

Ein inneralpiner Neufund des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) aus dem Abtenauer Becken (Salzburg, Österreich)

Sebastian Krutter

Abstract

In 2017 in the river bed of the Zwieselbach in the inneralpine Abtenau Basin a fossil tusk fragment was found, which is assigned to an adult male woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*). According to a radiocarbon date of about 31,000 cal BP the tusk fragment dates to the beginning Late Würmian of the Upper Pleistocene and prove still ice-free conditions in the Abtenau Basin in the onset of the Last Glacial Maximum (LGM, 29,000-19,000 BP). The carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}_{\text{coll}}$) stable isotope values indicate a cold steppe environment with permafrost and a grass-dominated nutrition of the woolly mammoth. The tusk fragment originally deposited probably in fine sediments of a stillwater area within pre LGM gravel deposits, while the preservation condition and the discovery site indicate a secondary dislocation into the river bed of the Zwieselbach and a short transport within the fluvial gravel in the Holocene. If the woolly mammoth was captured by carnivores or died naturally remains unclear, whereas an influence of Palaeolithic hunters seems very unlikely. Nevertheless, the tusk fragment from the Zwieselbachgraben in the Abtenau Basin currently is the youngest dated woolly mammoth find from inneralpine regions of the Eastern Alps.

Zusammenfassung

Im Jahr 2017 wurde im Bachbett des Zwieselbachgrabens im inneralpinen Abtenauer Becken ein fossiles Stoßzahnfragment eines adulten männlichen Individuums des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) entdeckt. Ein ^{14}C -Datum von rund 31.000 cal BP datiert den Fossilrest in das Spätwürm des Jungpleistozäns und zeigt eisfreie Umweltbedingungen für das Abtenauer Becken im unmittelbaren Vorfeld der letzten Maximalvereisung (LGM, 29.000-19.000 BP) an. Die stabilen Isotopen von Kohlenstoff ($\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) und Stickstoff ($\delta^{15}\text{N}_{\text{coll}}$) belegen eine kalt-trockene Steppenlandschaft mit Permafrost sowie eine von Gräsern dominierte Ernährung des Wollhaarmammuts. Der Stoßzahn wurde ursprünglich vermutlich in einem von Feinsediment geprägten Stillwasserbereich in präglazialen Schotter abgelagert, während der Erhaltungszustand und die Fundstelle eine sekundäre Verfrachtung in das Bachbett des Zwieselbaches sowie einen kurzzeitigen Transport im fluviatilen Schotter anzeigen. Während ein anthropogener Einfluss des paläolithischen Menschen als sehr unwahrscheinlich gelten kann, ist unklar, ob das Wollhaarmammut von Carnivoren erbeutet wurde oder eines natürli-

chen Todes verwendet. Ungeachtet dessen, ist das aus dem Zwieselbachgraben stammende Stoßzahnfragment der bislang jüngste datierte Fossilrest des Wollhaarmammuts aus den inneralpinen Regionen der Ostalpen.

Schlüsselwörter: *Mammuthus primigenius*, Ostalpen, Spätwürm, ^{14}C -Datierung, stabile Isotopen, Paläoklima

Key words: *Mammuthus primigenius*, Eastern Alps, Late Würmian, radiocarbon dating, stable isotopes, palaeoclimate

1. Einleitung

Das Wollhaarmammut (*Mammuthus primigenius* BLUMENBACH, 1799) gilt als prominentester Vertreter der jungpleistozänen Megafauna und zugleich als eponymes Taxon einer als „Mammutsteppe“ bezeichneten, artenreichen, kalt-trockenen Steppenlandschaft in Eurasien (KAHLKE, 1994, 2014). Das äußere Erscheinungsbild des Wollhaarmammuts wird von einer charakteristisch geformten Rückenlinie geprägt, wobei männliche Individuen eine Schulterhöhe bis zu 3,40 m und ein Gewicht von bis zu sechs Tonnen erreichen konnten. Weibliche Individuen waren hingegen kleiner und erreichten nur eine Schulterhöhe von 2,90 m. Für das in kleinen, matriarchalisch geführten Herden lebende Wollhaarmammut wird eine Lebenserwartung von bis zu 60 Jahren angenommen (HAYNES, 1991, JOGER & KAMCKE, 2005, LISTER & BAHN, 2009). Eine dicke Haut mit 10 cm dickem Unterfettgewebe, ein dichtes Fell mit bis zu 100 cm langen, dunkel- bis gelbbraunen Deckhaaren mit dichter Unterwolle sowie kleine Ohren zur Minimierung von Wärmeverlusten gelten als spezialisierte Anpassungen an kalte Umweltbedingungen (BOESKOROV et al., 2016). Charakteristisch für das Wollhaarmammut sind aus den Incisivi des Oberkiefers entstandene, lange, bogenförmig gekrümmte Stoßzähne mit zueinander weisenden Spitzen, welche anhand typischer Schlißmarken unter anderem zum Freilegen von Vegetation unter der Schneedecke dienten. Auch bei den Stoßzähnen zeigt sich hinsichtlich der Morphologie und Dimensionierung ein deutlicher Geschlechtsdiphormismus, wonach die Stoßzähne männlicher Individuen eine Länge von bis zu 5 m und ein Einzelgewicht von bis zu 90 kg erreichten, während weibliche Individuen deutlich kürzere, dünnere und weniger gekrümmte Stoßzähne ausbildeten. Milchstoßzähne juveniler Individuen erreichten eine durchschnittliche Länge von 10 cm und wurden im Alter von 12-18 Monaten durch dauerhafte Stoßzähne ersetzt (MASCHENKO, 2002, ROUNTREY et al., 2012, MOL et al., 2018). Stoßzähne sind aus zahlreichen, im Jahresrhythmus gebildeten, Wachstumskegeln aus Elfenbein aufgebaut, deren unterschiedliche Breiten auf jahreszeitlich bedingte Unterschiede in der Ernährung hindeuten und zudem Rückschlüsse auf Reproduktions- und Laktationsphasen von weiblichen Individuen erlauben (FISHER et al., 2003). Spezifische Abnutzungsmuster an den Molaren, botanische Makroreste und Pollen aus dem Verdauungstrakt von Mammutkadavern aus dem Permafrost sowie stabile Isotopen belegen, dass die Ernährung des Wollhaarmammuts pri-

mär aus Gräsern und Seggen bestand, während Moose, Kräuter und junge Zweige der Zwergformen von *Larix*, *Salix*, *Alnus* und *Betula* nur fallweise konsumiert wurden. Die effiziente Verwertung großer Mengen dieser allgemein nährstoff- und proteinarmen, jedoch ballaststoffreichen Futterpflanzen, ist letztlich als weitere spezialisierte, physiologische Anpassung sowie ökologische Nischenbesetzung anzusehen (VERESHCHAGIN & BARYSHNIKOV, 1982, MEAD et al., 1986, BOCHERENS, 2003, TÜTKEN et al., 2007, VAN GEEL et al., 2008, RIVALS et al., 2012, SCHWARTZ-NARBONNE et al., 2015).

Der evolutionäre Ursprung des Wollhaarmammuts liegt mit *Mammuthus subplanifrons* in Ostafrika, dessen älteste Fossilreste in das beginnende Pliozän datieren. Im späten Pliozän (3,5-2,5 mya BP) tritt die Gattung mit *Mammuthus rumanus*, dessen Fossilreste in Rumänien entdeckt wurden, erstmals in Südeuropa auf. Als unmittelbarer Nachfahre gilt der Südelefant (*Mammuthus meridionalis*), welcher sich über Eurasien verbreitete, über die Beringbrücke nach Nordamerika einwanderte und sich zum Präriemammut (*Mammuthus columbi*) entwickelte. Im Ältestpleistozän ging in Ostasien aus dem Südelefanten das Steppenmammut (*Mammuthus trogontherii*) hervor, dessen Fossilreste erstmals um 750.000 BP in Mitteleuropa nachweisbar sind. Aus letzterem entwickelte sich um 700.000 BP in Ostsibirien das Wollhaarmammut (*Mammuthus primigenius*), welches schließlich um 200.000 BP im Mittelpleistozän erstmals in Mitteleuropa auftritt (LISTER & SHER, 2001, 2015, LISTER et al., 2005, VAN DER MADE, 2010). Die geografische Verbreitung des Wollhaarmammuts erstreckte sich über das gesamte nördliche Eurasien von der Iberischen Halbinsel, Irland, Doggerland und Mitteleuropa im Westen bis nach Sibirien und Beringia im Osten. Lediglich während des Riß-Würm-Interglazials (Eem) zog sich das Wollhaarmammut nach Sibirien zurück, ehe es am Beginn des Würm-Glazials wieder nach Europa einwanderte und in dieser Phase bis zu seinem Aussterben die größte geografische Verbreitung erreichte (UKKONEN et al., 2011, KAHLKE, 2015, PUZACHENKO et al., 2017). Die einsetzende Klimaerwärmung, das Verschwinden der offenen, kalt-trockenen Steppenlandschaft, die einsetzende Bewaldung sowie die anthropogene Bejagung führten nach der letzten Maximalvereinsung zu einem sukzessiven Aussterben des Wollhaarmammuts (NOGUÉS-BRAVO et al., 2008, COOPER et al., 2015, DRUCKER et al., 2018). In Mitteleuropa verschwand das Wollhaarmammut bereits um 13.800 cal BP, während es im nördlichen Sibirien auf der Taimyr-Halbinsel noch bis um 11.000 cal BP bis in das Frühholozän überleben konnte (STUART et al., 2002, MACPHEE et al., 2002, STUART et al., 2004, STUART, 2005, STUART & LISTER, 2007, KUZMIN, 2010, MARKOVA et al., 2010, STUART, 2015). Von der St.-Paul-Insel im Beringmeer sowie der sibirischen Wrangel-Insel stammende Fossilreste verzweigter Wollhaarmammute belegen letztlich noch einen Fortbestand einiger isolierter Restpopulationen bis in das Mittelholozän um 4.000 cal BP (VARTANYAN et al., 1993, 2008, ENK et al., 2009).

Im Ostalpenraum tritt das Wollhaarmammut insbesondere in pleistozänen Löss- und Schotterablagerungen des flachen Alpenvorlandes sowie entlang der Donau auf (ZIEGLER, 1994, KOHL, 1999, DARGA, 2009) und einige weitere Fossilreste stammen als eingetragene Beutereste der Höhlenhyäne (*Crocota crocota spelaea*) aus Höhlen wie der Teufelslucke bei Eggenburg oder der Griffener Tropfsteinhöhle (DÖPPES & RABEDER, 1997). Die Mehrheit der Fossilreste stammt hingegen aus jungpa-

läolithischen Freilandstationen des Donauraumes, wozu allen voran die Stationen von Ruppersthal und Langmannersdorf zu nennen sind (SALCHER-JEDRASIAK & UMGEHER-MAYER, 2010). Während die Mehrheit der Fossilreste im Alpenvorland und im Donauraum auftreten, liegen aus den großen inneralpinen Tälern der Ostalpen bislang nur vergleichsweise wenige Nachweise des Wollhaarmammuts vor (STADLER, 2003, PATZELT, 2014, SPÖTL et al., 2018).

2. Abtenauer Becken

Das Abtenauer Becken ist eine im Lammertal gelegene, inneralpine Beckenlandschaft der Nördlichen Kalkalpen, welche über das voralpine Salzachtal an das Alpenvorland angeschlossen ist. Begrenzt durch die Osterhorngruppe im Norden, das Tennengebirge im Süden und durch die beiden markanten Geländerücken des Roadberges und Flichtlhofberges im Westen, erstreckt sich das Abtenauer Becken auf einer Fläche von rund 45 km² und liegt auf durchschnittlich 600-900 m Seehöhe (Abb. 1).

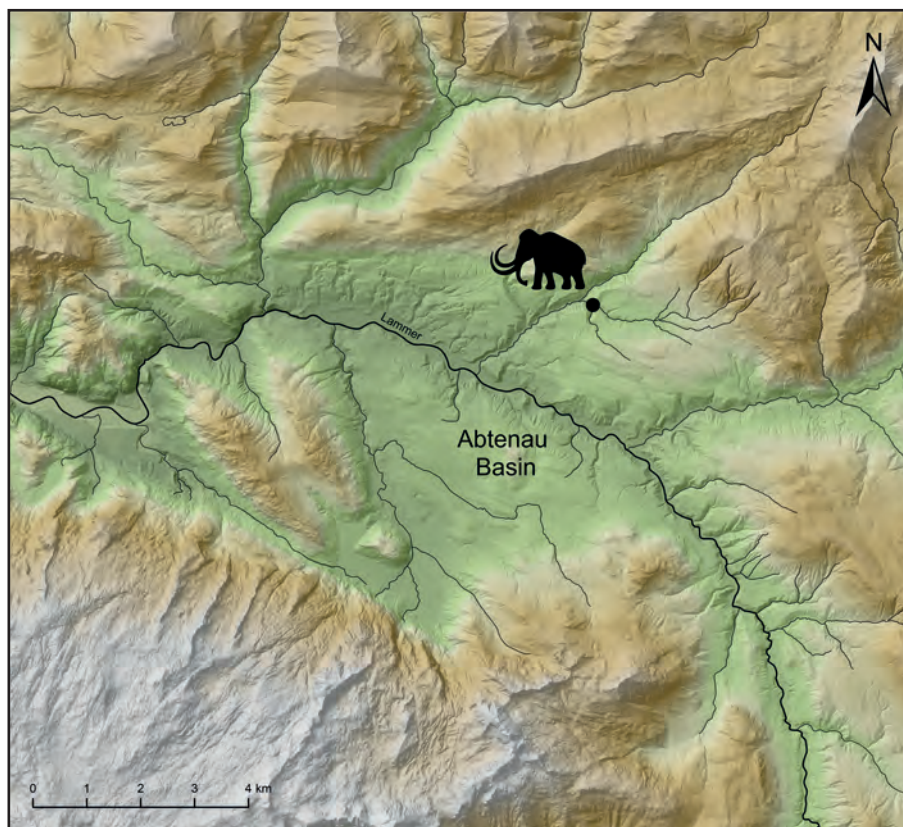


Abb. 1: Abtenauer Becken mit der Fundstelle des Stoßzahnfragmentes des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) im Zwieselbachgraben.

Fig. 1: Abtenau Basin with discovery site of the tusk fragment of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) in the Zwieselbachgraben.

© SAGIS/OGD, Sebastian Krutter

Während der präquartäre Untergrund des Abtenauer Beckens aus Haselgebirge, Dolomit sowie triassischem Schiefergestein der Werfen-Formation aufgebaut ist, wird die rezente, flach-hügelige Geländemorphologie des Abtenauer Beckens maßgeblich durch glaziale Ablagerungen des Jungpleistozäns geprägt: Vor der letzten Maximalvereisung (29.000-19.000 BP, STARNBERGER et al., 2011) kam es ab dem Beginn des Spätwürm (um 34.000 BP) in den Hochlagen aufgrund eines klimatisch indizierten Vegetationsrückganges sowie verstärkter Frostverwitterung zu einer vermehrten Schuttbildung, infolgedessen in den Tallagen eine massive Ablagerung so genannter „Vorstoßschotter“ (VAN HUSEN & REITNER, 2011) erfolgte, wodurch das anstehende Grundgestein im Abtenauer Becken mit bis zu 40 m mächtigen fluviatilen Schottern überdeckt wurde. Typisch für derartige Vorstoßschotter ist eine Zusammensetzung aus primär autochthonen Gesteinen sowie unregelmäßige Lagerungsverhältnisse, welche rasch wechselnde Sedimentationsprozesse im Gletschervorfeld anzeigen (VAN HUSEN, 1979, KALS, 1984; persön. Mitteilung VAN HUSEN).



Abb. 2: Panorama über die Hügellandschaft an den Ausläufern des Radochsberges oberhalb des Zwieselbachgrabens mit dem Tennengebirge (links) und der Osterhorngruppe (rechts) im Hintergrund.

Fig. 2: Panoramic view over the hilly landscape at the foothills of the Radochsberg above the Zwieselbachgraben with the Tennengebirge (left) and the Osterhorngruppe (right) in the background.

© Sebastian Krutter

Während der letzten Maximalvereisung des Würmhochglaziales wurden diese Vorstoßschotter schließlich großflächig durch bis zu 60 m mächtige Grundmoränen überdeckt, welche sich aus allochthonen Geröllen der Gosau-Schichten sowie autochthonen Gesteinen zusammensetzen. Langgestreckte, nordwestlich orientierte Drumlins sowie glazial überformte Rundbuckel des Grundgesteins zeigen hierbei die Fließrichtung der Eismassen nach Nordwesten an, welche nördlich des Tennengebirges, dessen höchste Gipfel als Nunataker aus dem Eisschild ragten, über das Lammertal abfließen und sich im Bereich des Gollinger Beckens mit dem Salzachgletscher vereinten (VAN HUSEN, 1979, PLÖCHINGER et al., 1982, KALS, 1984).

Mit dem einsetzenden Zerfall des Eisstromnetzes im Spätglazial blieb im Abtenauer Becken, wie für inneralpine Becken oftmals nachweisbar (GAREIS, 1981), eine isolierte Toteisvergletscherung zurück, an dessen Kontaktzonen zu den Talrändern sich durch abfließende Schmelzwässer charakteristische Eisrandterrassen ausbildeten. Bei einem neuerlichen, spätglazialen Gletschervorstoß, dem Wolfs-

grub-Stand, wurden nochmals weite Bereiche des Abtenauer Beckens mit Eismassen bedeckt. Der dem Schwarzberg-Stand angehörende mächtige Moränenwall im Südosten des Abtenauer Beckens zeigt an, dass im Gschnitz-Stadial (16.000 BP, IVY-OCHS et al., 2006) nochmals einzelne Gletscherzungen vom Plateau des Tennengebirges bis in das Abtenauer Becken hinabreichten (KALS, 1984). Im ausgehenden Spätglazial und Holozän formten sich schließlich durch fluviatile Zerschneidung der mächtigen Grundmoränendecke sowie Tiefenerosion im unterlagernden Grundgestein tief eingeschnittene Gräben, wie unter anderem auch der Zwieselbachgraben (Abb. 2-3), worin der hier untersuchte Fossilrest entdeckt wurde.



Abb. 3: Fundstelle des Stoßzahnfragmentes des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) im Bachbett des Zwieselbachgrabens.

Fig. 3: Discovery site of the tusk fragment of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) in the river bed of the Zwieselbachgraben.

© Sebastian Krutter



Abb. 4: Stoßzahnfragment des Wollhaarmammut (*Mammuthus primigenius*) aus dem Zwieselbachgraben in medialer (oben) und lateraler (unten) Ansicht mit der Position der osteometrischen Messstrecken. Abkürzungen: GPD/GPC = größter proximaler Durchmesser und Umfang, GMD/GMC = größter medialer Durchmesser und Umfang, GDD/GDC = größter distaler Durchmesser und Umfang.

Fig. 4: Tusk fragment of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) from the Zwieselbachgraben in medial (above) and lateral (below) view with the position of osteometric measurements. Abbreviations: GPD/GPC = greatest proximal diameter and circumference, GMD/GMC = greatest medial diameter and circumference, GDD/GDC = greatest distal diameter and circumference. © Sebastian Krutter

3. Fossilmaterial

Im Norden des Abtenauer Beckens an den Ausläufern der Osterhorngruppe liegt der rund 70 m tief eingeschnittene Zwieselbachgraben, in dessen Bachbett im Jahr 2017 durch Alfons Klamm auf rund 700 m Seehöhe ein isoliertes Fragment eines Stoßzahnes entdeckt wurde, welches rund 30 cm aus dem fluviatilen Geröll und Feinsediment des Bachbettes herausragte (Abb. 4). Der Fossilrest ist anhand der Krümmung in der Horizontalachse als linker Stoßzahn (I2 sin.) bestimmbar und weist entlang der äußeren Krümmung eine erhaltene Länge von 130 cm auf, wobei dessen distales sowie proximales Ende mit der Pulpahöhle und dem in der Alveole befindlichen Bereich nicht erhalten sind.



Abb. 5: Wollhaarmammut (*Mammuthus primigenius*) vor einer jungpleistozänen inneralpinen Beckenlandschaft.

Fig. 5: Woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) in front of an Upper Pleistocene inneralpine basin landscape.

© Joe Rohrer, www.bildebene.ch

An der lateralen Seite zeigt der Fossilrest eine hellweiße Farbgebung, einige größere Risse sowie eine fein geglättet-gerundete Oberfläche. Medial sind hingegen jeweils am proximalen und distalen Ende größere Ausbrüche vorhanden, worin die von Trocknungsrisse durchzogene innere Struktur des Stoßzahnes offenliegt. Die Oberfläche weist mehrere kleinere, flächige Absplittungen und Verfärbungen auf, wobei sich zumindest an einer Stelle die ursprüngliche, für Elfenbein typische, hellbeige Farbgebung erhalten hat. Anhand osteomorphologischer Merkmale, der Datierung sowie paläoökologischer Aspekte kann der hier untersuchte Fossilrest aus taxonomischer Sicht eindeutig dem Wollhaarmammut (*Mammuthus primigenius*) zugewiesen werden.

Eine ergänzende taxonomische Bestimmung mittels der für dieses Taxon spezifisch ausgeprägten Schreger-Linien im Dentin konnte aufgrund des Erhaltungszustandes des Stoßzahnfragmentes nicht vorgenommen werden (TRAPANI & FISHER, 2003, ABELOVA, 2008). Der im pleistozänen Mitteleuropa ebenfalls vorkommende Waldelefant (*Palaeoloxodon antiquus*) kann aufgrund des ausschließlich interglazialen Auftretens dieses Taxons sowie anhand der Datierung ausgeschlossen werden (STUART, 2005). Die eingeschränkte Aussagekraft des isolierten Fossilrestes sowie das Fehlen von weiterem assoziierbarem Fossilmaterial, ermöglichen vorerst keine weiteren, detaillierten Aussagen über das hier fassbare Individuum. Zumindest aber ein Vergleich der osteometrischen Daten (Tab. 1) mit

Stoßzähnen jungpleistozäner Mammutfaunen aus Sibirien zeigt an, dass es sich hier um ein adultes, männliches Individuum im Alter von rund 30-50 Jahren gehandelt haben könnte (VERESHCHAGIN & TIKHONOV, 1986, 1999, HAYNES, 1991, AVERIANOV, 1996, SMITH & FISHER, 2011, 2013).

GL1	GL2	GPD	GMD	GDD	GPC	GMC	GDC	ADPC	AD
1300	1130	130	120	80	400	380	(260)	–	–

Tab. 1: Osteometrische Messstrecken (basierend auf VERESHCHAGIN & TIKHONOV, 1986, 1999, SMITH & FISHER, 2011, 2013) des Stoßzahnfragmentes des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) aus dem Zwieselbachgraben. Abkürzungen: GL1 = größte erhaltene Länge an der äußeren Krümmung, GL2 = größte erhaltene Länge an der inneren Krümmung, GPD = größter proximaler Durchmesser, GMD = größter medialer Durchmesser, GDD = größter distaler Durchmesser, GPC = größter proximaler Umfang, GMC = größter medialer Umfang, GDC = größter distaler Umfang, ADPC = axiale Tiefe der Pulpahöhle, AD = Tiefe der Alveole. Alle Maße in Millimetern; Maße in Klammern stellen Schätzwerte dar.

Tab. 1: Osteometric measurements (based on VERESHCHAGIN & TIKHONO, 1986, 1999, SMITH & FISHER, 2011, 2013) of the tusk fragment of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) from the Zwieselbachgraben. Abbreviations: GL1 = greatest preserved length along the outer curvature, GL2 = greatest preserved length along the inner curvature, GPD = greatest proximal diameter, GMD = greatest medial diameter, GDD = greatest distal diameter, GPC = greatest proximal circumference, GMC = greatest medial circumference, GDC = greatest distal circumference, ADPC = axial depth of pulp cavity, AD = alveolar depth. All measurements in millimetre; measurements in parenthesis are estimated values.

4. Datierung und Paläoumwelt

Zur Datierung des Stoßzahnfragmentes wurde am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim eine ^{14}C -Analyse (Tab. 2) durchgeführt, wofür einige lose Elfenbeinfragmente als Probenmaterial verwendet wurden. Aus der Probe wurde Kollagen extrahiert und mittels Ultrafiltration die Fraktion > 30 kD abgetrennt, gefriergetrocknet und in einem Elementaranalysator zu CO_2 verbrannt. Das entstandene CO_2 wurde katalytisch zu Graphit reduziert und anschließend der ^{14}C -Gehalt mit einem MICADAS-Beschleuniger gemessen (KROMER et al., 2013). Die ^{14}C -Alter werden in BP (before present), in Jahren vor 1950, angegeben.

LabNr.	^{14}C -Alter	cal BP [1 σ]	cal BP [2 σ]	C:N _{coll}	C _{coll} [%]	Coll. [%]
MAMS-31890	26.970 \pm 100	31.140-30.950	31.220-30.840	3,2	41,1	1,63

Tab. 2: ^{14}C -Datierung des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) aus dem Zwieselbachgraben.

Tab. 2: Radiocarbon analysis of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) from the Zwieselbachgraben.

Das ^{14}C -Alter muss kalibriert werden, um Kalenderalter angeben zu können, wobei das kalibrierte Alter jeweils für den 1 σ -Bereich (68,2 %) und für den 2 σ -Bereich (95,4 %) angegeben wird. Die Kalibrierung des ^{14}C -Alters erfolgte mit dem Datensatz INTCAL13 (REIMER et al., 2013) und der Software OxCal 4.3. Das ermittelte C:N-Verhältnis liegt mit 3,2 innerhalb des Bereichs für eine gute

Erhaltung des Knochenkollagens und auch die relative Kollagenmenge von 1,63 % zeigt eine zuverlässige Datierung an (VAN KLINKEN, 1999).

LabNr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{coll}}$ [‰]	C:N _{coll}	C _{coll} [%]	N _{coll} [%]
MA-175013	-20,92	9,25	3,2	38,68	14,16

Tab. 3: Stabile Isotopenwerte des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) aus dem Zwieselbachgraben.

Tab. 3: Stable isotope values of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) from the Zwieselbachgraben.

Die Analyse der stabilen Isotopen (Tab. 3) erfolgte ebenfalls am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim an einem vario PYRO cube CNSOH-Elementaranalysator und einem precision Isotopenverhältnis-Massenspektrometer, wobei die Rohdaten auf die Standards USGS40 und USGS41 normiert wurden (PAUL et al., 2007). Die externe Reproduzierbarkeit der $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte liegt bei 0,04 ‰ oder besser. Die Quantität des Kohlenstoffs (C_{coll}) entspricht mit 38,68 % jenen Werten aus frischen Knochen (25 %). Das C:N-Verhältnis von 3,2 liegt hierbei im akzeptablen Bereich von 2,9 bis 3,6 (DENIRO, 1985) und auch der Stickstoffgehalt (N_{coll}) > 5 % untermauert das Ergebnis der Isotopenanalyse.

Das hier untersuchte Stoßzahnfragment des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) aus dem Zwieselbachgraben weist ein kalibriertes ¹⁴C-Alter von 31.220-30.840 cal BP auf und ist demnach in die erste Phase des jungpleistozänen Spätwürm einzuordnen, welche allgemein als Mammutsteppenzeit (34.000-13.000 BP, DÖPPES & RABEDER, 1997) bezeichnet wird. Diese Phase charakterisiert sich durch eine, über das nördliche Eurasien verbreitete, baumlose, von Permafrost geprägte, kalt-trockene Steppenlandschaft mit einer nährstoffreichen, von Gräsern und Kräutern dominierten Vegetation sowie einer, der rezenten afrikanischen Savanne ähnlichen, hohen Artenvielfalt (VERESHCHAGIN & BARYSHNIKOV, 1982, GUTHRIE, 1982, 2001, ZIMOV et al., 2012).

Die stabilen Isotope von Kohlenstoff ($\delta^{13}\text{C}$) und Stickstoff ($\delta^{15}\text{N}$) aus dem Kollagen von Herbivoren liefern paläoökologische Hinweise, indem sie die konsumierten Futterpflanzen widerspiegeln, deren Isotopensignaturen wiederum durch Umweltbedingungen wie Temperatur, Trockenheit und Höhenlage beeinflusst werden. So zeigen niedrige $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ -Werte Futterpflanzen aus einer dicht bewaldeten Umwelt an, während erhöhte $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ -Werte auf offene, baumlose Landschaften schließen lassen, wie dies an der von Flechten dominierten Ernährung von Rentieren (*Rangifer tarandus*) ersichtlich ist (DRUCKER et al., 2011). Die niedrigen $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ -Werte des Wollhaarmammuts sind nicht als Indikator einer dicht bewaldeten Paläoumwelt interpretierbar, sondern resultieren aus der physiologischen Eigenschaft einer vermehrten Nutzung von eingelagertem, ¹³C-armem Körperfett (BOCHERENS, 2003, 2015). Die $\delta^{15}\text{N}_{\text{coll}}$ -Werte geben hingegen Hinweise auf das Klima und die Bodenbeschaffenheit und gelten auf Basis sinkender Temperaturen sowie ansteigender Trockenheit als Indikator für die Intensität von Permafrostböden und die räumliche Nähe zu vergletscherten Gebieten, wobei das Wollhaarmammut

im Vergleich zu anderen Herbivoren der jungpleistozänen Megafauna stets signifikant erhöhte, aus einer von trockenen Gräsern dominierten Ernährung resultierende $\delta^{15}\text{N}_{\text{coll}}$ -Werte aufweist (BOCHERENS, 2003, 2015). Für die Phase des Mittel- und Spätwürm sind für das Wollhaarmammut in Eurasien allgemein sehr geringvariable Isotopensignaturen belegt, welche infolgedessen weitgehend konstante Umweltbedingungen anzeigen (KUITEMS et al., 2019). Auch die Isotopensignaturen des hier untersuchten Fossilrestes aus dem Zwieselbachgraben geben für jungpleistozäne Wollhaarmammute typische Werte wieder, indem sie eine von Gräsern dominierte Ernährung belegen und für das Abtenauer Becken für den Zeitbereich um 31.000 cal BP eine, als Mammutsteppe zu charakterisierende, offene, baumlose und von Permafrost geprägte, kalt-trockene Steppenlandschaft anzeigen. Die geologischen Erkenntnisse belegen, dass das Abtenauer Becken in dieser Phase bereits durch großflächige fluviatile Ablagerungen an Vorstoßschottern eingenommen wurde, während sich die Vergletscherung noch auf die hochalpinen Kare und das Plateau des Tennengebirges beschränkte (Abb. 5).

Das hier untersuchte Stoßzahnfragment gilt als jüngster, bislang datierter Fossilrest des Wollhaarmammuts aus den inneralpinen Tälern der Ostalpen (SPÖTL et al., 2018) und belegt infolgedessen, dass das Wollhaarmammut noch im beginnenden Spätwürm in große inneralpine Täler und deren Seitentäler eingewandert ist. In Kontext der paläoökologischen Daten fungiert der Fossilrest als Klimaproxy für noch eisfreie Umweltbedingungen um 31.000 cal BP im Abtenauer Becken im unmittelbaren Vorfeld der letzten Maximalvereisung (29.000-19.000 BP, STARNBERGER et al., 2011) und gibt folglich einen *terminus post quem* für das endgültige Vorstoßen der würmzeitlichen Vergletscherung im Lammertal. Somit ist das hier fassbare Individuum aus dem Zwieselbachgraben wohl als eines der letzten Wollhaarmammute anzusehen, welche im Vorfeld der letzten Maximalvereisung aus dem Alpenvorland bis in das inneralpine Abtenauer Becken vorgedrungen sind, ehe dieses von bis zu 1.000 m mächtigen Eismassen überfahren wurde (KALS, 1984, GAMERITH & HEUBERGER, 1999).

5. Taphonomie

Der Erhaltungszustand des hier untersuchten Stoßzahnfragmentes des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) lässt aus taphonomischer Sicht eine sekundäre Verlagerung konstatieren, wonach der Fossilrest an der Abbruchkante der oberhalb des Zwieselbachgrabens lagernden jungpleistozänen Sedimente aus seinem ursprünglichen Ablagerungsort auserodiert und über die rund 45° geneigten Abhänge in den Zwieselbachgraben abgerutscht ist sowie in die fluviatilen Schotter des Bachbettes gelangte. Der verhältnismäßig gute Erhaltungszustand belegt zudem, dass dieser sekundäre Umlagerungsprozess erst in den letzten Jahren erfolgt sein muss, da der Fossilrest bei einem längeren Transport im fluviatilen Schotter durch mechanische Erosionsprozesse nicht mehr erhalten gewesen wäre oder eine zumindest stärker ausgeprägte Fragmentierung aufgewiesen hätte. Über die taphonomischen Prozesse der ursprünglichen Ablagerung können hingegen nur Vermutungen angestellt werden, wonach der Stoßzahn möglicherweise in einem von Feinsediment geprägten Stillwasserbereich

in den Vorstoßschottern abgelagert worden sein könnte, wie dies auch für das Stoßzahnfragment von Bischofshofen anzunehmen ist (TICHY, 1989). Unklar ist, ob der Stoßzahn sowie das übrige Fossilmaterial des hier fassbaren Individuums an einer Stelle gemeinsam abgelagert oder bereits zuvor durch fluviatile Prozesse weitflächig disloziert wurden. Zumindest die hellweiße Farbgebung und die fein geglättet-verrundete Oberfläche an der lateralen Seite des Fossilrestes lassen vermuten, dass der Stoßzahn irgendwann im Laufe des taphonomischen Prozesses für längere Zeit oberflächlich freiliegend der Witterung und direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt war. In jedem Fall muss die Einbettung in die Vorstoßschotter vor dem Beginn der letzten Maximalvereisung (29.000-19.000 BP, STARNBERGER et al., 2011) erfolgt sein, zumal der Stoßzahn eine direkte Überführung durch das Gletschereis sowie eine Verfrachtung innerhalb der Grundmoräne nicht überstanden hätte.

Ob das hier fassbare Individuum auf natürliche Weise verendete, durch Carnivoren erbeutet oder durch eine paläolithische Jägergruppe erlegt wurde, ist anhand des einzelnen Fossilrestes nur schwer rekonstruierbar. Die fehlenden zoogenen Bissspuren an dem Fossilrest erlauben diesbezüglich keine Rückschlüsse, da an den fleischlosen Stoßzähnen naturgemäß keine derartigen Spuren zu erwarten sind, weshalb angesichts der fehlenden postcranialen Fossilreste eine Aktivität von Carnivoren weder zu bestätigen noch auszuschließen ist. Zumindest aber ein anthropogener Kontext mag als unwahrscheinlich gelten, da im Abtenauer Becken bislang keinerlei paläolithisches Fundmaterial nachweisbar ist und auch im angrenzenden Salzachtal paläolithische Fundstellen nur sehr selten belegt sind (EHRENBERG, 1974, ABEL, 1978, HELL & MOOSLEITNER, 1980-1981, RETTENBACHER, 1998, MAIS, 1990). Zudem erscheint es untypisch, dass ein Stoßzahn eines erlegten Wollhaarmammuts durch eine paläolithische Jägergruppe zurückgelassen worden wäre, zumal Elfenbein im Paläolithikum als ein überaus begehrtes sowie vielseitig nutzbares Rohmaterial galt (PFEIFER et al., 2019). Infolgedessen ist zu postulieren, dass das hier fassbare Individuum womöglich durch Carnivoren erbeutet wurde oder auf natürliche Weise verendete, indem es beispielsweise in morastigem Boden stecken geblieben, ertrunken oder über eine Geländekante abgestürzt ist. Sofern keine unmittelbare Sedimentüberdeckung erfolgte, wäre auch in letzterem Fall an den, bislang nicht überlieferten, postcranialen Fossilresten mit entsprechenden zoogenen Bissspuren von Carnivoren und Nekrophagen zu rechnen.

6. Wollhaarmammutfunde aus dem Salzachtal

Aus dem Alpenvorland und Donauraum sind unzählige Fossilreste des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) überliefert, wohingegen Fossilreste aus den großen inneralpinen Tälern nur selten vorliegen (SPÖTL et al., 2018). Dies ist einerseits auf eine vollständige Vergletscherung der Ostalpen während der letzten Maximalvereisung zurückzuführen, wodurch die alpinen Täler, konträr zu den periglazialen Gebieten, für das Wollhaarmammut nicht zugänglich waren. Andererseits wirkte sich die glaziale Erosion negativ auf die Erhaltung von abgelagerten Fossilresten aus, womit sich diese lediglich an natürlichen, vor glazialer Erosion geschützten Geländesituationen erhalten konnten.

Infolgedessen sind auch aus dem alpinen Salzachtal und dessen Seitentälern bislang nur sehr wenige Fossilreste des Wollhaarmammuts überliefert, wobei sich für das nördliche Salzachtal am Übergang in das weitläufige Alpenvorland eine erhöhte Funddichte abzeichnet (Tab. 4). Bei dem vorliegenden Fossilmaterial handelt es sich mehrheitlich um isolierte Molare, welche anhand der kompakten Struktur in ihrer Erhaltung deutlich begünstigt sind und zumeist aus fluviatilen, teils durch den Schotterabbau aufgeschlossenen, Schotterablagerungen entlang der Salzach sowie aus grabenartig eingetieften Bachläufen, wie dem Kroisbachgraben bei Nußdorf (TICHY, 1989), stammen. Stoßzahnfragmente sind bislang mit fünf Fossilresten vertreten, welche wiederum mehrheitlich aus fluviatilen Schotterablagerungen entlang der Salzach überliefert sind. Erwähnenswert ist insbesondere ein rund 1 m langes Stoßzahnfragment vom Buchberg bei Bischofshofen im inneralpinen Salzachtal, welches rund 15 m unter der Geländeoberkante in sandigem Sediment aufgefunden wurde und wobei es sich um den südlichsten bislang bekannten Fossilrest des Wollhaarmammuts im inneralpinen Salzachtal handelt. Wenn auch dessen Datierung um 32.400 cal BP zuletzt kritisch bewertet wurde (TICHY, 1989, SPÖTL et al., 2018), so ist diese angesichts des hier untersuchten Stoßzahnfragmentes aus dem Abtenauer Becken als grundlegend plausibel zu erachten, zumal auch dieser Fossilrest als Beleg eines letztmaligen, inneralpinen Vordringens des Wollhaarmammuts im Vorfeld der letzten Maximalvereisung (29.000-19.000 BP, STARNBERGER et al., 2011) gelten mag.

Fundstelle	Fossilmaterial	Verbleib, InvNr.	Literatur
Oberndorf	zwei Stoßzahnfragmente	HdN, 31960, 31961	HELL, 1936
Lamprechtshausen	Molar	HdN	HELL, 1936
Salzburg (?)	Scapula, Humerus	HdN	HELL, 1936
Salzburg, Aigen	M2 inf. dex.	HdN, 27/1969	TICHY, 1989
Nußdorf, Kroisbachgraben	M3 inf. dex.	HdN, 6/1968	TICHY, 1989
Bischofshofen, Buchberg	Stoßzahnfragment	MB, 1	TICHY, 1989
Oberndorf	zwei Molare	MBG, IN851	unpubl.
Bergheim	Stoßzahnfragment	MBG, IN4716	unpubl.
Elsbethen	Molar	MBG, IN4728	unpubl.
Abtenau, Zwieselbachgraben	Stoßzahnfragment	MBG, IN4570	diese Arbeit
Berchtesgaden, Nesselalgraben			SPÖTL et al., 2018

Tab. 4: Zusammenstellung von Fossilresten des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) aus dem Salzachtal und Seitentälern. Abkürzungen: HdN = Haus der Natur Salzburg, MB = Museum Bischofshofen, MBG = Museum Burg Golling.

Tab. 4: Compilation of fossil remains of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) from the Salzach Valley and tributary valleys. Abbreviations: HdN = Haus der Natur Salzburg, MB = Museum Bischofshofen, MBG = Museum Burg Golling.

Während craniale Fossilreste mit Molaren und Stoßzähnen vergleichsweise häufig vorliegen, sind postcraniale Elemente bislang nur mit einer Scapula und einem Humerus belegt, welche vermutlich aus dem Salzburger Becken stammen (HELL, 1936). Weitere, derzeit noch nicht im Detail vorgelegte Fossilreste des Wollhaarmammuts stammen aus den lakustrinen Ablagerungen des Nesselalgrabens

im Berchtesgadener Becken, welches westlich an das Salztal anschließt (MAYR et al., 2017, SPÖTL et al., 2018).

7. Fazit

Das aus dem Zwieselbachgraben im Abtenauer Becken stammende linke Stoßzahnfragment eines vermutlich adulten, männlichen Individuums des Wollhaarmammuts (*Mammuthus primigenius*) datiert mit rund 31.000 cal BP in die erste Phase des jungpleistozänen Spätwürms, welche allgemein als Mammutsteppenzeit bezeichnet wird. Das Stoßzahnfragment gilt als bislang jüngster Fossilrest des Wollhaarmammuts aus den inneralpinen Tälern der Ostalpen (SPÖTL et al., 2018) und ist vermutlich als eines der letzten Wollhaarmammute anzusehen, welche im Vorfeld der letzten Maximalvereisung (29.000-19.000 BP, STARNBERGER et al., 2011) bis in das inneralpine Abtenauer Becken vorgedrungen sind.

8. Dank

Für die stets lehrreiche Zusammenarbeit und die vielfältige Unterstützung während der letzten Jahre gilt ein besonderer Dank meinem paläontologischen „Lehrmeister“ Gernot Rabeder (Institut für Paläontologie der Universität Wien), dem dieser Beitrag sehr herzlich zu seinem 80. Geburtstag gewidmet ist. Alfons Klamm (Abtenau) ist für die großzügige Schenkung des Stoßzahnfragmentes an das Museum Burg Golling sowie für Informationen zur Fundsituation vielfach zu danken. Für wertvolle Hinweise, Kooperation und Unterstützung ist nachfolgend genannten KollegInnen zu danken: Doris Döppes (Reiss-Engelhorn-Museen Mannheim), Corina Knipper, Susanne Lindauer und Ronny Friedrich (Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie Mannheim), Anna Bieniok (Haus der Natur Salzburg), Valentin Perlinger (Institut für Paläontologie der Universität Wien), Dirk van Husen (Altmünster), Roland Kals (Salzburg), Benedict Hotz (Natur-Museum Luzern), Christoph Spötl (Universität Innsbruck) sowie Joe Rohrer (Luzern, www.bildebene.ch).

9. Literatur

ABEL, G. (1978). Spuren des Altsteinmenschens in der Schlenkendurchgangshöhle. Ergebnisse der letzten Grabungen. – Mitteilungen aus dem Haus der Natur Salzburg **8**: 59-61.

ABELOVA, M. (2008). Schreger pattern analysis of *Mammuthus primigenius* tusk: analytical approach and utility. – Bulletin of Geosciences **83**: 225-232.

AVERIANOV, A. O. (1996). Sexual dimorphism in the mammoth skull, teeth and long bones. In: SHOSHANI, J. & TASSY, P. (Eds.), *The Proboscidea. Trends in Evolution and Paleoecology*. – Cambridge (University Press, Cambridge): 260-267.

- BOCHERENS, H. (2003). Isotopic biogeochemistry and the paleoecology of the mammoth steppe fauna. In: REUMER, J. W., DE VOS, J. & MOL, D. (Eds.). *Advances in Mammoth Research. Proceedings of the second international mammoth conference, Rotterdam, May 16-20, 1999.* – *Deinsea* **9**: 57-76.
- BOCHERENS, H. (2015). Isotopic tracking of large carnivore palaeoecology in the mammoth steppe. – *Quaternary Science Reviews* **117**/1: 42-71.
- BOESKOROV, G. G., MASHCHENKO, E. N., PLOTNIKOV, V. V., SHCHELCHKOVA, M. V., PROTOPOPOV, A. V. & SOLOMONOV, N. G. (2016). Adaptation of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) to habitat conditions in the glacial period. – *Contemporary problems of ecology* **9**/5: 544-553.
- COOPER, A., TURNEY, C., HUGHEN, K. A., BROOK, B. W., McDONALD, H. G. & BRADSHAW, C. J. (2015). Abrupt warming events drove Late Pleistocene Holarctic megafaunal turnover. – *Science* **349**: 602-606.
- DARGA, R. (2009). *Auf den Spuren des Inn-Chiemsee-Gletschers. – Wanderungen in die Erdgeschichte* **26**, München.
- DENIRO, M. J. (1985). Post-mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. – *Nature* **317**: 806-809.
- DÖPPES, D. & RABEDER, G. (1997). *Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. Ein Katalog der wichtigsten Fossilfundstellen und ihrer Faunen.* – *Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften* **10**: 1-411.
- DRUCKER, D. G., KIND, C.-J. & STEPHAN, E. (2011). Chronological and ecological information on Late-glacial and early Holocene reindeer from northwest Europe using radiocarbon (^{14}C) and stable isotope (^{13}C , ^{15}N) analysis of bone collagen: Case study in southwestern Germany. – *Quaternary International* **245**: 218-224.
- DRUCKER, D. G., STEVENS, R. E., GERMONPRÉ, M., SABLIN, M. V., PÉAN, S. & BOCHERENS, H. (2018). Collagen stable isotopes provide insights into the end of the mammoth steppe in the central European plains during the Epigravettian. – *Quaternary Research* **90**: 457-469.
- EHRENBERG, K. (1974). Die bisherigen urzeitlichen Funde aus der Schlenkendurchgangshöhle, Salzburg. – *Archaeologia Austriaca* **55**: 7-28.
- ENK, J. M., YESNER, D. R., CROSSEN, K. J., VELTRE, D. W. & O'ROURKE, D. H. (2009). Phylogeographic Analysis of the mid-Holocene Mammoth from Qagnax Cave, St. Paul Island, Alaska. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **273**/1-2: 184-190.
- FISHER, D. C., FOX, D. L. & AGENBROAD, L. D. (2003). Tusk growth rate and season of death of *Mammuthus columbi* from Hot Springs, South Dakota, USA. In: REUMER, J. W., DE VOS, J. & MOL, D. (Eds.): *Advances in Mammoth Research. Proceedings of the second international mammoth conference, Rotterdam, May 16-20, 1999.* – *Deinsea* **9**, 117-133.
- GAMERITH, W. & HEUBERGER, H. (1999). Daten zur Eisstromhöhe des eiszeitlichen Salzachgletschers im Salzachquertal zwischen Schwarzach St. Veit und Salzburg. – *Mitteilungen der Gesellschaft für*

Salzburger Landeskunde **139**: 317-333.

GAREIS, J. (1981). Reste des Eisstromnetzes in inneralpinen Becken. – *E&G Quaternary Science Journal* **31**: 53-64.

GUTHRIE, R. D. (1982). Mammals of the mammoth steppe as paleoenvironmental indicators. In: HOPKINS, D. M., MATTHEWS, J. V., SCHWEGER, C. E., YOUNG S. B. (Eds.): *Paleoecology of Beringia*. – New York (Academic Press): 307-326.

GUTHRIE, R. D. (2001). Origin and causes of the mammoth steppe: a story of cloud cover, woolly mammoth tooth pits, buckles, and inside-out Beringia. – *Quaternary Science Reviews*. **20**: 549-574.

HAYNES, G. (1991). *Mammoth, mastodons and elephants. Biology, behavior, and the fossil record*. – Cambridge (Cambridge University Press).

HELL, M. (1936). Ein neuer Mammutrest aus Salzburg. – *Salzburger Volksblatt* **140**: 20./21.06.1936.

HELL, M. & MOOSLEITNER, F. (1980-1981). Zur urgeschichtlichen Besiedlung des Talraumes von Golling (Land Salzburg). – *Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde* **120-121**: 1-38.

IVY-OCHS, S., KERSCHNER, H., KUBIK, P. W. & SCHLÜCHTER, C. (2006). Glacier response in the European Alps to Heinrich event 1 cooling: the Gschnitz stadial. – *Journal of Quaternary Science* **21**: 115-130.

JOGER, U. & KAMCKE, C. (2005). *Mammut. Elefanten der Eiszeit. Begleitbuch zur Ausstellung im Staatlichen Naturhistorischen Museum*. – Braunschweig (Staatliches Naturhistorisches Museum Braunschweig).

KAHLKE, R. D. (1994). Die Entstehungs-, Entwicklungs- und Verbreitungsgeschichte des oberpleistozänen *Mammuthus-Coelodonta*-Faunenkomplexes in Eurasien (Großsäuger). – *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* **546**: 1-164.

KAHLKE, R. D. (2014). The origin of Eurasian mammoth faunas (*Mammuthus-Coelodonta* faunal complex). – *Quaternary Science Reviews* **96**: 32-49.

KAHLKE, R. D. (2015). The maximum geographic extension of Late Pleistocene *Mammuthus primigenius* (Proboscidea, Mammalia) and its limiting factors. – *Quaternary International* **379**: 147-154.

KALS, R. (1984). *Beiträge zur quartären Landschaftsentwicklung des Beckens von Abtenau und des nördlichen Tennengebirges*. – Universität Salzburg, unveröff. Dissertation.

KOHL, H. (1999). Das Eiszeitalter in Oberösterreich, Teil III. – *Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines* **142/1**: 250-429.

KROMER, B., LINDAUER, S., SYNAL, H.-A. & WACKER, L. (2013). MAMS - a new AMS facility at the Curt-Engelhorn-Centre for Archaeometry, Mannheim, Germany. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* **B294**: 11-13.

KUITENS, M., VAN KOLFSCHOTEN, T., TIKHONOV, A. N. & VAN DER PLICHT, J. (2019). Woolly mammoth $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values remained amazingly stable throughout the last 50,000 years in north-eastern Siberia. – *Quaternary International*, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.001>.

KUZMIN, Y. V. (2010). Extinction of the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) and woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis*) in Eurasia: review of chronological and environmental issues. –

Boreas **39**: 247-261.

LISTER, A. M. & SHER, A. V. (2001). The origin and evolution and of the woolly mammoth. – *Science* **294**: 1094-1097.

LISTER, A. M., SHER, A. V., VAN ESSEN, H. & WEI, G. (2005). The pattern and process of mammoth evolution in Eurasia. – *Quaternary International* **126-128**: 49-64.

LISTER, A. & BAHN, P. (2009). Mammuts. Riesen der Eiszeit. – Sigmaringen (Verlag Jan Thorbecke).

LISTER, A. M. & SHER, A. V. (2015). Evolution and dispersal of mammoths across the northern Hemisphere. – *Science* **350**: 805-809.

MACPHEE, R., TIKHONOV, A. N., MOL, D., DE MARLIAVE, C., VAN DER PFLICHT, H., GREENWOOD, A. D., FLEMMING, C. & AGENBROAD, L. (2002). Radiocarbon chronologies and extinction dynamics of the Late Quaternary mammalian megafauna of the Taimyr Peninsula, Russian Federation. – *Journal of Archaeological Science* **29**: 1017-1042.

MAIS, K. (1990). Die Schlenkendurchgangshöhle - die ältesten menschlichen Zeugnisse im Land. In: NEUREITER, M. (Red.). Vigaun. Von Natur, Kultur und Kur – Vigaun (Gemeinde Bad Vigaun): 43-52.

MARKOVA, A. K., PUZACHENKO, A. Y., VAN DER PLICHT, J., VAN KOLFSCHOTEN, T., PONOMAREV, D. V. & KOTLYAKOV, V. M. (2010). New data on the dynamics of the mammoth *Mammuthus primigenius* distribution in Europe in the second half of the Late Pleistocene-Holocene. – *Doklady Earth Sciences* **431**: 479-483.

MASCHENKO, E. N. (2002). Individual development, biology and evolution of the woolly mammoth. – *Cranium* **19**: 4-120.

MAYR, C., BRANDLMEIER, B., DIERSCHKE, V., STOJAKOWITS, P., KIRSCHER, U., MATZKE-KARASZ, R., BACHTADSE, V., EIGLER, M., HAAS, U., LEMPE, B., REIMER, P. J. & SPÖTL, C. (2017). Nesselstalgraben, a new reference section of the last glacial period in southern Germany. – *Journal of Paleolimnology* **58**: 213-229.

MEAD, J. I., AGENBROAD, L. D., DAVIS, O. K. & MARTIN, P. S. (1986). Dung of *Mammuthus* in the arid Southwest, North America. – *Quaternary Research* **25/1**: 121-127.

MOL, D., BIJKERK, A. & BALLARD, J. P. (2018). Deciduous tusks and small permanent tusks of the woolly mammoth, *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) found on beaches in the Netherlands. – *Quaternary* **1/1**: 1-14.

NOGUÉS-BRAVO, D., RODRÍGUEZ, J., HORTAL, J., BATRA, P. & ARAÚJO, M. B. (2008). Climate change, humans and the extinction of the woolly mammoth. – *PloS Biology* **6/4**, DOI: 10.1371/journal.pbio.0060079.

PAITZELT, G. (2014). Das Mammutzahn-Bruchstück von Fritzens (Inntal, Tirol) und seine Stellung in der Chronologie des ostalpinen Spätpleistozäns. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* **154/1-4**: 71-82.

PAUL, D., SKRZYPEK, G. & FÓRIZS, I. (2007). Normalization of measured stable isotopic compositions to isotope reference scales - a review. – *Rapid Communications in Mass Spectrometry* **21**: 3006-3014.

PFEIFER, S. J., HARTRAMP, W. L., KAHLKE, R. D. & MÜLLER, F. A. (2019). Mammoth ivory was the

- most suitable osseous raw material for the production of Late Pleistocene big game projectile points. – *Scientific Reports* **9**/2303: 1-10.
- PLÖCHINGER, B., KOLLMANN, H. A., KOLLMANN, W., SCHÄFFER, G. & VAN HUSEN, D. (1982). Erläuterungen zu Blatt 95 Sankt Wolfgang im Salzkammergut. – Wien (Verlag der Geologischen Bundesanstalt).
- PUZACHENKO, Y. Y., MARKOVA, A. K., KOSINTSEV, P. A., VAN KOLFSCHOTEN, T., VAN DER PLICHT, J., KUZNETSOVA, T. V., TIKHONOV, A. N., PONOMAREV, D. V., KUITEMS, K. & BACHURA, O. P. (2017). The Eurasian mammoth distribution during the second half of the Late Pleistocene and the Holocene: regional aspects. – *Quaternary International* **445**: 71-88.
- REIMER, P. J., BARD, E., BAYLISS, A., WARREN BECK, J., BLACKWELL, P. G., BRONK RAMSEY, Ch., BUCK, C. E., CHENG, H., LAWRENCE EDWARDS, R., FRIEDRICH, M., GROOTES, P. M., GUILDERSON, T. P., HAFLIDASON, H., HAJDAS, I., HATTÉ, Ch., HEATON, T. J., HOFFMANN, D. L., HOGG, A. G., HUGHEN, K. A., KAISER, K. F., KROMER, B., MANNING, S. W., NIU, M., REIMER, R. W., RICHARDS, D. A., SCOTT, E. M., SOUTHON, J. R., STAFF, R. A., TURNEY, Ch. & VAN DER PLICHT, J. (2013). Intcal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. – *Radiocarbon* **55**/4: 1869-1887.
- RETTENBACHER, C. (1998). Steinzeitliche Silexartefakte aus dem Abri von Elsbethen. Eine paläomesolithische Jagdstation im Salzsachtal. – Universität Wien, unveröff. Dissertation.
- RIVALS, F., SEMPREBON, G. & LISTER, A. (2012). An examination of dietary diversity patterns in Pleistocene proboscideans (*Mammuthus*, *Palaeoloxodon*, and *Mammuth*) from Europe and North America as revealed by dental microwear. – *Quaternary International* **255**: 188-195.
- ROUNTREY, A. N., FISHER, D. C., TIKHONOV, A. N., KOSINTSEV, P. A., LAZAREV, P. A., BOESKOROV, G. & BUIGUES, B. (2012). Early tooth development, gestation, and season of birth in mammoths. – *Quaternary International* **255**: 196-205.
- SALCHER-JEDRASIAK, T. A. & UMGEHER-MAYER, S. (2010). Die jungpaläolithische Freilandstation Langmannersdorf an der Perschling, Niederösterreich. Eine Neubewertung des „Lagerplatzes B“. – *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission* **70**: 1-195.
- SCHWARTZ-NARBONNE, R., LONGSTAFFE, F. J., METCALFE, J. Z. & ZAZULA, G. (2015). Solving the woolly mammoth conundrum: amino acid ¹⁵N-enrichment suggests a distinct forage or habitat. – *Scientific Reports* **5**: <https://doi.org/10.1038/srep09791>
- SMITH, K. M. & FISHER, D. C. (2011). Sexual dimorphism of structures showing indeterminate growth: tusks of American mastodons (*Mammuth americanum*). – *Paleobiology* **37**/2: 175-194.
- SMITH, K. M. & FISHER, D. C. (2013). Sexual dimorphism and inter-generic variation in proboscidean tusks: multivariate assessment of American mastodons (*Mammuth americanum*) and extant African elephants. – *Journal of Mammalian Evolution* **20**/4: 337-355.
- SPÖTL, C., REIMER, P. & GÖHLICH, U. (2018). Mammoths inside the Eastern Alps during the last glacial period: radiocarbon constraints and palaeoenvironmental implications. – *Quaternary Science Reviews* **190**: 11-19.
- STADLER, H. (2003). Siedlungsgeschichte der Hohen Tauern vom ersten Auftreten des Menschen

bis zum Beginn der Neuzeit. – <http://www.hohetauern.at/images/dateien-archiv/ManuskriptStadler-deutsch.pdf>

STARNBERGER R., RODNIGHT, H. & SPÖTL, C. (2011). Chronology of the last glacial maximum in the Salzach Palaeoglacier area (Eastern Alps). – *Journal of Quaternary Science* **26**: 502-510.

STUART, A. J., SULERZHITSKY, L. D., ORLOVA, L. A., KUZMIN, Y. V. & LISTER, A. M. (2002). The latest woolly mammoths (*Mammuthus primigenius* Blumenbach) in Europe and Asia: a review of the current evidence. – *Quaternary Science Reviews* **21**: 1559-1569.

STUART, A. J., KOSINTSEV, P. A., HIGHAM, T. F. & LISTER, A. M. (2004). Pleistocene to Holocene extinction dynamics in giant deer and woolly mammoth. – *Nature* **431**: 684-689.

STUART, A. J. (2005). The extinction of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) and straight-tusked elephant (*Palaeoloxodon antiquus*) in Europe. – *Quaternary International* **126-128**: 171-177.

STUART, A. J. & LISTER, A. M. (2007). Patterns of Late Quaternary megafaunal extinctions in Europe and northern Asia. – *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* **259**: 287-297.

STUART, A. J. (2015). Late Quaternary megafaunal extinctions on the continents: a short review. – *Geological Journal*. – *Geological Journal* **50**: 338-363.

TICHY, G. (1989). Neue Mammutfunde aus Salzburg und Oberösterreich. – *Oberösterreichische GEO-Nachrichten* **4**: 1-31.

TRAPANI, J. & FISHER, D. C. (2003). Discriminating proboscidean taxa using features of the Schreger pattern in tusk dentin. – *Journal of Archaeological Science* **30**: 429-438.

TÜTKEN, T., FURRRER, H. & VENNEMANN, T. W. (2007). Stable isotope compositions of mammoth teeth from Niederweningen, Switzerland: implications for the Late Pleistocene climate, environment, and diet. – *Quaternary International* **164-165**: 139-150.

UKKONEN, P., AARIS-SØRENSEN, K., ARPPE, L., CLARK, P. U., DAUGNORA, L., LISTER, A. M., LOUGAS, L., SEPPÄ, H., SOMMER, R. S., STUART, A. J., WOJTAL, P. & ZUPINS, I. (2011). Woolly mammoth (*Mammuthus primigenius* Blum.) and its environment in northern Europe during the last glaciation. – *Quaternary Science Reviews* **30**: 693-712.

VAN DER MADE, J. (2010). The evolution of the elephants and their relatives in the context of a changing climate and geography. In: MELLER, H. (Eds.): *Elefantenreich. Eine Fossilwelt in Europa. Begleitband zur Sonderausstellung im Landesmuseum für Vorgeschichte Halle, 26.03.-03.10.2010*. – Halle/Saale (Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt): 340-360.

VAN GEEL, B., APTROOT, A., BAITTINGER, C., BIRKS, H. H., BULL, I. D., CROSS, H. B., EVERSLED, R. P., GRAVENDEEL, B., KOMPANJE, E., KUPERUS, P., MOL, D., NIEROP, K., PALS, J. P., TIKHONOV, A. N., VAN REENEN, G. & VAN TIENDEREN, P. H. (2008). The ecological implications of a Yakutian mammoth's last meal. – *Quaternary Research* **69**: 361-376.

VAN HUSEN, D. (1979). Bericht 1977 über Aufnahmen im Quartär auf Blatt 95, St. Wolfgang. – *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 1978: A86.

VAN HUSEN, D. & REITNER, J. M. (2011). An outline of the Quaternary stratigraphy of Austria. – *E&G*

Quaternary Science Journal **60**/2-3: 366-387.

VAN KLINKEN, G. (1999). Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. – *Journal of Archaeological Science* **26**/6: 687-695.

VARTANYAN, S. L., GARUTT, W. E. & SHER, A. V. (1993). Holocene dwarf mammoths from Wrangel Island in Siberian Arctic. – *Nature* **362**: 337-340.

VARTANYAN, S. L., ARSLANOV, K. A., KARHU, J. A., POSSNERT, G. & SULERZHITSKY, L. D. (2008). Collection of radiocarbon dates on the mammoths (*Mammuthus primigenius*) and other genera of Wrangel Island, northeast Siberia, Russia. – *Quaternary Research* **70**: 51-59.

VERESHCHAGIN, N. K. & BARYSHNIKOV, G. F. (1982). Paleoecology of the mammoth fauna in the Eurasian arctic. In: HOPKINS, D. M., MATTHEWS, J. V., SCHWEGER, C. E. YOUNG S. B. (Eds.): *Paleoecology of Beringia*. – New York (Academic Press): 267-279.

VERESHCHAGIN, N. K. & TIKHONOV, A. N. (1986). Issledovaniya bivnikh mammontov. A study of mammoth tusks. – *Proceedings of the Zoological Institute of the USSR Academy of Science* **149**: 3-14.

VERESHCHAGIN, N. K. & TIKHONOV, A. N. (1999). Exterior of the mammoth. – *Cranium* **1**/16: 4-44.

ZIEGLER, R. (1994). Das Mammut (*Mammuthus primigenius* Blumenbach) von Siegsdorf bei Traunstein (Bayern) und seine Begleitfauna. – *Münchener Geowissenschaftliche Abhandlungen* **A26**: 49-80.

ZIMOV, S. A., ZIMOV, N. S., TIKHONOV, A. N. & CHAPIN, F. S. (2012). Mammoth steppe: a high-productivity phenomenon. – *Quaternary Science Reviews* **57**: 26-45.

Museum Burg Golling, Quartärpaläontologische und Archäologische Sammlung, Markt 1, 5440 Golling an der Salzach