 <sup>0.02</sup>	2.90 <sup>0.16</sup>	2.39 <sup>0.82</sup>	3.28 <sup>0.33</sup>	3.04 <sup>0.00</sup>	4.70 <sup>0.18</sup>	4.25 <sup>1.42</sup>
MnO	0.16 <sup>0.03</sup>	0.27 <sup>0.04</sup>	0.32 <sup>0.02</sup>	0.35 <sup>0.02</sup>	0.29 <sup>0.06</sup>	0.25 <sup>0.12</sup>	0.14 <sup>0.00</sup>	0.23 <sup>0.00</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>	0.13 <sup>0.07</sup>
MgO	0.53 <sup>0.01</sup>	0.32 <sup>0.01</sup>	0.34 <sup>0.01</sup>	0.35 <sup>0.00</sup>	0.36 <sup>0.04</sup>	0.27 <sup>0.12</sup>	0.60 <sup>0.17</sup>	0.32 <sup>0.00</sup>	1.40 <sup>0.10</sup>	1.29 <sup>0.57</sup>
CaO	2.36 <sup>0.05</sup>	0.94 <sup>0.01</sup>	0.97 <sup>0.02</sup>	1.00 <sup>0.01</sup>	1.09 <sup>0.18</sup>	0.94 <sup>0.08</sup>	2.31 <sup>0.31</sup>	1.90 <sup>0.00</sup>	4.14 <sup>0.18</sup>	3.93 <sup>0.48</sup>
Na <sub>2</sub> O	4.01 <sup>0.09</sup>	7.38 <sup>0.13</sup>	7.37 <sup>0.52</sup>	7.19 <sup>0.16</sup>	6.41 <sup>0.45</sup>	5.83 <sup>0.73</sup>	4.16 <sup>0.06</sup>	4.35 <sup>0.00</sup>	3.92 <sup>0.73</sup>	3.59 <sup>0.06</sup>
K <sub>2</sub> O	7.98 <sup>0.10</sup>	5.72 <sup>0.14</sup>	5.94 <sup>0.11</sup>	5.76 <sup>0.11</sup>	5.62 <sup>0.29</sup>	5.69 <sup>0.70</sup>	8.08 <sup>0.26</sup>	6.84 <sup>0.00</sup>	7.45 <sup>0.41</sup>	7.07 <sup>0.44</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11 <sup>0.02</sup>	0.02 <sup>0.02</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.04 <sup>0.02</sup>	0.05 <sup>0.01</sup>	0.09 <sup>0.02</sup>	0.12 <sup>0.05</sup>	0.03 <sup>0.00</sup>	0.23 <sup>0.04</sup>	0.36 <sup>0.05</sup>
Cl	0.51 <sup>0.02</sup>	0.63 <sup>0.02</sup>	0.67 <sup>0.03</sup>	0.70 <sup>0.00</sup>	0.57 <sup>0.14</sup>	0.54 <sup>0.27</sup>	0.48 <sup>0.04</sup>	0.72 <sup>0.00</sup>	0.40 <sup>0.05</sup>	0.31 <sup>0.09</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	96.48 <sup>n=4</sup>	95.48 <sup>n=5</sup>	99.44 <sup>n=6</sup>	100.02 <sup>n=3</sup>	96.73 <sup>n=6</sup>	97.96 <sup>n=5</sup>	97.91 <sup>n=2</sup>	93.66 <sup>n=1</sup>	98.19 <sup>n=5</sup>	98.15 <sup>n=6</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

Probe	101,277 SD	101,384 SD	101,425 SD	101,466 SD
SiO <sub>2</sub>	57.51 <sup>0.76</sup>	57.72 <sup>1.08</sup>	57.79 <sup>1.28</sup>	57.07 <sup>0.75</sup>
TiO <sub>2</sub>	0.61 <sup>0.10</sup>	0.62 <sup>0.12</sup>	0.62 <sup>0.13</sup>	0.70 <sup>0.03</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.36 <sup>0.59</sup>	18.60 <sup>0.43</sup>	18.16 <sup>0.23</sup>	18.28 <sup>0.16</sup>
FeOt	4.69 <sup>0.88</sup>	4.67 <sup>1.02</sup>	4.83 <sup>0.82</sup>	5.53 <sup>0.24</sup>
MnO	0.13 <sup>0.04</sup>	0.13 <sup>0.02</sup>	0.15 <sup>0.02</sup>	0.14 <sup>0.02</sup>
MgO	1.29 <sup>0.33</sup>	1.39 <sup>0.62</sup>	1.29 <sup>0.37</sup>	1.57 <sup>0.08</sup>
CaO	3.92 <sup>0.50</sup>	3.88 <sup>0.91</sup>	3.46 <sup>0.61</sup>	3.95 <sup>0.27</sup>
Na <sub>2</sub> O	3.68 <sup>0.22</sup>	3.64 <sup>0.26</sup>	3.66 <sup>0.27</sup>	3.57 <sup>0.10</sup>
K <sub>2</sub> O	7.36 <sup>0.31</sup>	7.63 <sup>0.47</sup>	7.96 <sup>0.39</sup>	7.85 <sup>0.14</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.36 <sup>0.05</sup>	0.30 <sup>0.07</sup>	0.27 <sup>0.07</sup>	0.37 <sup>0.03</sup>
Cl	0.35 <sup>0.08</sup>	0.30 <sup>0.04</sup>	0.35 <sup>0.01</sup>	0.35 <sup>0.02</sup>
F	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>	0.00 <sup>0.00</sup>
<b>Summe</b>	98.18 <sup>n=7</sup>	98.82 <sup>n=9</sup>	98.46 <sup>n=4</sup>	99.30 <sup>n=8</sup>
<b>SDM</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

## ANHANG D

Mikrosondendaten der chemischen Zusammensetzung von Bimsbruchstücken proximaler Tephren (Einzeldaten in Gew.%)

### Vesuv

Probe	Pompeji (79 n.Chr.)						Avellino				Mercato					
	SiO <sub>2</sub>	53.17	54.21	54.82	52.72	54.13	51.98	51.86	52.43	51.50	53.81	56.92	58.01	57.36	56.80	56.85
TiO <sub>2</sub>	0.52	0.44	0.43	0.28	0.44	0.36	0.07	0.29	0.27	0.22	0.12	0.14	0.10	0.11	0.11	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.69	20.17	20.02	21.21	19.98	19.37	21.51	20.22	19.45	21.92	21.07	21.76	21.37	21.23	21.10	21.10
FeOt	4.03	4.07	3.64	2.37	3.47	3.32	1.15	2.73	2.69	2.59	1.65	1.75	1.69	1.63	1.67	1.62
MnO	0.13	0.12	0.15	0.12	0.17	0.13	0.14	0.14	0.12	0.12	0.23	0.20	0.18	0.22	0.18	0.21
MgO	0.90	0.58	0.57	0.35	0.68	0.52	0.06	0.95	0.50	0.57	0.04	0.07	0.05	0.07	0.06	0.05
CaO	4.42	5.64	4.62	5.79	5.46	4.33	1.46	2.76	3.68	2.58	1.56	1.55	1.48	1.50	1.54	1.51
Na <sub>2</sub> O	5.48	5.75	5.44	5.11	5.21	4.88	7.20	5.88	6.18	6.15	7.68	7.93	7.87	8.00	7.05	7.31
K <sub>2</sub> O	7.60	7.37	8.27	5.23	8.05	7.80	7.40	6.58	6.48	6.71	5.74	6.00	5.96	6.08	5.60	5.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.57	0.11	0.11	0.18	0.25	0.05	0.12	0.12	0.17	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04
Cl	0.70	0.68	0.74	0.45	0.71	0.62	0.57	0.48	0.54	0.53	0.61	0.55	0.57	0.57	0.58	0.59
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.19	0.04	0.21	0.32	0.40	0.38	0.29	0.40	0.32
Summe	96.78	99.60	98.81	93.74	98.48	93.56	91.61	92.77	91.57	95.58	95.97	98.38	97.01	96.51	95.14	95.95

### Phlegräische Felder

Probe	Agnano Mt.Spina									Gelber Napolitanischer Tuff						
	SiO <sub>2</sub>	59.07	59.33	58.84	60.32	60.11	60.01	59.53	59.02	60.24	59.34	59.03	58.81	59.28	59.18	59.28
TiO <sub>2</sub>	0.47	0.48	0.50	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	0.46	0.43	0.40	0.43	0.44	0.41	0.43	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.60	17.91	17.74	17.78	17.98	17.87	17.83	17.57	17.80	18.05	17.74	17.80	17.96	17.89	17.86	17.84
FeOt	3.49	3.67	3.71	3.23	3.39	3.50	3.51	3.58	3.27	2.69	2.72	2.85	2.75	2.77	2.69	2.69
MnO	0.12	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.12	0.18	0.15	0.11	0.14	0.13	0.16	0.13	0.14	0.14
MgO	0.77	0.80	0.94	0.56	0.61	0.70	0.67	0.64	0.57	0.50	0.47	0.47	0.49	0.48	0.47	0.46
CaO	2.80	2.85	3.06	2.56	2.73	2.79	2.83	2.66	2.58	2.19	2.43	2.26	2.27	2.25	2.22	2.31
Na <sub>2</sub> O	4.14	4.15	4.20	4.47	4.46	4.61	4.31	4.30	4.35	4.13	3.93	4.00	4.03	4.06	3.81	3.87
K <sub>2</sub> O	7.97	8.24	7.84	8.13	8.17	8.25	7.62	7.99	8.05	7.28	7.40	7.11	7.27	7.11	7.26	7.30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.20	0.21	0.08	0.11	0.15	0.14	0.14	0.11	0.12	0.08	0.07	0.03	0.05	0.09	0.06
Cl	0.59	0.61	0.64	0.75	0.78	0.68	0.67	0.70	0.68	0.56	0.63	0.55	0.59	0.63	0.58	0.56
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	97.18	98.38	97.82	98.48	98.95	99.18	97.69	97.25	98.26	95.40	94.97	94.48	95.27	94.96	94.83	94.84

# ANHANG E

Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>max</sub> korrr. (mm)	f <sub>max</sub>	d <sub>median</sub> (mm)	d <sub>median</sub> korrr. (mm)	Mdf
1	88	9.00	0.80	0.945	0.08	0.450	0.585	0.775
2	818	0.40	0.10	0.224	2.16	0.060	0.183	2.452
3	1072	0.25	1.00	1.151	-0.20	0.450	0.585	0.775
4	1416	3.00	0.50	0.636	0.65	0.300	0.430	1.218
5	1441	35.00	1.10	1.254	-0.33	0.600	0.739	0.436
6	3042	0.10	0.12	0.245	2.03	0.070	0.193	2.373
7	3939	1.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
8	3971	0.35	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
9	3981-3994	22.00	0.40	0.533	0.91	0.100	0.224	2.158
10	4018	24.00	0.60	0.739	0.44	0.350	0.482	1.054
11	4142	0.30	0.15	0.276	1.86	0.090	0.214	2.226
12	4143	0.20	0.15	0.276	1.86	0.100	0.224	2.158
13	4146	14.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
14	4153	17.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
15	4313	6.00	1.50	1.666	-0.74	0.300	0.430	1.218
16	4614	1.00	0.07	0.193	2.37	0.040	0.162	2.624
17	4619	11.00	0.20	0.327	1.61	0.075	0.198	2.335
18	4663	3.00	0.18	0.306	1.71	0.080	0.203	2.298
19	5393	0.75	0.30	0.430	1.22	0.150	0.276	1.860
20	5502	0.10	0.03	0.152	2.72	0.010	0.131	2.929
21	5635	0.70	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
22	5675	0.50	0.30	0.430	1.22	0.150	0.276	1.860
23	6581	1.00	0.10	0.224	2.16	0.040	0.162	2.624
24	6588	1.00	0.20	0.327	1.61	0.080	0.203	2.298
25	6592	0.50	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
26	7151	1.00	0.12	0.245	2.03	0.100	0.224	2.158
27	9258	2.00	0.40	0.533	0.91	0.150	0.276	1.860
28	9317	0.30	0.50	0.636	0.65	0.070	0.193	2.373
29	9503	3.00	0.20	0.327	1.61	0.075	0.198	2.335
30	9590	2.00	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
31	9620	1.00	0.90	1.048	-0.07	0.100	0.224	2.158
32	9678	106.00	1.00	1.151	-0.20	0.600	0.739	0.436
33	9894	1.00	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
34	9958	3.00	0.20	0.327	1.61	0.050	0.173	2.535
35	11187	0.10	0.13	0.255	1.97	0.080	0.203	2.298
36	11207	0.10	0.15	0.276	1.86	0.020	0.142	2.820
37	11501	0.40	0.20	0.327	1.61	0.050	0.173	2.535
38	11516	0.50	0.20	0.327	1.61	0.060	0.183	2.452
39	11522	0.40	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
40	11668	17.00	0.25	0.379	1.40	0.150	0.276	1.860
41	11888	1.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
42	11983	3.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
43	12072	1.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
44	12073	2.00	0.10	0.224	2.16	0.070	0.193	2.373
45	12074	2.00	0.15	0.276	1.86	0.100	0.224	2.158
46	12169	6.00	0.34	0.471	1.09	0.210	0.337	1.568
47	12181	47.00	0.70	0.842	0.25	0.350	0.482	1.054
48	12184	2.00	0.23	0.358	1.48	0.150	0.276	1.860
49	12193	0.10	0.05	0.173	2.54	0.040	0.162	2.624
50	12591	0.20	0.04	0.162	2.62	0.030	0.152	2.719
51	12592	0.10	0.02	0.142	2.82	0.015	0.136	2.874
52	12643	0.30	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
53	12765	0.10	0.05	0.173	2.54	0.030	0.152	2.719
54	12905	0.30	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
55	13172	1.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
56	14106	4.00	0.17	0.296	1.76	0.100	0.224	2.158
57	14113	11.00	0.50	0.636	0.65	0.300	0.430	1.218



# ANHANG E

Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>max</sub> korrr. (mm)	f <sub>max</sub>	d <sub>median</sub> (mm)	d <sub>median</sub> korrr. (mm)	Mdf
58	14115	7.00	0.70	0.842	0.25	0.400	0.533	0.908
59	14458	2.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
60	14501	0.20	0.10	0.224	2.16	0.070	0.193	2.373
61	14557	18.00	0.50	0.636	0.65	0.160	0.286	1.807
62	15028	4.00	0.50	0.636	0.65	0.050	0.173	2.535
63	15215	7.00	0.30	0.430	1.22	0.050	0.173	2.535
64	15243	0.20	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
65	15296	1.00	0.25	0.379	1.40	0.070	0.193	2.373
66	15551	4.00	0.30	0.430	1.22	0.175	0.301	1.731
67	15822	12.00	0.20	0.327	1.61	0.050	0.173	2.535
68	16135	0.30	0.05	0.173	2.54	0.020	0.142	2.820
69	16444	0.50	0.15	0.276	1.86	0.060	0.183	2.452
70	17560	55.00	0.70	0.842	0.25	0.225	0.353	1.503
71	17976	1.40	0.12	0.245	2.03	0.050	0.173	2.535
72	18496	0.30	0.20	0.327	1.61	0.100	0.224	2.158
73	18538	0.20	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
74	19091	0.30	0.06	0.183	2.45	0.050	0.173	2.535
75	19282	182.00	1.00	1.151	-0.20	0.600	0.739	0.436
76	20149	2.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
77	20229	1.00	0.10	0.224	2.16	0.080	0.203	2.298
78	20269	2.00	0.40	0.533	0.91	0.200	0.327	1.613
79	20678	2.00	0.30	0.430	1.22	0.150	0.276	1.860
80	22621	2.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
81	23930	286.00	0.70	0.842	0.25	0.360	0.492	1.024
82	25926	9.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
83	25985	7.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
84	26132	16.00	0.30	0.430	1.22	0.135	0.260	1.943
85	26537	21.00	0.60	0.739	0.44	0.150	0.276	1.860
86	26788	68.00	0.70	0.842	0.25	0.350	0.482	1.054
87	27706	5.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
88	29693	9.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
89	29870	12.00	0.11	0.234	2.09	0.050	0.173	2.535
90	29902	9.00	0.35	0.482	1.05	0.200	0.327	1.613
91	30534	97.00	2.00	2.181	-1.12	1.000	1.151	-0.203
92	30671	0.20	0.03	0.152	2.72	0.020	0.142	2.820
93	30865	1.00	0.20	0.327	1.61	0.100	0.224	2.158
94	30922	4.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
95	30950	5.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
96	31393	27.00	0.50	0.636	0.65	0.070	0.193	2.373
97	32970	181.00	7.00	7.331	-2.87	1.000	1.151	-0.203
98	33040	56.00	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
99	33140	5.00	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
100	33256	4.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
101	33560	13.00	0.45	0.585	0.77	0.150	0.276	1.860
102	33783	1.00	0.22	0.348	1.52	0.060	0.183	2.452
103	34006	4.00	0.25	0.379	1.40	0.080	0.203	2.298
104	34140	1.00	0.40	0.533	0.91	0.150	0.276	1.860
105	34676	3.00	0.40	0.533	0.91	0.040	0.162	2.624
106	34800	15.00	0.40	0.533	0.91	0.250	0.379	1.402
107	35030	7.00	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
108	35055	4.00	0.60	0.739	0.44	0.150	0.276	1.860
109	35075	3.00	0.40	0.533	0.91	0.200	0.327	1.613
110	36367	1.00	0.35	0.482	1.05	0.200	0.327	1.613
111	36754	3.00	0.20	0.327	1.61	0.100	0.224	2.158
112	36765	2.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
113	37620	1.50	0.50	0.636	0.65	0.250	0.379	1.402
114	37669	0.90	0.60	0.739	0.44	0.300	0.430	1.218

# ANHANG E

Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>max</sub> korrr. (mm)	f <sub>max</sub>	d <sub>median</sub> (mm)	d <sub>median</sub> korrr. (mm)	Mdf
115	37703	0.50	0.17	0.296	1.76	0.100	0.224	2.158
116	37718	1.00	0.20	0.327	1.61	0.100	0.224	2.158
117	37891	13.00	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
118	38131	0.20	0.15	0.276	1.86	0.100	0.224	2.158
119	39478	2.00	0.40	0.533	0.91	0.070	0.193	2.373
120	41451	0.30	0.40	0.533	0.91	0.200	0.327	1.613
121	42031	1.30	0.80	0.945	0.08	0.350	0.482	1.054
122	42067	1.80	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
123	42656	5.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
124	43509	2.00	0.40	0.533	0.91	0.200	0.327	1.613
125	44310	1.50	0.30	0.430	1.22	0.060	0.183	2.452
126	45606	16.00	0.30	0.430	1.22	0.150	0.276	1.860
127	45828	3.50	0.35	0.482	1.05	0.050	0.173	2.535
128	46457	1.00	0.60	0.739	0.44	0.200	0.327	1.613
129	46512	0.20	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
130	46559	0.30	0.07	0.193	2.37	0.040	0.162	2.624
131	48145	1.30	0.15	0.276	1.86	0.060	0.183	2.452
132	49726	3.00	0.20	0.327	1.61	0.060	0.183	2.452
133	49777	1.00	0.17	0.296	1.76	0.090	0.214	2.226
134	50926	1.00	0.34	0.471	1.09	0.100	0.224	2.158
135	51811	5.00	0.40	0.533	0.91	0.100	0.224	2.158
136	53486	4.00	0.20	0.327	1.61	0.030	0.152	2.719
137	55000	2.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
138	56252	332.00	1.10	1.254	-0.33	0.150	0.276	1.860
139	56432	3.50	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
140	57568	6.00	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
141	60244	1.50	0.30	0.430	1.22	0.200	0.327	1.613
142	60333	8.00	0.30	0.430	1.22	0.150	0.276	1.860
143	60667	3.00	0.23	0.358	1.48	0.080	0.203	2.298
144	64816	6.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
145	65660	3.00	0.10	0.224	2.16	0.040	0.162	2.624
146	65714	1.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
147	65782	0.20	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
148	66564	8.00	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
149	68304	2.50	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
150	69139	20.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
151	71548	20.00	0.20	0.327	1.61	0.080	0.203	2.298
152	72664	1.00	0.15	0.276	1.86	0.080	0.203	2.298
153	73434	0.30	0.25	0.379	1.40	0.150	0.276	1.860
154	73505	0.40	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
155	73749	1.00	0.30	0.430	1.22	0.150	0.276	1.860
156	74538	1.50	0.10	0.224	2.16	0.040	0.162	2.624
157	75611	20.00	0.10	0.224	2.16	0.150	0.276	1.860
158	75711	0.30	0.05	0.173	2.54	0.020	0.142	2.820
159	77175	2.00	0.11	0.234	2.09	0.080	0.203	2.298
160	77182	7.50	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
161	77624	0.50	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
162	78146	6.00	0.30	0.430	1.22	0.180	0.306	1.707
163	78823	0.60	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
164	78853	0.10	0.10	0.224	2.16	0.070	0.193	2.373
165	79607	0.10	0.10	0.224	2.16	0.080	0.203	2.298
166	79618	1.00	0.11	0.234	2.09	0.040	0.162	2.624
167	79817	0.10	0.05	0.173	2.54	0.030	0.152	2.719
168	80286	0.20	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
169	81887	0.20	0.10	0.224	2.16	0.065	0.188	2.412
170	81907	4.00	0.14	0.265	1.91	0.060	0.183	2.452
171	81950	1.50	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535

# ANHANG E

Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>max</sub> korrr. (mm)	f <sub>max</sub>	d <sub>median</sub> (mm)	d <sub>median</sub> korrr. (mm)	Mdf
172	81965	0.20	0.07	0.193	2.37	0.040	0.162	2.624
173	82006	0.30	0.28	0.409	1.29	0.180	0.306	1.707
174	82131	5.00	0.30	0.430	1.22	0.100	0.224	2.158
175	82257	8.50	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
176	82384	2.40	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
177	82484	7.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
178	82842	1.90	0.15	0.276	1.86	0.090	0.214	2.226
179	83059	9.00	0.21	0.337	1.57	0.150	0.276	1.860
180	83060	8.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
181	83107	1.50	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
182	83184	0.10	0.06	0.183	2.45	0.040	0.162	2.624
183	83278	5.80	0.23	0.358	1.48	0.100	0.224	2.158
184	83689	0.75	0.17	0.296	1.76	0.050	0.173	2.535
185	85323	1.00	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
186	85445	3.00	0.45	0.585	0.77	0.100	0.224	2.158
187	85485	2.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
188	85568	1.00	0.20	0.327	1.61	0.100	0.224	2.158
189	85602	1.00	0.13	0.255	1.97	0.050	0.173	2.535
190	85676	2.00	0.70	0.842	0.25	0.300	0.430	1.218
191	85683	1.00	0.40	0.533	0.91	0.100	0.224	2.158
192	87267	30.00	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
193	87528	0.20	0.17	0.296	1.76	0.080	0.203	2.298
194	87567	0.10	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
195	89127	0.20	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
196	89139	2.00	0.15	0.276	1.86	0.060	0.183	2.452
197	89144	6.50	0.14	0.265	1.91	0.050	0.173	2.535
198	89146	22.00	0.50	0.636	0.65	0.200	0.327	1.613
199	89231	1.00	0.15	0.276	1.86	0.060	0.183	2.452
200	89509	2.30	0.60	0.739	0.44	0.250	0.379	1.402
201	89566	0.60	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
202	89569	0.10	0.06	0.183	2.45	0.040	0.162	2.624
203	89621	1.50	0.20	0.327	1.61	0.060	0.183	2.452
204	89793	0.50	0.06	0.183	2.45	0.040	0.162	2.624
205	89794	0.20	0.06	0.183	2.45	0.040	0.162	2.624
206	89795	0.10	0.06	0.183	2.45	0.030	0.152	2.719
207	89804	4.50	0.17	0.296	1.76	0.050	0.173	2.535
208	89814	2.50	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
209	89815	2.50	0.12	0.245	2.03	0.060	0.183	2.452
210	89816	3.50	0.23	0.358	1.48	0.090	0.214	2.226
211	89818	2.00	0.13	0.255	1.97	0.050	0.173	2.535
212	89819	1.50	0.11	0.234	2.09	0.050	0.173	2.535
213	89834	4.00	0.19	0.317	1.66	0.080	0.203	2.298
214	89836	6.50	0.26	0.389	1.36	0.100	0.224	2.158
215	89838	2.00	0.16	0.286	1.81	0.070	0.193	2.373
216	89841	10.50	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
217	89851	1.30	0.23	0.358	1.48	0.090	0.214	2.226
218	89877	0.80	0.12	0.245	2.03	0.050	0.173	2.535
219	89971	0.10	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
220	90194	2.50	0.15	0.276	1.86	0.050	0.173	2.535
221	91363	5.00	0.15	0.276	1.86	0.060	0.183	2.452
222	91366	3.50	0.26	0.389	1.36	0.110	0.234	2.094
223	91367	2.00	0.25	0.379	1.40	0.100	0.224	2.158
224	91368	0.70	0.04	0.162	2.62	0.030	0.152	2.719
225	91369	7.00	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
226	91374	4.00	0.17	0.296	1.76	0.050	0.173	2.535
227	91376	4.00	0.41	0.543	0.88	0.230	0.358	1.482
228	91378	5.50	0.33	0.461	1.12	0.150	0.276	1.860

# ANHANG E

Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>max</sub> korrr. (mm)	f <sub>max</sub>	d <sub>median</sub> (mm)	d <sub>median</sub> korrr. (mm)	Mdf
229	91795	0.10	0.07	0.193	2.37	0.040	0.162	2.624
230	91820	0.10	0.13	0.255	1.97	0.090	0.214	2.226
231	91836	0.20	0.18	0.306	1.71	0.120	0.245	2.032
232	91995	0.20	0.14	0.265	1.91	0.080	0.203	2.298
233	92040	0.20	0.09	0.214	2.23	0.050	0.173	2.535
234	92361	0.70	0.08	0.203	2.30	0.040	0.162	2.624
235	93207	0.40	0.13	0.255	1.97	0.070	0.193	2.373
236	93674	4.60	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
237	93991	0.10	0.12	0.245	2.03	0.080	0.203	2.298
238	94063	3.00	0.22	0.348	1.52	0.120	0.245	2.032
239	94141	0.20	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
240	94179	0.50	0.23	0.358	1.48	0.100	0.224	2.158
241	94276	14.00	0.60	0.739	0.44	0.150	0.276	1.860
242	94280	48.00	0.48	0.615	0.70	0.250	0.379	1.402
243	94314	1.00	0.12	0.245	2.03	0.050	0.173	2.535
244	94356	0.50	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
245	94377	1.30	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
246	94448	0.50	0.20	0.327	1.61	0.070	0.193	2.373
247	94490	0.90	0.19	0.317	1.66	0.060	0.183	2.452
248	94545	0.10	0.14	0.265	1.91	0.090	0.214	2.226
249	94790	0.10	0.13	0.255	1.97	0.080	0.203	2.298
250	95337	24.00	0.31	0.440	1.18	0.140	0.265	1.915
251	95663	1.00	0.14	0.265	1.91	0.070	0.193	2.373
252	95850	13.00	0.37	0.502	0.99	0.210	0.337	1.568
253	95851	8.00	0.33	0.461	1.12	0.170	0.296	1.756
254	95853	12.00	0.40	0.533	0.91	0.190	0.317	1.659
255	95855	6.00	0.47	0.605	0.72	0.250	0.379	1.402
256	95857	5.00	0.41	0.543	0.88	0.230	0.358	1.482
257	95858	32.00	0.36	0.492	1.02	0.190	0.317	1.659
258	95865	43.00	0.13	0.255	1.97	0.050	0.173	2.535
259	95866	10.00	0.16	0.286	1.81	0.040	0.162	2.624
260	95867	30.00	0.21	0.337	1.57	0.130	0.255	1.972
261	95930	0.20	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
262	96302	0.50	0.09	0.214	2.23	0.050	0.173	2.535
263	96312	2.50	0.29	0.420	1.25	0.120	0.245	2.032
264	96526	1.50	0.26	0.389	1.36	0.110	0.234	2.094
265	96724	3.50	0.28	0.409	1.29	0.150	0.276	1.860
266	97054	10.00	1.10	1.254	-0.33	0.600	0.739	0.436
267	97077	4.50	0.27	0.399	1.33	0.180	0.306	1.707
268	97078	2.00	0.11	0.234	2.09	0.080	0.203	2.298
269	97079	8.00	0.14	0.265	1.91	0.095	0.219	2.192
270	97080	9.50	0.30	0.430	1.22	0.190	0.317	1.659
271	97081	2.50	0.11	0.234	2.09	0.070	0.193	2.373
272	97107	12.00	0.61	0.749	0.42	0.320	0.451	1.150
273	97109	13.00	1.18	1.336	-0.42	0.650	0.791	0.339
274	97114	4.00	0.22	0.348	1.52	0.140	0.265	1.915
275	97253	1.40	0.17	0.296	1.76	0.060	0.183	2.452
276	97255	11.00	0.55	0.688	0.54	0.350	0.482	1.054
277	97256	3.00	0.24	0.368	1.44	0.120	0.245	2.032
278	97274	2.50	0.12	0.245	2.03	0.050	0.173	2.535
279	97354	3.00	0.15	0.276	1.86	0.070	0.193	2.373
280	97356	0.80	0.16	0.286	1.81	0.070	0.193	2.373
281	97366	1.10	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
282	97408	2.00	0.17	0.296	1.76	0.080	0.203	2.298
283	97769	70.00	1.50	1.666	-0.74	0.600	0.739	0.436
284	97770	3.20	1.00	1.151	-0.20	0.600	0.739	0.436
285	97771	6.50	0.80	0.945	0.08	0.560	0.698	0.519

# ANHANG E

Korngrößendaten der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

Nr.	Alter (Jahre BP)	Mächtigkeit (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>max</sub> korrr. (mm)	f <sub>max</sub>	d <sub>median</sub> (mm)	d <sub>median</sub> korrr. (mm)	Mdf
286	97772	14.40	0.50	0.636	0.65	0.300	0.430	1.218
287	97774	3.60	0.31	0.440	1.18	0.130	0.255	1.972
288	97786	1.25	0.42	0.554	0.85	0.200	0.327	1.613
289	97819	2.00	0.36	0.492	1.02	0.240	0.368	1.441
290	97836	4.40	0.39	0.523	0.94	0.200	0.327	1.613
291	97850	3.20	0.33	0.461	1.12	0.170	0.296	1.756
292	97958	0.80	0.12	0.245	2.03	0.070	0.193	2.373
293	98087	0.20	0.03	0.152	2.72	0.020	0.142	2.820
294	98093	12.00	0.95	1.100	-0.14	0.500	0.636	0.653
295	98519	0.70	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
296	98734	2.00	0.34	0.471	1.09	0.150	0.276	1.860
297	98735	0.40	0.11	0.234	2.09	0.085	0.209	2.262
298	98736	3.00	0.16	0.286	1.81	0.070	0.193	2.373
299	98737	5.00	0.43	0.564	0.83	0.270	0.399	1.325
300	98738	1.00	0.36	0.492	1.02	0.190	0.317	1.659
301	98739	5.00	0.75	0.894	0.16	0.450	0.585	0.775
302	98740	12.00	0.54	0.677	0.56	0.290	0.420	1.253
303	98741	1.00	0.25	0.379	1.40	0.130	0.255	1.972
304	98742	1.50	0.41	0.543	0.88	0.250	0.379	1.402
305	98743	2.00	0.21	0.337	1.57	0.110	0.234	2.094
306	98745	13.00	0.30	0.430	1.22	0.170	0.296	1.756
307	98746	12.00	0.32	0.451	1.15	0.150	0.276	1.860
308	98749	29.00	0.06	0.183	2.45	0.040	0.162	2.624
309	98750	9.00	0.10	0.224	2.16	0.075	0.198	2.335
310	98753	97.00	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
311	98766	1.00	0.58	0.718	0.48	0.350	0.482	1.054
312	98995	1.60	0.33	0.461	1.12	0.080	0.203	2.298
313	99121	0.50	0.10	0.224	2.16	0.050	0.173	2.535
314	99144	0.10	0.09	0.214	2.23	0.050	0.173	2.535
315	99657	0.20	0.06	0.183	2.45	0.040	0.162	2.624
316	99753	8.00	0.45	0.585	0.77	0.200	0.327	1.613
317	99799	0.20	0.09	0.214	2.23	0.070	0.193	2.373
318	99945	2.60	0.33	0.461	1.12	0.150	0.276	1.860
319	100000	8.00	0.19	0.317	1.66	0.070	0.193	2.373
320	100237	2.00	0.43	0.564	0.83	0.250	0.379	1.402
321	100244	0.20	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
322	100317	4.00	0.13	0.255	1.97	0.060	0.183	2.452
323	100522	0.20	0.08	0.203	2.30	0.050	0.173	2.535
324	100523	1.00	0.11	0.234	2.09	0.050	0.173	2.535
325	101204	2.30	0.23	0.358	1.48	0.200	0.327	1.613
326	101210	0.70	0.18	0.306	1.71	0.100	0.224	2.158
327	101215	4.80	0.31	0.440	1.18	0.075	0.198	2.335
328	101239	0.20	0.17	0.296	1.76	0.100	0.224	2.158
329	101259	0.10	0.07	0.193	2.37	0.050	0.173	2.535
330	101277	0.10	0.09	0.214	2.23	0.060	0.183	2.452
331	101384	0.10	0.12	0.245	2.03	0.040	0.162	2.624
332	101425	1.50	0.15	0.276	1.86	0.125	0.250	2.001
333	101466	0.20	0.41	0.543	0.88	0.25	0.379	1.402
334	101654	1.00	0.04	0.162	2.62	0.03	0.152	2.719
335	101657	7.00	0.05	0.173	2.54	0.04	0.162	2.624
336	101658	5.00	0.06	0.183	2.45	0.04	0.162	2.624

## Verzeichnis der Tafeln

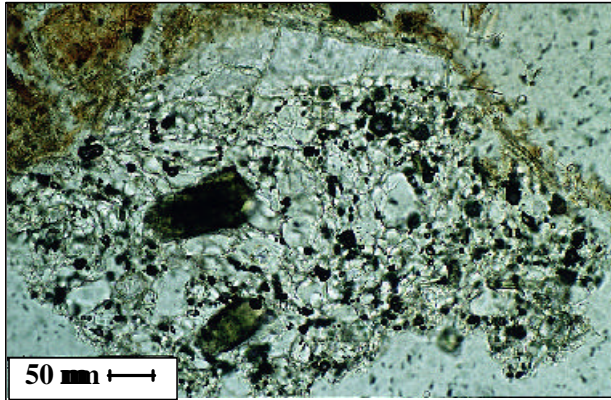
### Tafel A : Mikroskopische Aufnahmen der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil

- A1 :** LGM-88; phonolithischer Bims mit Kristalleinschlüssen (Augite); 1631 n.Chr. / Vesuv.
- A2 :** LGM-1441; dunkle foiditische Schlacken, Lithoklasten und Phänokristalle (Sanidine, Augite) mit Glasanwachsungen (gekreuzte Polarisatoren); Pollena-Tephra / Vesuv.
- A3 :** LGM-3994; tephriphonolithisches Glas mit Leuzit- und Ägirin-Einschlüssen; AP6-Tephra / Vesuv.
- A4 :** LGM-4313; hochporöser, phonolithischer Bims mit Sodalith- und Ägirinaugit-Einschlüssen; Avellino-Tephra / Vesuv.
- A5 :** LGM-9678; blasenreicher, phonolithischer Bims mit Sanidin-Einschluß; Mercato-Tephra / Vesuv.
- A6 :** LGM-12.169; blasenarmes, tephriphonolithisches Glas mit Leuzit-Einschluß (rechts oben); Pomici Principali (Top) / Phlegräische Felder.
- A7 :** LGM-12.181; Varitäten von phonolithischen Bimsen und Gläsern; Pomici Principali (Basis) / Phlegräische Felder.
- A8 :** LGM-14.115; poröser, trachytischer Bims; Gelber Napolitanischer Tuff / Phlegräische Felder.
- A9 :** LGM-16.444; dunkelbraunes, trachyandesitisches Glas und Phänokristalle (Klinopyroxen, Plagioklas); Biancavilla Ignimbrit (Y-1) / Ätna.
- A10 :** LGM-17.560; trachytischer Bims mit Ägirinaugit-Einschlüssen; Verdoline-Tephra / Vesuv.
- A11 :** LGM-17.976; dunkle trachydazitische Gläser, umgeben von Sediment; Biancavilla Ignimbrit / Ätna.
- A12 :** LGM-19.282; vulkanitische Lithoklasten aus Feldspäten, Klinopyroxenen und Fe-Ti-Oxiden; Pomici di Base / Vesuv.
- A13 :** LGM-23.930; blasenreicher, trachytischer Bims; Y-3 / Phlegräische Felder.
- A14 :** LGM-20.678; hellbraunes, tephriphonolithisches Glas mit idiomorphen Leuzit-Einschlüssen; Peperini-Tuffe (umgelagert) / Albaner Berge.
- A15 :** LGM-25.926; idiomorpher Leuzit-Kristall mit „Schlackenkränzchen“ (orientierte Glaseinschlüsse); Peperini-Tuffe / Albaner Berge.
- A16 :** LGM-25.985; hellbraunes, phonotephritisches Glas mit Leuzit-Einschlüssen, umgeben von einer schwarzen Matrix; Peperini-Tuffe / Albaner Berge.
- A17 :** LGM-26.788; dunkle, trachytische Schlacken; Codola-Tephra? / Vesuv.
- A18 :** LGM-29.902; trachybasaltisches Glas mit Ägirinaugit-Kristallen; Peperini-Tuffe / Albaner Berge.
- A19 :** LGM-30.534; karbonatische Lithoklasten und Phänokristalle (Augite, Leuzite, Biotite); Peperini-Tuffe / Albaner Berge.
- A20 :** LGM-32.930; braune, trachytische Glasscherbe („glass shard“); Campanischer Ignimbrit / Phlegräische Felder.
- A21 :** LGM-32.930; hochporöser trachytischer Bims; Campanischer Ignimbrit / Phlegräische Felder.
- A22 :** LGM-36.367; trachyandesitischer Bims mit Apatit- und Augiteinschlüssen; unbekannt / Prócida-Vivara.
- A23 :** LGM-37.669; trachytisches Glas mit unregelmäßig geformten Blasen; Citara-Tuffe / Ischia.
- A24 :** LGM-56.252; fibröse, trachytische Glasscherben, vermischt mit Sediment; Tufo Verde Epomeo *sensu strictu* (ignimbritische Fazies) / Ischia.
- A25 :** LGM-74.538; poröser, trachyandesitischer Bims mit Apatit-Einschlüssen; Petrazza-Tuffe (Y-9) / Stromboli (Äolische Inseln).
- A26 :** LGM-85.323; fibröse Na-rhyolithische Glasscherben; Ante Green-Ignimbrit (P-10) / Pantelleria.
- A27 :** LGM-85.323; Na-rhyolithische Glasscherben mit unregelmäßig geformte Blasen; Ante Green-Ignimbrit (P-10) / Pantelleria.
- A28 :** LGM-89.146; phonolithische Gläser mit hydromagmatisch alterierten, braunen Säumen; Tufo di Baccano / Sabatiner Berge.
- A29 :** LGM-97.769; dunkle trachytische Gläser, Phänokristalle (Augit) und vulkanitische Lithoklasten; X-5 / Phlegräische Felder.
- A30 :** LGM-98.749; feinkörnige trachytische Glasscherben; X-5 (ignimbritische Fazies) / Phlegräische Felder.

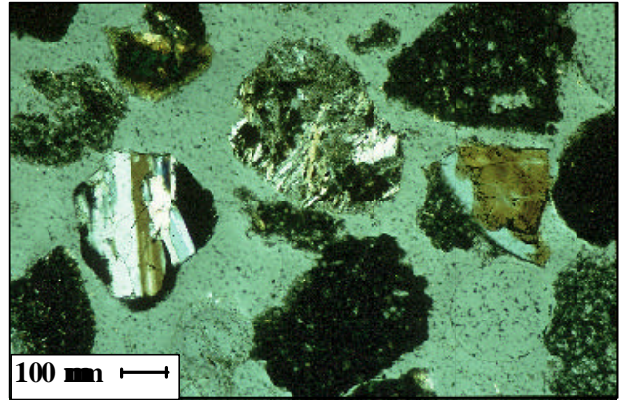
---

**Tafel B : Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von vulkanischen Gläsern der Fallout-Tephren aus dem Monticchio-Profil**

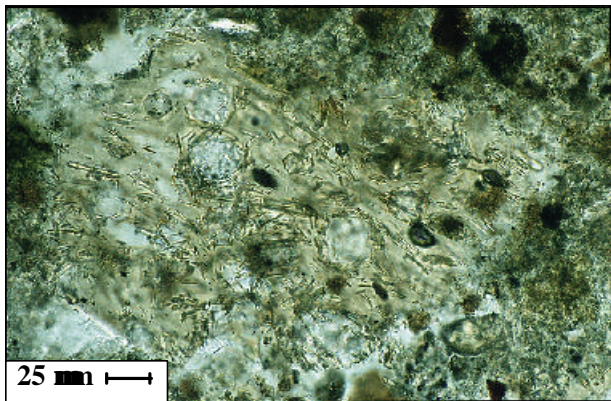
- B1 :** *LGM-1441*; phonotephritischer Bims; Pollena-Tephra / Vesuv.  
**B2 :** *LGM-3992*; tephriphonolithisches Glas; AP6-Tephra / Vesuv.  
**B3 :** *LGM-4153*; phonolithischer Bims; AP2-Tephra / Vesuv.  
**B4 :** *LGM-4619*; trachytischer Bims; Agnano Monte Spina-Tephra / Phlegräische Felder.  
**B5 :** *LGM-9678*; phonolithischer Bims; Mercato-Tephra / Vesuv.  
**B6 :** *LGM-11.668*; trachyandesitisches Glas; Soccavo 4-Tephra (VM2?) / Phlegräische Felder.  
**B7 :** *LGM-12.181*; phonolithisches Glas; Pomici Principali (Basis) / Phlegräische Felder.  
**B8 :** *LGM-14.115*; latitisches Glas; Gelber Napolitanischer Tuff / Phlegräische Felder.  
**B9 :** *LGM-14.557*; trachytischer Bims; Tufi Biancastri (VM1) / Phlegräische Felder.  
**B10 :** *LGM-17.560*; trachytisches Glas; Verdoline-Tephra / Vesuv.  
**B11 :** *LGM-19.282*; trachytischer Bims; Pomici di Base / Vesuv.  
**B12 :** *LGM-20.269*; trachytisches Glas; Faro di Punta Imperatore-Tephra? / Ischia.  
**B13 :** *LGM-23.930*; trachytische Glas; Y-3-Tephra / Phlegräische Felder.  
**B14 :** *LGM-23.930*; trachytische Glas; Y-3-Tephra / Phlegräische Felder.  
**B15 :** *LGM-23.930*; trachytische Glas; Y-3-Tephra / Phlegräische Felder.  
**B16 :** *LGM-23.930*; trachytische Glas; Y-3-Tephra / Phlegräische Felder.  
**B17 :** *LGM-26.132*; tephriphonolithisches Glas; Peperini-Tuffe / Albaner Berge.  
**B18 :** *LGM-26.537*; trachytischer Bims; Codola-Tephra? / Vesuv.  
**B19 :** *LGM-26.788*; phonolithische Schlacke; Codola-Tephra / Vesuv.  
**B20 :** *LGM-32.970*; phonolithisches Glas; Campanischer Ignimbrit / Phlegräische Felder.  
**B21 :** *LGM-32.970*; trachytische Glasscherbe; Campanischer Ignimbrit / Phlegräische Felder.  
**B22 :** *LGM-33.040*; trachytisches Glas; Citara-Tuffe / Ischia.  
**B23 :** *LGM-33.040*; trachytischer Bims; Citara-Tuffe / Ischia.  
**B24 :** *LGM-34.800*; trachytisch-phonolithischer Bims; unbekannt / Ischia oder Phlegräische Felder.  
**B25 :** *LGM-37.891*; trachytisches Glas; Citara-Tuffe / Ischia.  
**B26 :** *LGM-45.606*; trachytisch-phonolithisches Glas; unbekannt / Ischia oder Phlegräische Felder.  
**B27 :** *LGM-51.811*; trachytisches Glas; Barano-Tuffe / Ischia.  
**B28 :** *LGM-51.811*; trachytischer Bims; Barano-Tuffe / Ischia.  
**B29 :** *LGM-55.000*; trachytischer Bims; Tufo Verde Epomeo *sensu strictu* (umgelagert) / Ischia.  
**B30 :** *LGM-56.252*; trachytische Glasscherbe; Tufo Verde Epomeo *sensu strictu* / Ischia.  
**B31 :** *LGM-56.252*; trachytisches Glas; Tufo Verde Epomeo *sensu strictu* / Ischia.  
**B32 :** *LGM-60.333*; trachytischer Bims; Unità di Monte San Angelo (Basis) / Ischia.  
**B33 :** *LGM-75.611*; phonolithisches Glas; unbekannt / Phlegräische Felder.  
**B34 :** *LGM-82.484*; trachytisches Glas; unbekannt / Phlegräische Felder.  
**B35 :** *LGM-97.054*; phonolithisches Glas; unbekannt / Phlegräische Felder.  
**B36 :** *LGM-97.769*; trachytischer Bims; X-5-Tephra / Phlegräische Felder.



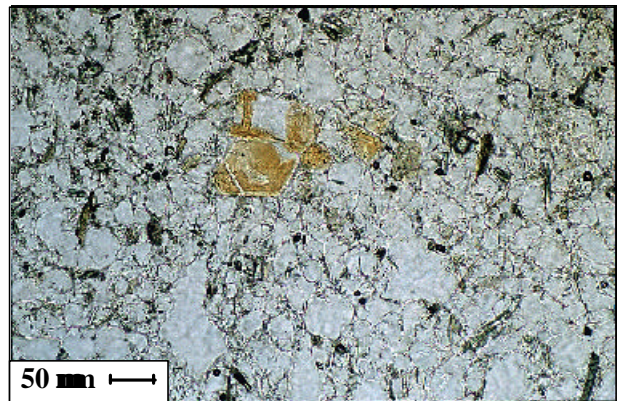
1) LGM-88



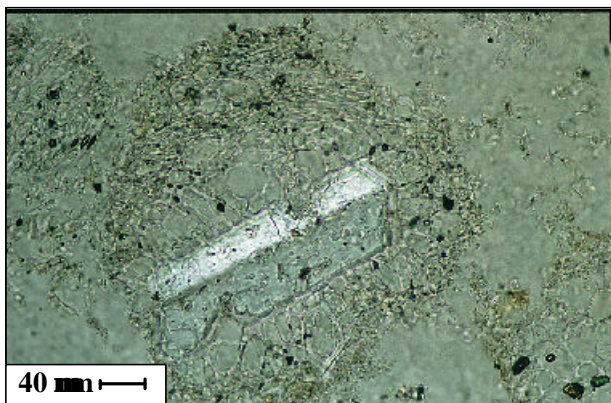
2) LGM-1441



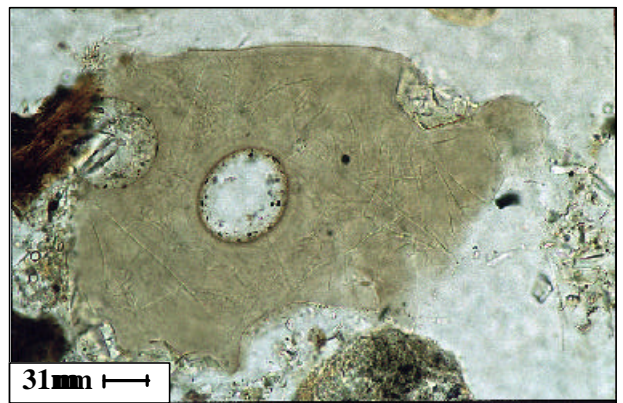
3) LGM-3994



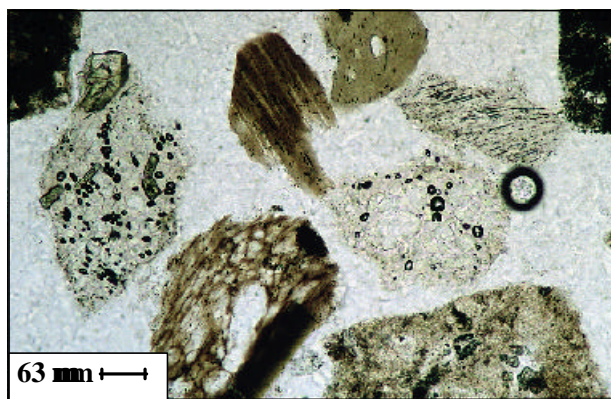
4) LGM-4313



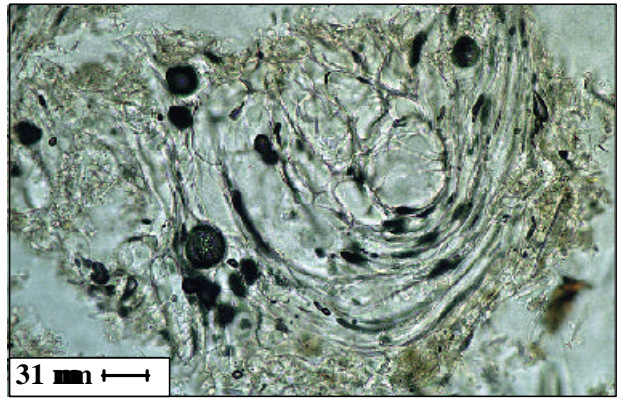
5) LGM-9678



6) LGM-12.169

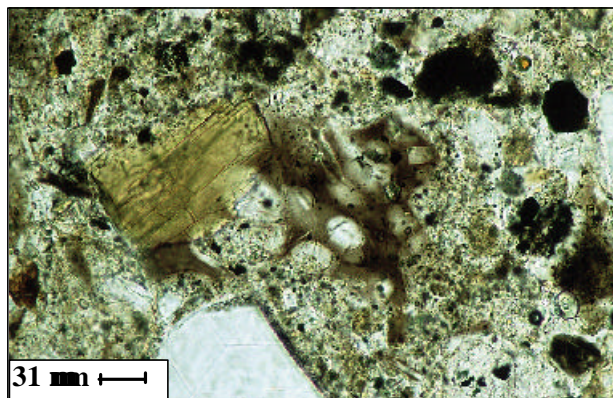


7) LGM-12.181

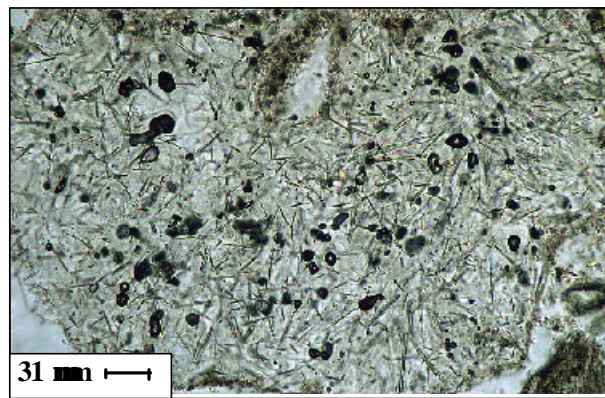


8) LGM-14.115

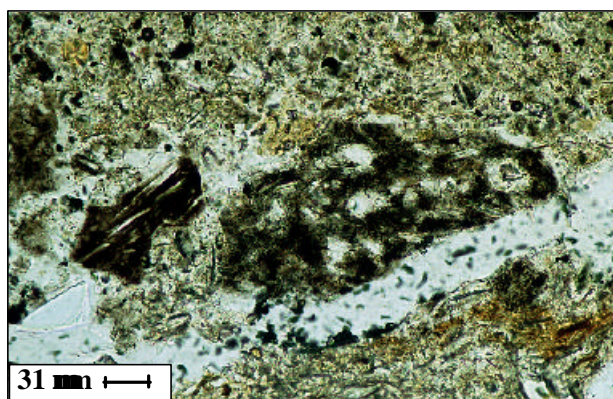




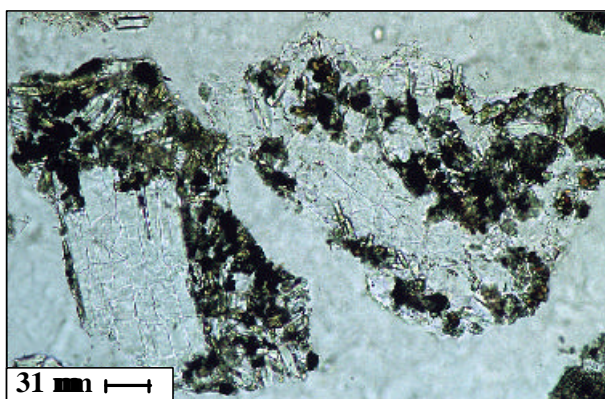
9) LGM-16.444



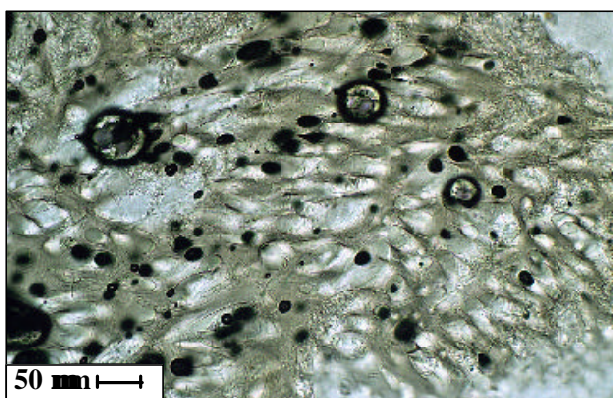
10) LGM-17.560



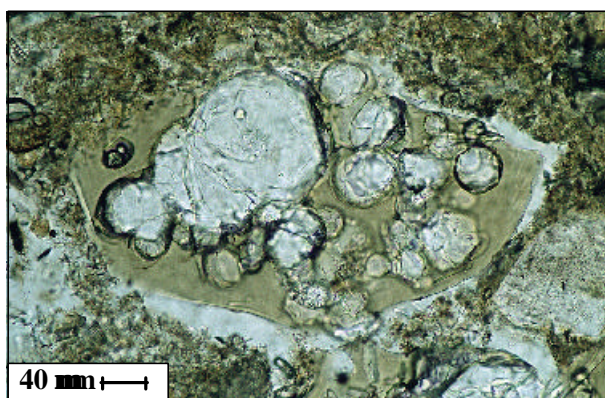
11) LGM-17.976



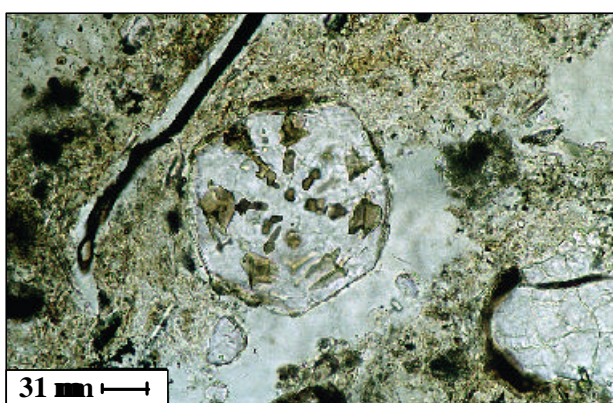
12) LGM-19.282



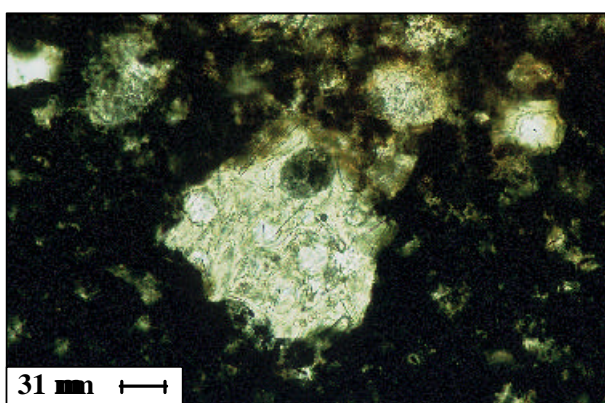
13) LGM-23.930



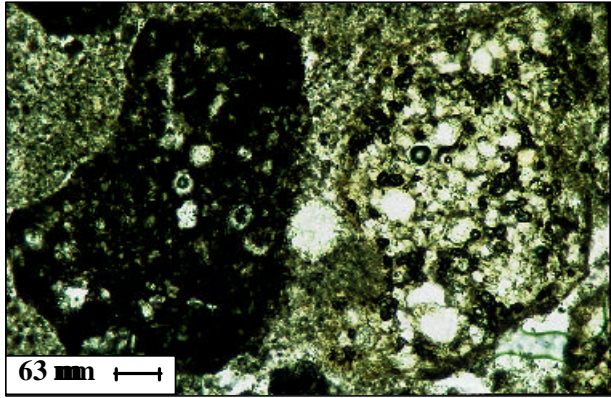
14) LGM.20.678



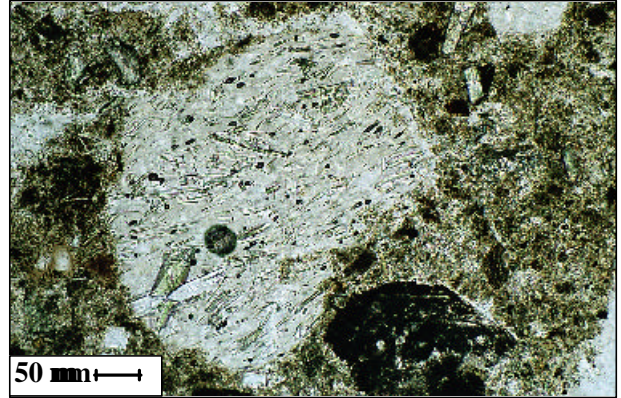
15) LGM-25.926



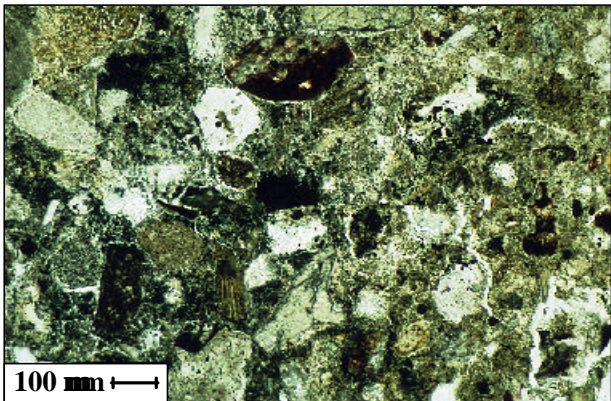
16) LGM-25.985



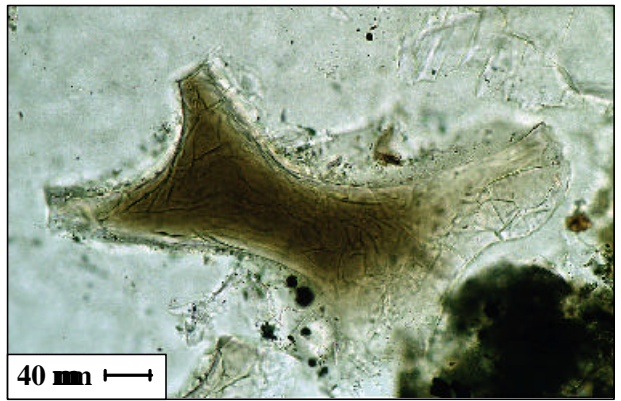
17) LGM-26.788



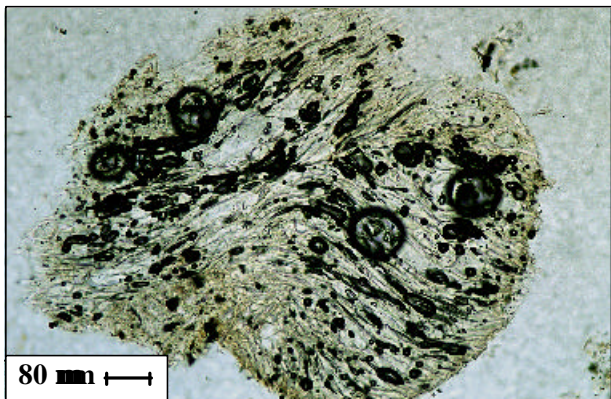
18) LGM-29.902



19) LGM-30.534



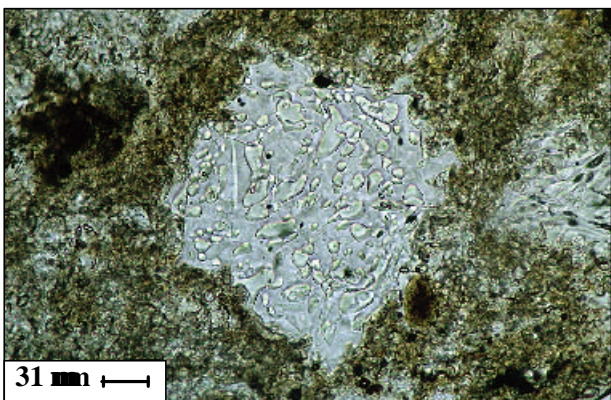
20) LGM-32.970



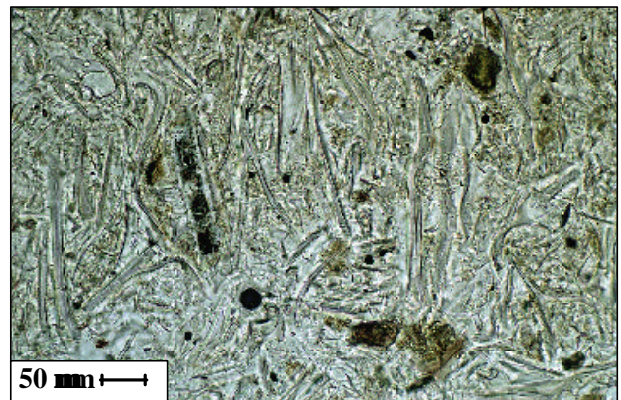
21) LGM-32.970



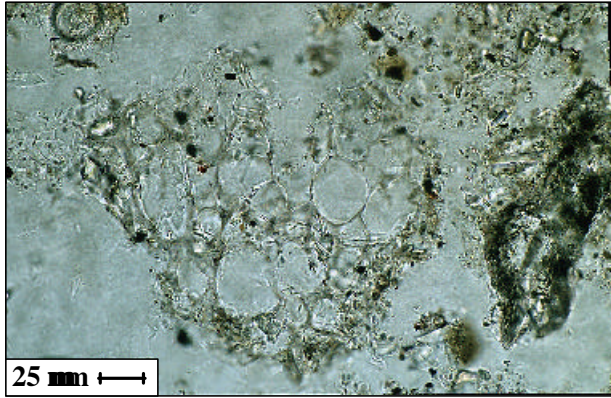
22) LGM-36.367



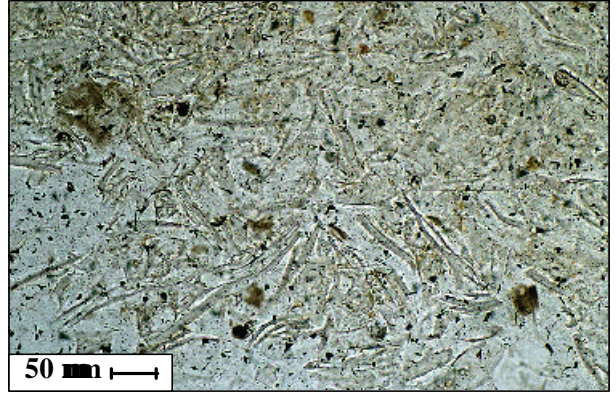
23) LGM-37.669



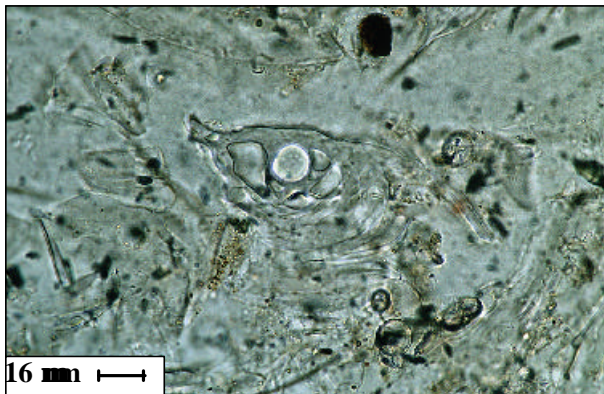
24) LGM-56.252



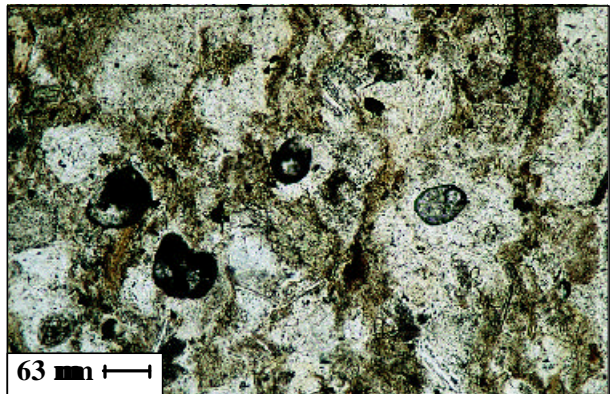
25) LGM-74.538



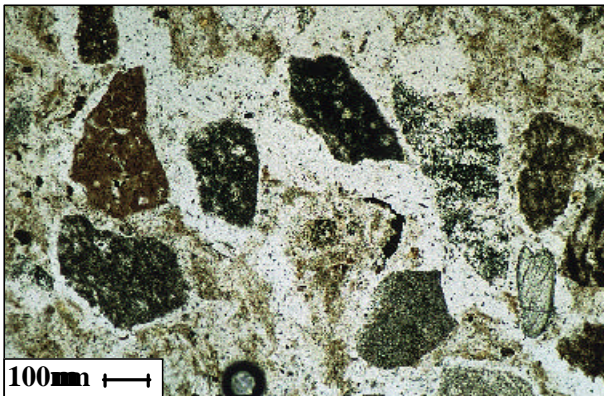
26) LGM-85.323



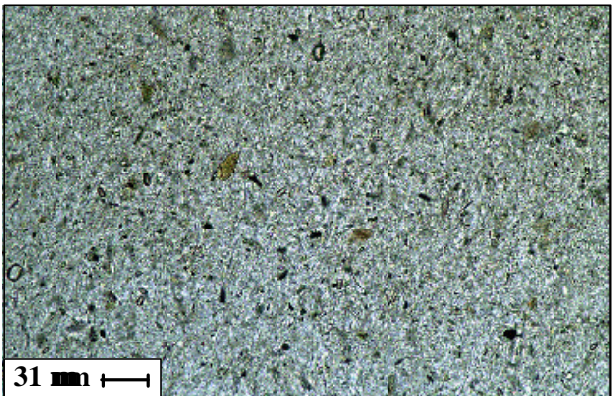
27) LGM-85.323



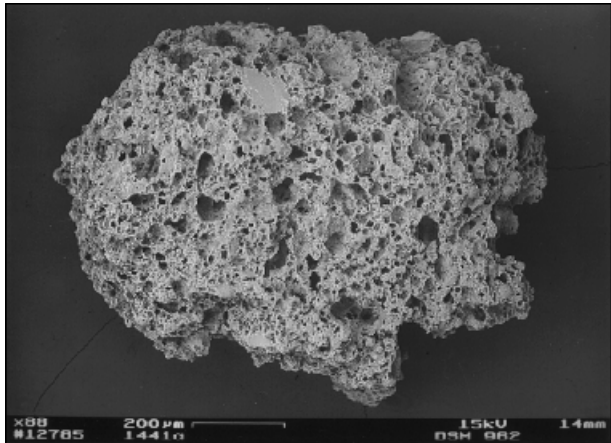
28) LGM-89.146



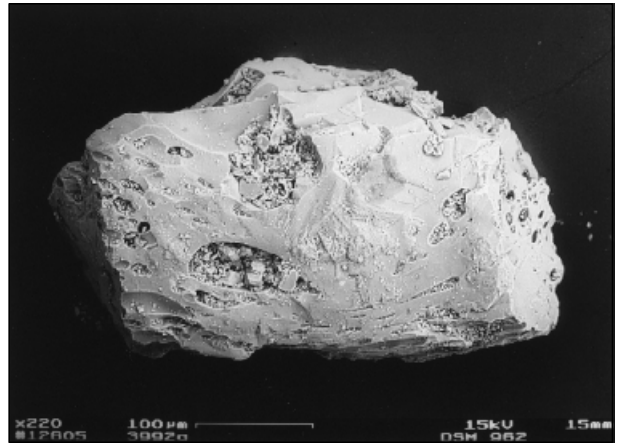
29) LGM-97.769



30) LGM-98.749



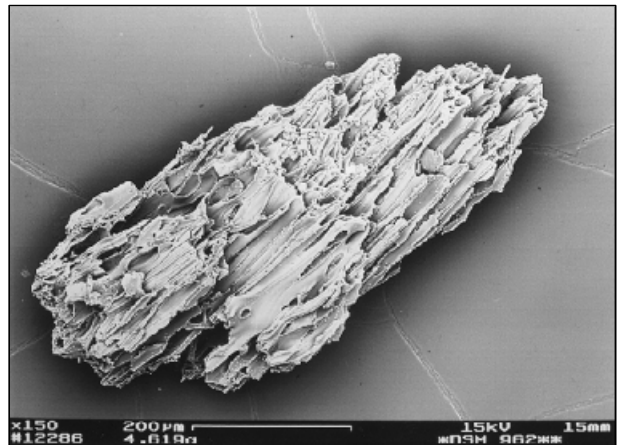
1) LGM-1441



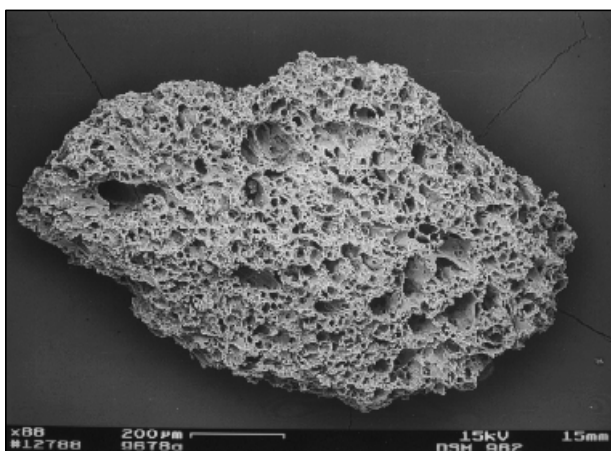
2) LGM-3992



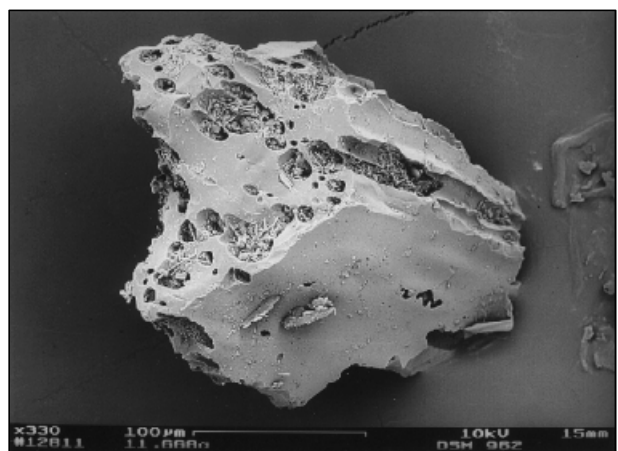
3) LGM-4153



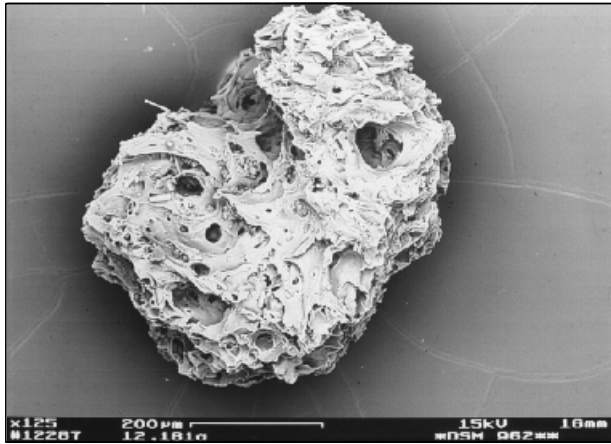
4) LGM-4619



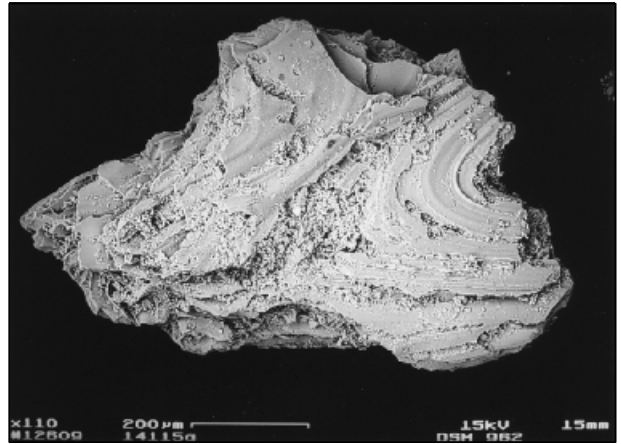
5) LGM-9678



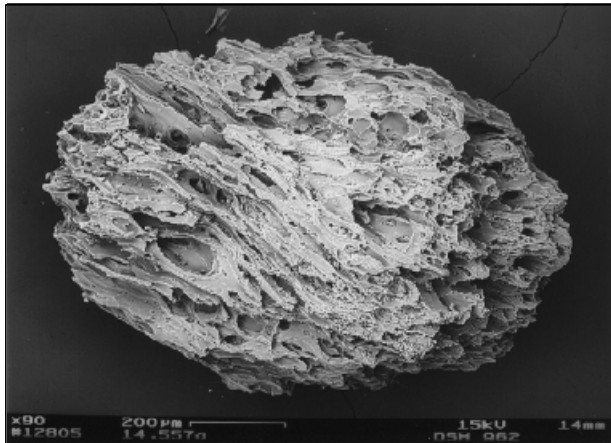
6) LGM-11.668



7) LGM-12.181



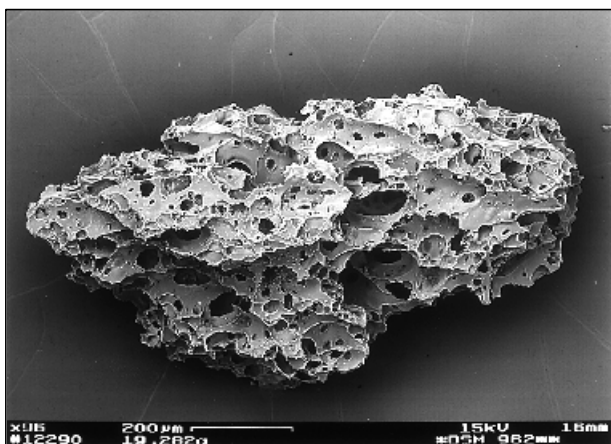
8) LGM-14.115



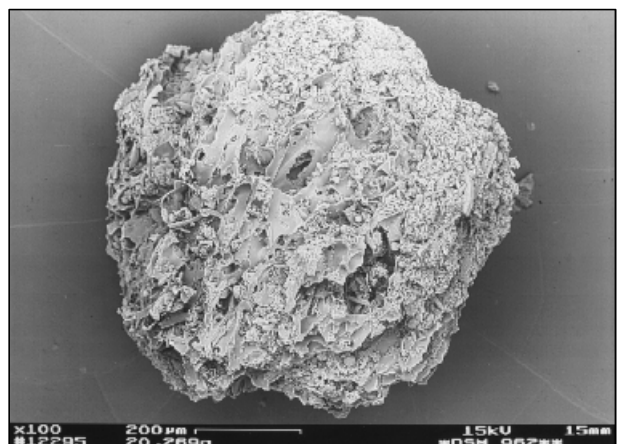
9) LGM-14.557



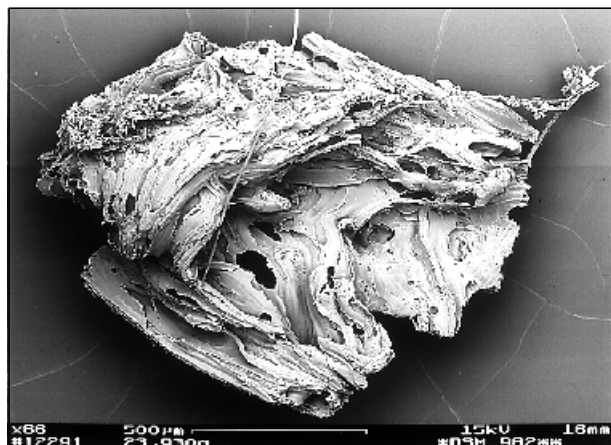
10) LGM-17.560



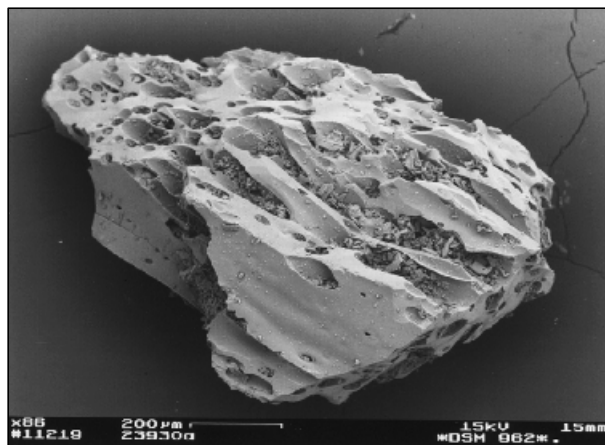
11) LGM-19.282



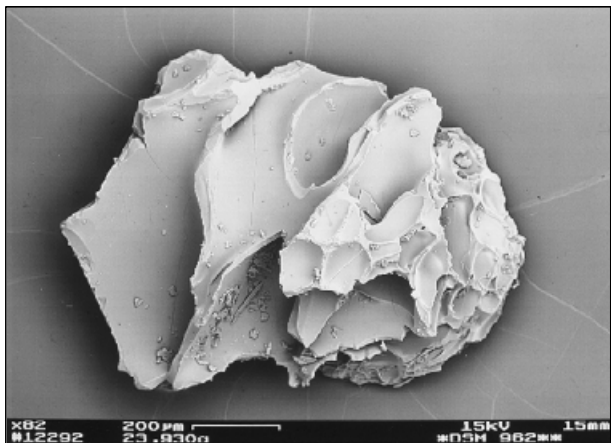
12) LGM-20.269



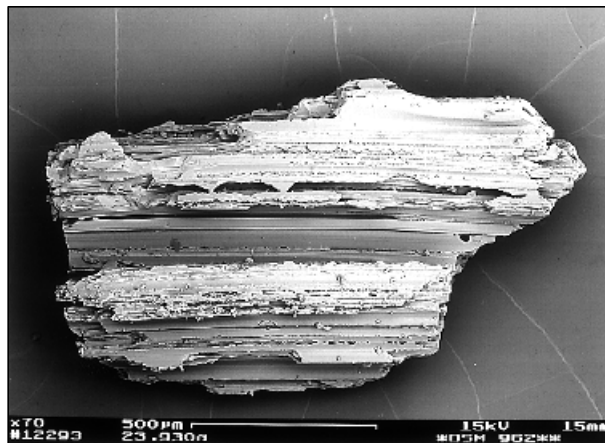
13) LGM-23.930



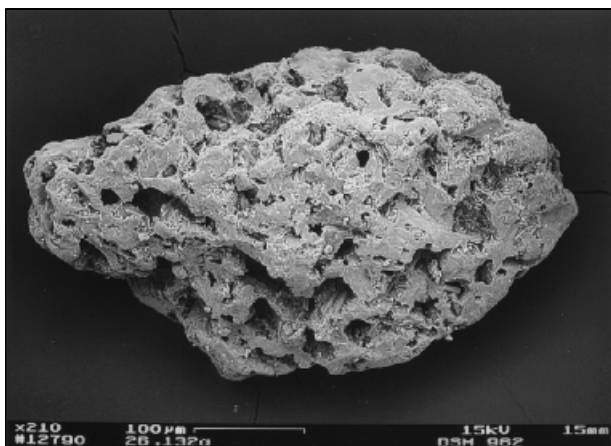
14) LGM-23.930



15) LGM-23.930



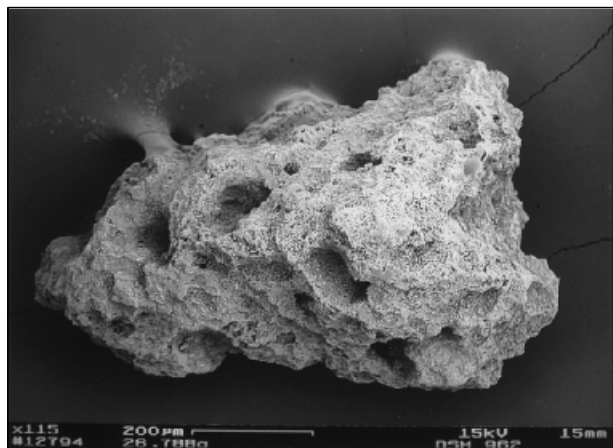
16) LGM-23.930



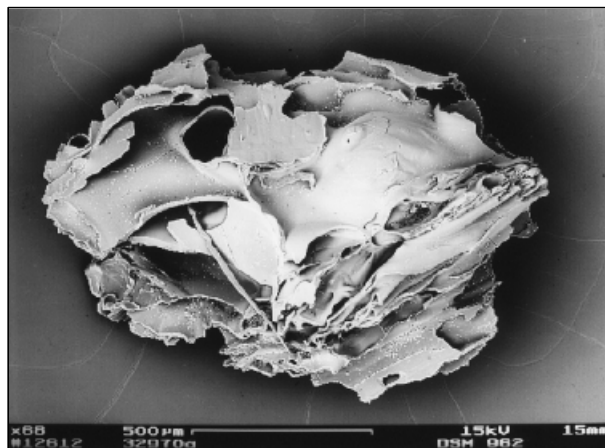
17) LGM-26.132



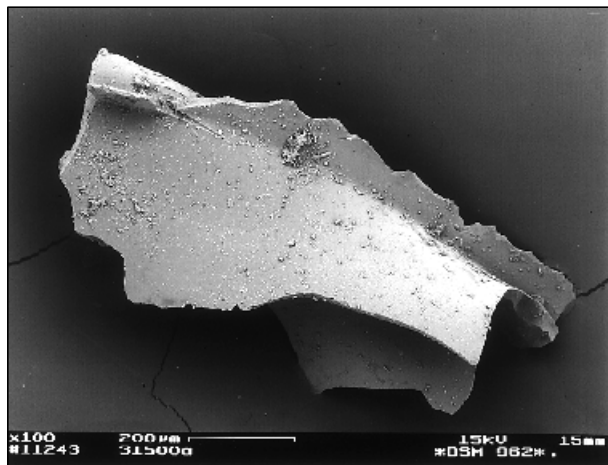
18) LGM-26.537



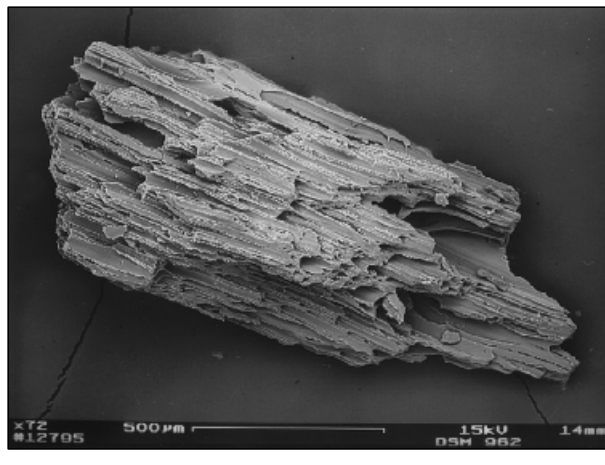
19) LGM-26.788



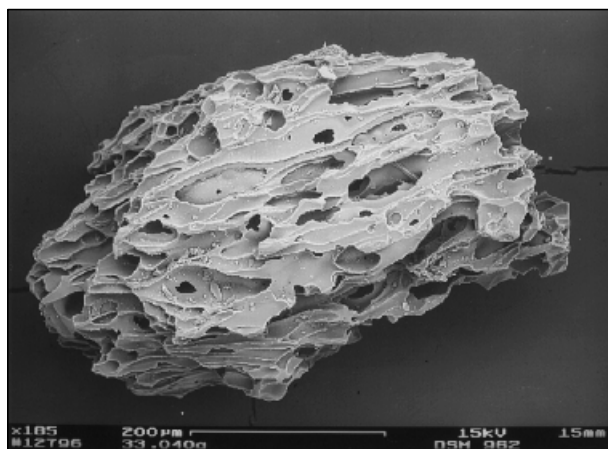
20) LGM-32.970



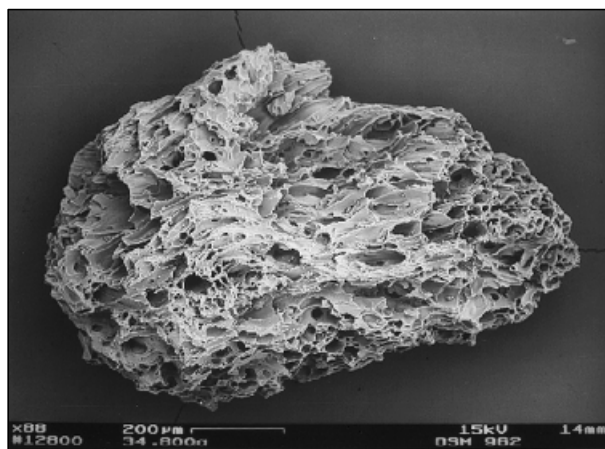
21) LGM-32.970



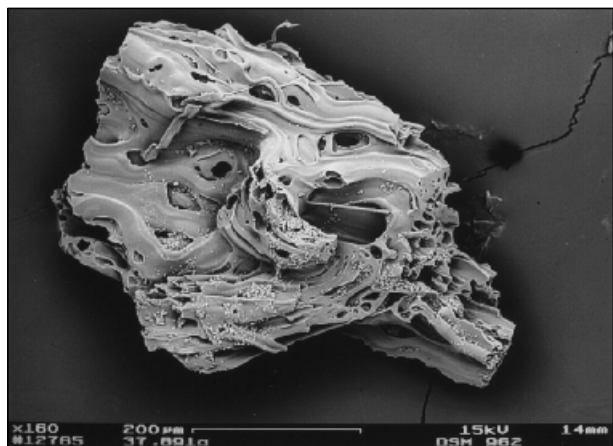
22) LGM-33.040



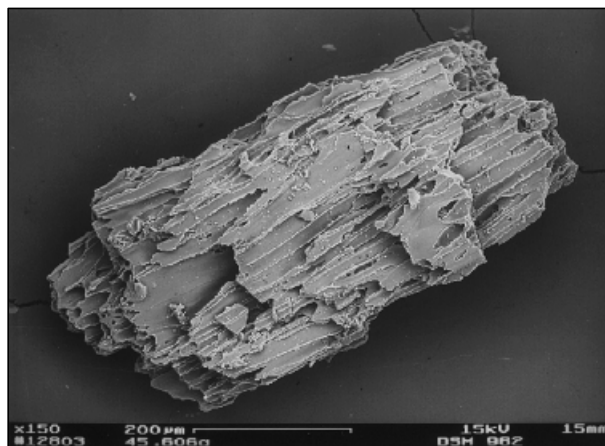
23) LGM-33.040



24) LGM-34.800



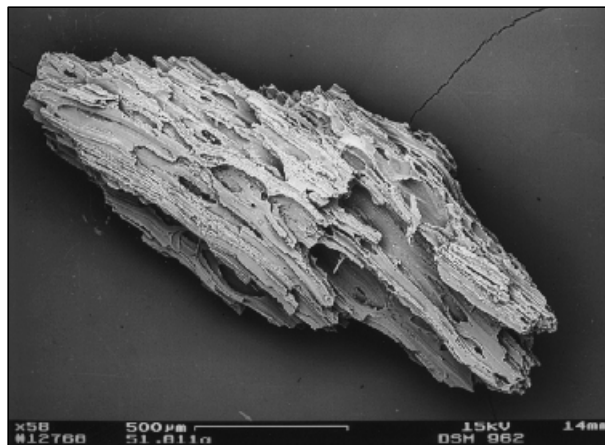
25) LGM-37.891



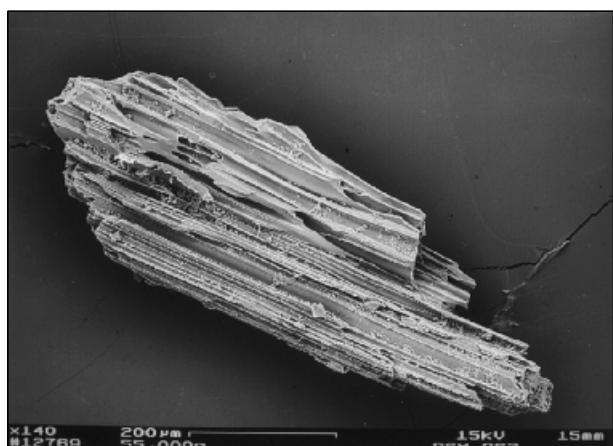
26) LGM-45.606



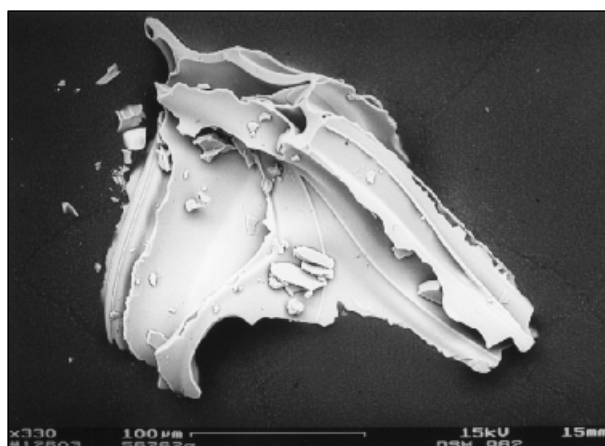
27) LGM-51.811



28) LGM-51.811

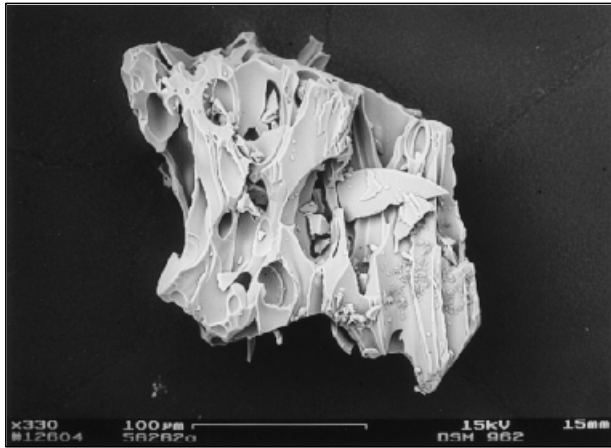


29) LGM-55.000

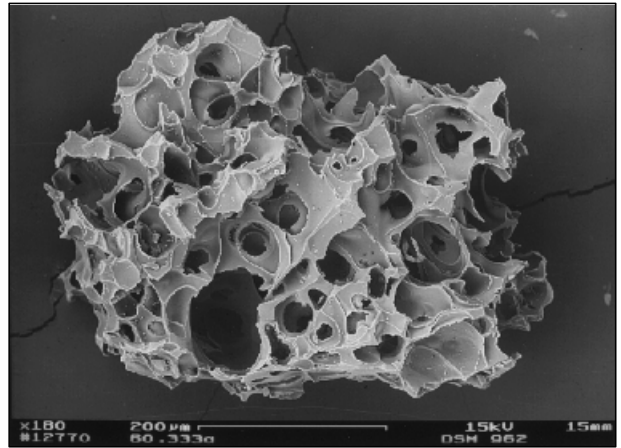


30) LGM-56.252

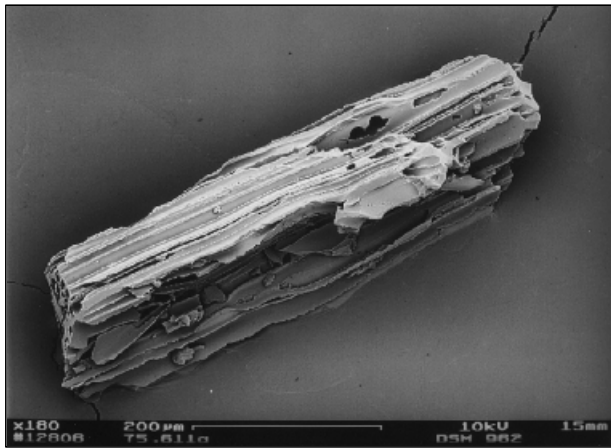




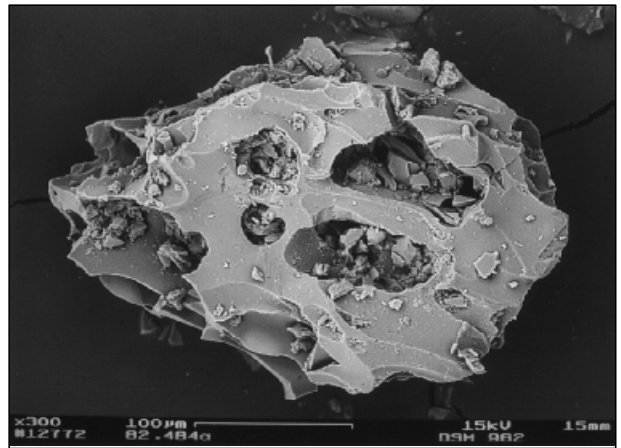
31) LGM-56.252



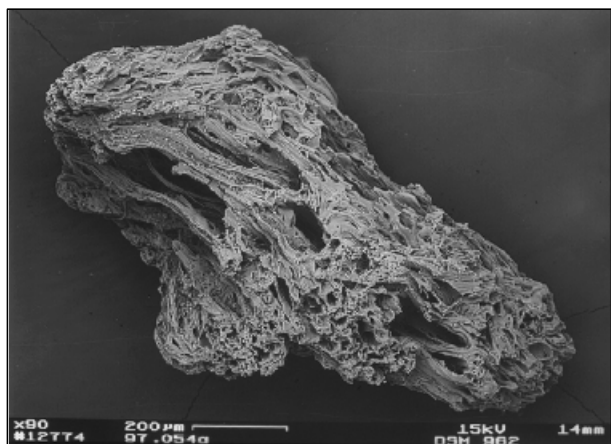
32) LGM-60.333



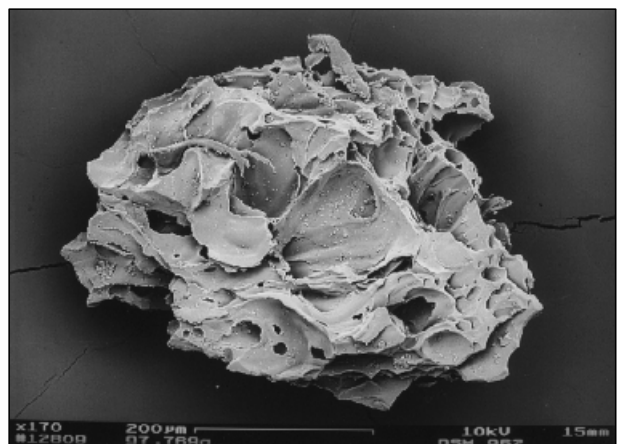
33) LGM-75.611



34) LGM-82.484



35) LGM-97.054



36) LGM-97.769