



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Schnitt- und Kerbmarken an Knochen nach scharfer Gewalt: Morphologische Analyse von prähistorischen und rezenten Knochen mittels Fluoreszenzmikroskopie“

verfasst von / submitted by

Christian Husch, BSc MSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2019 / Vienna 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 827

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Anthropologie

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Irene Lichtscheidl-Schultz

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

.....

(Datum)

.....

(Unterschrift)

Danksagung

Mein großer Dank gilt meiner Betreuerin Irene Lichtscheidl-Schultz der Universität Wien und meiner Co-Betreuerin Margit Berner vom Naturhistorischen Museum Wien für das mir entgegengebrachte Vertrauen für dieses Projekt und den Rat und die Hilfe während dieser Zeit.

Ebenfalls danken möchte ich den Kollegen von CIUS, Ingeborg Lang, Helmuth Goldammer, Daniela Gruber, Brigitte Schmidt und all den anderen Kollegen für die nette Arbeitsatmosphäre und die großartige Hilfe.

Meinen Dank für die Bereitstellung der Menschenknochen möchte ich dem Naturhistorischen Museum Wien aussprechen, Karl Kunst von der Archäozoologie für die Tierknochen und Gerhard Weber, Martin Dockner und Cinzia Fornai von der Anthropologie für die Datenerhebung und Hilfe mit dem Mikro-CT und Amira, Jan Matek für die Bereitstellung und Hilfe mit den Zerstückelungswerkzeugen und Waltraud Schultz für die Hilfe bei der Nachahmung der taphonomischen Effekte.

Zum Schluss möchte ich noch meiner Familie und all meinen Freunden danken für deren Geduld und Einsichtigkeit während meines Studiums.

Für meinen lieben verstorbenen Freund Martin

Ich werde Dich nie vergessen!

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	- 1 -
1.1 Forensische Anthropologie	- 2 -
1.1.1 Tatrekonstruktion	- 3 -
1.1.2 Leichenzerstückelung (<i>Mutilation</i>).....	- 3 -
1.1.3 Kriminalstatistik Österreich.....	- 7 -
1.2 Paläoanthropologie.....	- 8 -
1.2.1 Kannibalismus.....	- 9 -
1.3 Anatomie des Knochens.....	- 10 -
1.4 Schnitt- und Stichverletzungen – Merkmale	- 11 -
1.5 Taphonomie und Fossildiagenese	- 13 -
1.6 Huminsäuren	- 15 -
1.7 Werkzeuge	- 16 -
1.7.1 Messer	- 16 -
1.7.2 Säge.....	- 17 -
1.7.3 Schere.....	- 18 -
1.7.4 Schaber.....	- 19 -
1.7.5 Axt.....	- 20 -
1.8 Bildgebende Verfahren	- 21 -
1.8.1 Fluoreszenzmikroskop	- 21 -
1.8.2 Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM).....	- 22 -
1.8.3 Mikro-CT (μ -CT).....	- 23 -
1.9 Modellsysteme für die forensische Forschung.....	- 24 -
2. Fragestellung und Ziele der Arbeit	- 25 -
3. Material & Methode	- 27 -
3.1 Darstellung von Marken auf rezenten und prähistorischen Knochen mit unterschiedlichen Techniken	- 27 -
3.1.1 Untersuchung der frischen Knochen	- 29 -

3.1.2	Untersuchung der prähistorischen Knochen	- 30 -
3.2	Material	- 33 -
3.2.1	Werkzeuge	- 33 -
3.2.1.1	Werkzeuge für Schnitt- und Hackspuren.....	- 33 -
3.2.1.2	Werkzeuge für Zerstückelung	- 35 -
3.2.2	Rippen	- 36 -
3.2.3	Oberschenkelbeine.....	- 36 -
3.2.4	Prähistorische Tierknochen	- 36 -
3.2.5	Prähistorische Menschenknochen	- 36 -
3.2.6	Fallbeil	- 37 -
3.2.7	Simulierung von Abnützungerscheinungen.....	- 38 -
3.3	Methoden	- 39 -
3.3.1	Cut- und Hackmarken.....	- 39 -
3.3.2	Zerstückelung	- 41 -
3.3.3	Mazeration.....	- 42 -
3.3.3.1	Rippen.....	- 42 -
3.3.3.2	Oberschenkelbein	- 42 -
3.3.4	Extraktion der Huminsäuren und Behandlung der Knochen	- 42 -
3.3.5	Makrofotografie.....	- 43 -
3.3.6	Stereomikroskopie	- 43 -
3.3.7	Stereofluoreszenzmikroskopie.....	- 43 -
3.3.8	Fluoreszenzmikroskopie	- 43 -
3.3.9	Konfokalmikroskopie.....	- 44 -
3.3.10	Stacking und Bildbearbeitung	- 44 -
3.3.11	ESEM	- 44 -
3.3.12	Mikro-CT	- 45 -
3.3.13	Messparameter.....	- 46 -
3.3.14	Nachahmung taphonomischer Effekte.....	- 47 -
3.3.15	Statistische Auswertung	- 47 -

4. Ergebnisse	- 49 -
4.1 Lambda-Anregungsreihe zur Bestimmung der optimalen Fluoreszenzanregung	- 49 -
4.1.1 Bei frischen Schweineknochen zeigte sich nach Anregung mit 405 nm die stärkste Fluoreszenz.....	- 50 -
4.1.2 Huminsäuren haben Einfluss auf das Fluoreszenzverhalten eines Knochens.....	- 51 -
4.1.3 Lambda-Anregungsreihe - prähistorische Knochen	- 53 -
4.1.3.1 Ein Menschenknochen aus der Bronzezeit zeigte die stärkste Fluoreszenz nach Anregung mit 405 nm.....	- 53 -
4.1.3.2 Ein prähistorischer Rinderknochen zeigte die stärkste Fluoreszenz nach Anregung mit 405 nm.....	- 55 -
4.2 Analyse von Kerbmarken an frischen Tierknochen.....	- 56 -
4.2.1 Cutmarken an frischen Schweinerippen.....	- 56 -
4.2.1.1 Beschreibung der Cutmarken	- 90 -
4.2.2 Hackmarken an frischen Schweineknochen.....	- 96 -
4.2.2.1 Beschreibung der Hackmarken	- 116 -
4.2.2.2 Silexmarken an frischen Schweineknochen	- 121 -
4.2.3 Beschreibung der Silexmarken	- 125 -
4.3 Zerstückelung von frischen Schweineknochen.....	- 129 -
4.3.1 Beschreibung der Zerstückelungsmarken	- 135 -
4.4 Analyse von prähistorischen Tierknochen	- 139 -
4.4.1.1 Beschreibung der Marken - Archäozoologie.....	- 166 -
4.5 Analyse von prähistorischen Menschenknochen.....	- 184 -
4.5.1.1 Beschreibung der Marken – Menschenknochen.....	- 200 -
4.5.1.2 Auswirkung der Taphonomie auf Knochenmarken ...	- 222 -
5. Diskussion	- 235 -
5.1 Backofenmethode ist schonender für die Knochen	- 236 -
5.2 Vor- und Nachteile der Aufnahmetechniken	- 237 -
5.3 Huminsäuren führen zu unterschiedlicher Fluoreszenz	- 244 -

5.3.1 Schweinerippen	- 246 -
5.3.2 Silex.....	- 251 -
5.3.3 Zerstückelungswerkzeuge	- 252 -
5.3.4 Prähistorische Knochen.....	- 255 -
5.3.5 Die Taphonomie verändert das Erscheinungsbild der Marke	- 259 -
6. Conclusio	- 261 -
7. Abkürzungen	- 263 -
8. Referenzen	- 266 -
9. Anhang	- 277 -
9.1 Zusammenfassung.....	- 277 -
9.1.1 English.....	- 277 -
9.1.2 Deutsch	- 279 -
9.2 Bildindex	- 281 -
9.3 Tabellenindex.....	- 284 -

1. Einleitung

Werden Knochen von Werkzeugen getroffen, werden spezielle Muster hinterlassen, die durch verschiedene Verfahren analysiert werden können. In der Forensik ist die Nachvollziehbarkeit von rezenten körperlichen Verletzungen, aber auch länger zurückliegenden Gewaltverbrechen, bei denen eine Beurteilung des Weichgewebes aufgrund des fortgeschrittenen Zersetzungsgrades nicht mehr möglich ist, essenziell. Dies ist zB bei Verbrechenopfern, die erst nach einiger Zeit gefunden wurden, oder bei menschlichen Überresten aus Massengräbern, die Kriegsverbrechen zum Opfer fielen, der Fall.

In der Archäologie bieten Schnitt- und Hackmarken an Knochen wichtige Hinweise für die Untersuchung und Bestimmung von prähistorischen Tötungs- und Fleischverarbeitungstechniken, aber auch Einblicke in den Lebensstil vergangener Zeiten. Eine wichtige Frage ist dabei, ob die Verletzungen am Knochen schon zu Lebzeiten zugezogen wurden, ob sie den Tod verursacht haben, oder ob sie nach dem Tod entstanden.

Die Relevanz der in dieser Arbeit vorgestellten Methode und die Wichtigkeit von Kerbmarken an Knochen zeigt ein kürzlich gefundenes Massengrab in Peru. In dem über 550 Jahre alten Massengrab wurden die Überreste von über 140 Kindern, die mehrheitlich zwischen sechs und zwölf Jahre alt waren, und 200 jungen Lamas gefunden. An den Skeletten fand man Anzeichen für die vermutlich bisher größte stattgefundene Massenopferung von Kindern. Die Forscher fanden gleichmäßige und diagonal verlaufende Kerbmarken am Brustbein und an den Rippen, wobei sie das Fehlen von Nachbesserungen und Probierstichen als professionelle Durchführung deuteten. Auslöser der Tat dürfte ein Klimaereignis gewesen sein und die Opferungen, bei denen das Herz entnommen wurde, sollten höhere Mächte milde stimmen (National Geographic, 2018). Aber auch bei rezenten Knochenfunden von Mordopfern, bei denen die Zersetzungs Vorgänge schon zu weit fortgeschritten sind, kann die genaue Untersuchung von Stich- und Kerbmarken wertvolle Hinweise auf das Tatwerkzeug liefern.

1.1 Forensische Anthropologie

Stichverletzungen des Rumpfes durch Messer, besonders im Brustbereich, stellen vor allem in Österreich, Australien, Irland, Schweden und Großbritannien die häufigsten Verletzungen und Todesursachen bei Gewaltverbrechen dar (Knight, 1975; Hunt & Cowling, 1991; Rouse, 1994; Karlsson, 1998; Cassidy & Curtis, 2005; Henderson et al., 2005; Ambade & Godbole, 2006; Squires, 2009; Bartels, 2011; Chan & Payne, 2013; United Nations Office on Drug and Crime: Global Study on Homicide, 2013; Cowper et al., 2015). Verletzungen durch scharfe Werkzeuge umfassen größtenteils Messer, aber auch andere Waffen wie Scheren, Schraubendreher und zerbrochenes Glas (DiMaio & DiMaio, 2001). Aufgrund der legalen und einfachen Verfügbarkeit von Messern, die im Vergleich zu Schusswaffen nicht gesetzlich geregelt ist, werden diese am häufigsten eingesetzt. Dabei kommt es zu den meisten Weichteil- und Knochenverletzungen am Rumpf (Thorax > Abdomen), gefolgt von Kopf und Nacken, unteren Gliedmaßen und oberen Gliedmaßen (Cassidy & Curtis, 2005; De-Giorgio, 2015). Besonders an Stellen, an denen das Skelett dicht unter der Oberfläche der Haut liegt, wie Kopf und Brustkorb, kommt es zu Knochenverletzungen. Für das Zuzufügen einer Stichwunde wird als durchschnittliche Energie von Chadwick et al. (1999) und Horsfall et al. (2005) 36 Joule (J) angegeben. Der tatsächliche Kraftaufwand hängt aber von zusätzlichen Faktoren ab, wie Beschaffenheit der Haut, Körperstelle, Angriffswinkel, Schärfe des Werkzeugs und Dicke der Klinge.

1.1.1 Tatrekonstruktion

Zahlreiche Merkmale sind für die Rekonstruktion einer Tat hilfreich: Für einen Suizid sprechen gehäufte, gruppierte und parallele Stichverletzungen an einer Körperstelle. Dabei werden oft Körperstellen gewählt, die die höchste Aussicht auf Erfolg haben: Herzgegend, Leistenbeuge und Hals. Bei Suiziden beobachtet man häufig auch Probier-/Zauderstiche, die vor allem im Brust-, Handgelenks- und Halsbereich auftreten. Selbst ausgeführte Stiche im Brustbereich verlaufen meist horizontal, um zu verhindern, dass anstatt des Herzens eine Rippe getroffen wird (Hochmeister et al., 2007; Grassberger et al., 2009). Todesursachen nach scharfer Gewalt sind äußeres oder inneres Verbluten, LufteMBOLIE, Blutaspiration, Herzbeutelamponade. Bei Fremdtötung finden sich Abwehrverletzungen, eine dynamische, ungeordnete Verteilung mit Betonung des Körperstammes und divergierende Stichkanalverläufe. (Hochmeister et al., 2007).

1.1.2 Leichenzerstückelung (*Mutilation*)

Bei der Zerstückelung/Verstümmelung („*Mutilation*“) einer Leiche werden vorwiegend scharfe Utensilien benutzt (Handsäge, Kettensäge, verschiedene Arten von Messern). Die Spuren, die dabei von den Werkzeugen hinterlassen werden, können Rückschlüsse auf den Ort der Durchtrennung und das gebrauchte Werkzeug geben (Porta et al., 2016).

Bei der Leichenzerstückelung wird zwischen vier Arten unterschieden (Porta et al., 2016):

Die **natürliche Leichenzerstückelung** ist der natürliche Prozess von Fäulnis und Verwesung über Monate oder Jahre hinweg, welcher anatomischen Gegebenheiten folgt.

Die **zufällige Leichenzerstückelung** wird hervorgerufen durch massive mechanische Gewalteinwirkung, wie sie bei rotierenden Schiffsschrauben, Überfahren durch Eisenbahn, Flugzeugabsturz oder Explosionen auftreten können. Ebenfalls in diese Kategorie fällt Leichenzerstückelung durch Tierfraß.

Eine Leichenzerstückelung ohne Straftat wird auch **nichtkriminelle Leichenzerstückelung** genannt, wie sie zB bei anatomischen Studienobjekten vorkommt, oder die Leiche wird aufgrund der dadurch niedrigeren Transport- und Bestattungskosten zerstückelt.

Kriminelle Leichenzerstückelungen werden nach der Tat ausgeführt zur Verschleierung oder Verbergen einer Tat, oder um ein Opfer unkenntlich zu machen (Lignitz, 2004). Sie kann in defensive und offensive Leichenzerstückelung eingeteilt werden und geschieht aus verbrecherischer Absicht (Orsos, 1940).

Um den Transport einer Leiche zu erleichtern, wird eine **defensive Leichenzerstückelung** durchgeführt. Die Zerstückelung weist eine anatomisch orientierte Abtrennung der Extremitäten und des Kopfes auf und eine weitere Auftrennung des Rumpfes. Um die Identifizierung der Leiche zu verhindern, weisen die Leichenteile ebenfalls Verstümmelungen auf.

Im Gegensatz zur defensiven Zerstückelung weist das Vorgehen bei der **offensiven Zerstückelung** eine eher plan- und sinnlose Zerstückelung auf, der häufig eine sexuelle und/oder sadistische Perversion zugrunde liegt. Diese äußert sich in einem Abtrennen von Brüsten oder Genitalien. Die offensive Leichenzerstückelung kann noch in drei Kategorien eingeteilt werden: Unregelmäßige und zwecklose Zerstückelung der Leichenteile, Verteilen der Leichenteile in Tatortnähe, ohne dem Ziel, diese zu verstecken, und schließlich das Mitnehmen von Leichenteilen.

In der Forensik hat vor allem die kriminelle Leichenzerstückelung einen hohen Stellenwert. Gemäß Rajs et al (1998) kann die kriminelle Leichenzerstückelung in vier Hauptmotive, welche mit dem Befundmuster kombiniert werden, eingeteilt werden:

„Defensive Mutilation“ (Typ I)

Diese dient der erschwerten Identifikation der Leiche und soll einem erleichterten Transport dienen. Entspricht der defensiven Zerstückelung.

„Aggressive Mutilation“ (Typ II)

Entspricht der offensiven Leichenzerstückelung, bei der der Täter während des Tötungsaktes in einen Exzess gerät, mit anschließender Zerstückelung und folgendem Verstümmeln des Gesichtes und der Genitalorgane. Dabei führt das Abtrennen der Körperteile zum Tod selbst (zB Dekapitation) (Türk et al., 2004; Dogan et al., 2010).

„Offensive Mutilation“ (Typ III):

Wird unterteilt in:

Typ IIIa: Die Tötung ist motiviert von der Ausführung sexueller Handlungen an der Leiche oder an Leichenteilen nach deren Zerstückelung.

Typ IIIb: Sexuell-sadistisch getriebener Drang, bei dem am lebenden Opfer sexuelle Handlungen durchgeführt werden unter Zufügen von Schmerzen oder Verletzungen, bis das Opfer schlussendlich getötet wird. Diese Handlungen werden nach dem Tod des Opfers fortgeführt.

Bei beiden Untertypen sind besondere Befundmuster erkennbar.

„Necromantic Mutilation“ (Typ IV):

Abgetrennte Leichenteile werden zur eigenen sexuellen Befriedigung und als Trophäe benutzt.

Eine andere Klassifizierung wurde von Salfati (2000) veröffentlicht. Diese wird unterteilt in „Expressive Mutilation“ und „Instrumental Mutilation“.

„Expressive Mutilation“:

Ist auf die Befriedigung der kommunikativen oder psychologischen Bedürfnisse des Täters ausgerichtet.

„Instrumental Mutilation“:

Der Täter möchte sich dadurch einen gewissen Vorteil verschaffen (zB wirtschaftlich).

Lignitz (2004) schlussfolgerte, dass bei offensiven Leichenzerstückelungen von psychisch gestörten Persönlichkeiten auszugehen ist, da Leichenzerstückelungen psychisch belastend und physisch anstrengend sind. Es erfordert enorme Willensstärke und Entschlossenheit für die Planung und Durchführung der Zerstückelung.

1.1.3 Kriminalstatistik Österreich

2018 wurden insgesamt 8.573 strafbare Handlungen gegen Leib und Leben begangen. Darunter entfallen 190 Handlungen auf Mord und Mordversuch (60 Mord, 130 versuchter Mord) und 135 Handlungen auf fahrlässige oder grob fahrlässige Tötung (fahrlässig: 99, grob fahrlässig: 36) und 5 auf Totschlag und versuchten Totschlag (Totschlag: 3, versuchter Totschlag: 2). Im Vergleich zu 2017 bedeutet dies bei Mord und Mordversuch einen Rückgang von 6,4 % (Statistik Austria). 54,2 % waren davon Beziehungstaten, bei 45,8 % bestand keine Täter-Opfer-Beziehung, bei 1,96 % war der Beziehungsstatus unklar (Polizeiliche Kriminalstatistik, 2018). Von 2005 bis 2018 waren Stichwaffen das meistbenutzte Tatwerkzeug in Österreich, bedingt durch ihre einfache Verfügbarkeit und Zugänglichkeit. Registriert wurden 2018 insgesamt 2896 Gewaltdelikte mit Stichwaffen. Verglichen mit 2009 (859 Registrierungen) bedeutet dies einen Anstieg von 337,14 % (Polizeiliche Kriminalstatistik, 2018). Generell werden in Ozeanien und Europa mehr scharfe Gegenstände benutzt als in Süd- und Nordamerika, wo es zu mehr Einsätzen von Schusswaffen kommt (Wiener Interventionsstelle: Tätigkeitsberichte 2011 – 2017; United Nations Office on Drug and Crime: Global Study on Homicide, 2013). Hauptangriffspunkt mit dem Messer ist der Rumpf, gefolgt von Kopf/Nacken, unteren Gliedmaßen und oberen Gliedmaßen. Bei Mordopfern finden sich meist nicht nur Stichwunden, sondern öfters eine Kombination aus Stich- und Schnittwunden, wie eine Studie von Cassidy & Curtis (2005) zeigte.

1.2 Paläoanthropologie

Für die Interpretation archäologischer Skelettfunde mit Schnittmarken ist es von großer Bedeutung zu unterscheiden, ob es sich bei den gefundenen Marken um Verletzungen, die zum Tode führten (Ermordung), und/oder Zerlegungsspuren des toten Körpers (ev. auch Kannibalismus) handelt, bzw. ob die Spuren im Zuge einer Umlagerung des toten Körpers oder im Rahmen der Ausgrabung entstanden sind. Prähistorische scharfkantige Werkzeuge wurden unter anderem dazu benutzt, Fleisch zu zerteilen und Gewebe vom Knochen zu schneiden, was in weiterer Folge Spuren an Knochen hinterließ (Braun et al., 2016). Bisher wurden Marken auf prähistorischen Knochen, die durch Stein- und Metallwerkzeuge zugefügt wurden, anhand der Querschnittsfläche beurteilt. Dabei ging man davon aus, dass diese Marken eine V-Form aufweisen und im Inneren lineare Streifen bilden (Merritt, 2015). Diese Kriterien erwiesen sich aber als unzureichend bei der Beurteilung von nicht eindeutig identifizierbaren Kerb- und Schnittmarken (Braun et al., 2016).

Anthropogene Knochenmodifikationen beschreiben Schnitt- und Hackspuren an Knochen, die vom Menschen zugefügt wurden. Dies können Spuren an tierischen Knochen, im Zuge der Schlachtung und Zerstückelung, aber auch an menschlichen Knochen, zB durch Umlagerung oder Kannibalismus, sein. Solche Spuren treten im Rahmen der Aufschließung und Zerstückelung der Körper auf und bei der Trennung des Gewebes vom Knochen. Kannibalismus übt noch heute eine morbide Faszination auf den modernen Menschen aus. Kannibalismus war nicht einzig ein Merkmal des modernen Menschen. Hinweise finden sich bei Hominiden, die im frühen Pleistozän (vor 1,8 – 11.500 Jahren) gelebt haben (Fernandez-Jalvo et al., 1999; Saladié et al., 2012).

1.2.1 Kannibalismus

Die Motivationen für die Durchführung von Kannibalismus können für moderne Menschen vielfältig gewesen sein: psychotisch oder kriminell motiviert, zum Überleben, aggressives Verhalten, aus spirituellen (magisch, magisch-medizinisch), rituellen, kulinarischen oder ernährungsbedingten Gründen (Villa et al., 1986; Goldberg, 1997; Fernandez-Jalvo et al., 1999; Vilaca, 2000). Zu unterscheiden sind hier auch Exo- und Endokannibalismus, abhängig davon, ob die Opfer zum sozialen Netzwerk gehörten oder nicht (Vilaca, 2000; Saladié & Rodriguez-Hidalgo, 2016). Die Zahl der prähistorischen Funde, die auf Kannibalismus hindeuten, ist gering (Fernandez-Jalvo et al., 1999; Saladié et al., 2012, Saladié & Rodriguez-Hidalgo, 2016). Einen Beweis könnte eine genetische Studie über das globale Auftreten von Transmissibler Spongiformer Enzephalopathie (TSE) liefern. TSE umfasst mehrere Hirnerkrankungen, ausgelöst durch Prionen, bei der sich das Hirngewebe schwammartig verändert (European Food Safety Authority). Die Studie impliziert, dass TSE-Polymorphismen ein Merkmal prähistorischer Hominiden waren. Mead et al. (2003) nahm an, dass die wiederholte Einnahme von infiziertem Menschenfleisch die Adaption an diese Polymorphismen beschleunigte und so einen selektiven Vorteil innerhalb der prähistorischen Populationen brachte. Marlar et al. (2000) untersuchten eine Siedlung in Colorado aus dem Jahr 1150 und fanden über 1.000 menschliche Knochen, die Schnittspuren von Steinwerkzeugen aufwiesen, Kochgeschirr und menschlichen Kot. Im Kochgeschirr und im Kot fand sich humanes Hämoglobin, was beweist, dass dort Menschen getötet, geschlachtet, gekocht und gegessen wurden.

1.3 Anatomie des Knochens

Der Aufbau eines menschlichen Knochens anhand eines Röhrenknochens (Abb. 1): Der Knochen besteht aus einer festen äußeren Schicht, der *Substantia compacta* und einer inneren trabekelartigen Struktur, der *Substantia spongiosa*. Außen ist der Knochen umgeben von einer kollagenreichen Knochenhaut, dem Periost. Die kollagenen Fasern des Periosts sind im Knochen verankert. Frische Knochen sind aufgrund des Periosts kollagenreich, trockene Knochen sind kollagenarm, da das Periost aufgrund von Zersetzungsvorgängen fehlt.

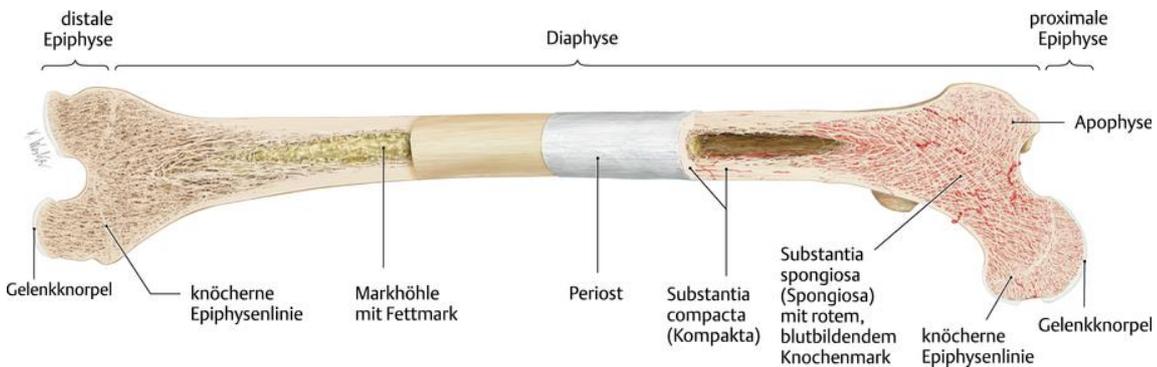


Abb. 1: Femur (Oberschenkel) eines Menschen (Aumüller et al., 2014).
Anatomischer Aufbau eines Femurs eines Menschen.

1.4 Schnitt- und Stichverletzungen – Merkmale

Kerb- und Schnittmarken liefern wertvolle Hinweise bei der Analyse der Tatwaffe und der Nachvollziehbarkeit der Umstände des Todes. Ist eine Schnittwunde mehr tief als breit, spricht man von einer Stichwunde (Knight, 1996). Schnitte verlaufen dabei parallel zur Haut, Stiche senkrecht zur Haut (Hochmeister et al., 2007). Spitze Messer, gleichgültig ob gezahnt oder ungezahnt, hinterlassen eine V-förmige Furche (Symes & Chapman, 2010). Glatte Messerklingen hinterlassen einen T-förmigen Einschnitt, gezahnte Messerklingen besitzen eine Y-Form (Thompson & Inglis, 2009). Zudem wird zwischen sogenannten *Overarm*- und *Underarm*-Angriffen unterschieden. Bei *Overarm*-Angriffen erfolgt der Angriff von oben nach unten und die Klinge des Messers ist zur Ulna des Angreifers gerichtet. Bei *Underarm*-Angriffen erfolgt der Stich von unten nach oben und die Klinge ist zum Radius des Angreifers gerichtet. Bei Stichen von oben sind Kopf, Schultern, Brustkorb und Oberschenkel betroffen, bei Stichen von unten der Bauch und die Leistengegend.

Eine andere wichtige Unterscheidung bei Kerb- und Schnittmarken ist, ob diese „perimortem“ oder „postmortem“ zugefügt wurden. Perimortem beschreibt dabei Verletzungen, die mit dem Todeseintritt einhergingen und wahrscheinlich auch den Tod verursacht haben. Mit postmortem sind Verletzungen gemeint, die nach dem Tod zugefügt wurden. Zur Unterscheidung zwischen perimortalen und postmortalen Verletzungen der Knochen können die Farbe der Schnittfläche und die Beschaffenheit des Bruches erste Auskünfte geben. Perimortale Schnittflächen besitzen die gleiche Farbe wie der restliche Knochen, postmortal zugefügte Schnitte sind heller als der restliche Knochen (Verhoff et al., 2006). In der Anthropologie wird zudem zwischen „frischen“ (kollagenreich) und „trockenen“ (kollagenarm) Knochen unterschieden (Coelho und Cardoso, 2013). Abhängig von frischen oder trockenen Knochen ergeben sich bei stumpfen Verletzungen charakteristische Marken. Frische Knochen neigen dazu, spiralg oder schraubenförmig zu brechen und hinterlassen dabei eine glatte Bruchfläche mit spitzem oder stumpfem Winkel zur kortikalen Oberfläche, während trockene Knochen in geraden Linien brechen und die Bruchfläche rechtwinkelig zur korti-

kalen Oberfläche liegt. Zusätzlich weist der Knochen eine rauere Oberfläche auf als Folge von Mikrorissen (Outram, 1998).

1.5 Taphonomie und Fossildiagenese

Die Taphonomie beschreibt die Entstehung von Fossilien. Die Geschwindigkeit der Fossilisation wird dabei von der wiederholten Verfügbarkeit von organischem Material beeinflusst. Beim mikrobiellen Abbau von organischem Material unterscheidet man drei Phasen. In der ersten Phase, oder auch *lag*-Phase, findet eine mikrobielle oder enzymatische Anreicherung statt. In der zweiten Phase kommt es zu einem schnellen Abbau von Substrat. In der dritten Phase kommt es zur Bildung von Huminstoffen, bedingt durch den vorherrschenden Mangel an Substrat (Ajwa & Tabatabai, 1994). Ist Sauerstoff vorhanden, spricht man von Verwesung, bei Fehlen von Sauerstoff von Fäulnis.

Für die Fossilisation muss ein Kadaver eingebettet werden. Bei der autochthonen Einbettung findet die Einbettung am Lebens- oder Todesort statt. Bei der allochthonen Einbettung wird der Kadaver nicht am Lebens- oder Todesort eingebettet, sondern wird noch transportiert, eingebettet und meist wiederaufgearbeitet, wobei dieser Vorgang öfters stattfinden kann. Wird ein Kadaver schnell von Sediment bedeckt, kann es zu einer Mineralisierung von Weichteilen kommen, hervorgerufen durch anaerobe Zersetzungsprozesse. Dies führt zu einer sehr guten Erhaltung von Weichteilen. Harte Strukturen, wie Knochen, werden meist durch die Last des Sediments und der daraus folgenden Entwässerung und Volumenreduktion des Sediments deformiert. Bei einer plastischen Deformation werden die Knochen nicht zerstört, bei der starren Deformation kommt es zum Bruch. Oftmals gehen aber Fossilien in Lösung, was zu kompletter Zerstörung führen kann. Beim allochemen Stoffaustausch wird das ursprüngliche Skelett durch ein anderes Material ersetzt. Bei der Verkieselung wird das Knochenmaterial durch SiO_2 (Siliziumdioxid) ersetzt, bei der Pyritisierung durch FeS_2 (Pyrit) (Oschmann, 2018).

Bei Befundung der Schnittmarken müssen die Taphonomie und Fossildiagenese, die großen Einfluss auf das Erscheinungsbild haben können, daher berücksichtigt werden. Die Beurteilung der Marken ist ebenfalls sehr eingeschränkt, wenn Spuren während einer archäologischen Ausgrabung oder Verlagerung zugefügt wurden, da dies zu falschen Schlussfolgerungen führen kann. Natürli-

che Bedingungen wie Abrieb, hervorgerufen durch Sediment, der bei Wind über den Knochen schleift, können Kerb- und Schnittmarken nachahmen (Behrensmeyer et al., 1986). Markenveränderungen durch lange Liegezeit im Boden, welcher durch seine Beschaffenheit Einfluss auf Marken hat, und veränderte Druckverhältnisse durch das Gewicht von wandernden Lebewesen und Sediment, haben großen Einfluss auf die Beurteilung (Coelho & Cardoso, 2013; Cappella et al., 2014).

1.6 Huminsäuren

Huminsäuren sind eine Untergruppe der Huminstoffe, die im sauren Milieu (pH <2) in Wasser unlöslich sind, aber bei höheren pH-Werten in Lösung gehen (Aiken et al., 1985). Huminsäuren sind hochmolekulare Substanzen, mit einem Molekulargewicht von bis zu 10.000 Dalton, kommen natürlich in Torf, Braunkohle, Schwarzkohle, kohlenstoffhaltigen Schiefen und Humusböden vor und bilden sich bei Abbau aus pflanzlichen und tierischen Materialien durch Humifizierung. Charakteristisch zeichnen sich Huminsäuren durch ihre negative Ladung und ihre amorphe Form aus, die durch chemische und physikalische Methoden bestimmt werden können. Die Farbe reicht von braun bis schwarz-braun (Witthauer & Klöcknig, 1971, Stevenson, 1985). Weiters konnten Huminsäuren auch schon in antarktischen Böden, Sedimenten und atmosphärischen Aerosolen nachgewiesen werden (Campanella et al., 1991; Bonavita et al., 1996; Havers et al., 1998). Von den funktionellen Gruppen sind für die biologische Wirkung die sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppen und die Carboxyl-, Hydroxyl- und Carbonylgruppen essenziell. Diese Gruppen sind entweder an den phenolischen Grundkörper gebunden oder sind in der Seitenkette enthalten (Choudhry, 1984a).

Huminsäuren zeigen ein uncharakteristisches Absorptionsspektrum im Bereich von 400 nm bis 800 nm (sichtbarer Spektralbereich) und 200 nm bis 400 nm (UV-Bereich). Bei Anregung mit UV-Licht ist bei manchen Huminsäuren eine Fluoreszenz sichtbar (Choudhry, 1984a).

1.7 Werkzeuge

Sind definiert als „Geräte zur Herstellung anderer Geräte und zur Extraktion der dazu erforderlichen Rohstoffe durch Formveränderung und Verformung (spanabhebende und nicht-spanabhebende Perkussion) sowie durch Formung“ (Feest & Janata, 1999). Auf Perkussion basierende Werkzeuge werden untergliedert in Werkzeuge mit Druckperkussion, Schwingperkussion und kombinierter Perkussion. Deren Anwendung erfolgt senkrecht oder auch schräg, der Wirkung kann linear, flächig, oder punktförmig sein (Feest & Janata, 1999).

1.7.1 Messer

Ein Messer ist ein schneidendes Druckperkussionswerkzeug, dessen Kraft im rechten Winkel zu Achse wirkt. Ein Messer kann flächig oder linear wirken und besteht aus einer einschneidigen, scharfen Klinge (Feest & Janata, 1999). Messer bestehen meist aus Stahl mit verschiedenen Anteilen an anderen Elementen wie Vanadium, Molybdän, Wolfram, Silikon, Nickel, etc. (Vermej et al., 2012).

Aufbau:

In den Griff eingelassen ist die Basis. Die Zwinge schützt den Griff vor Aufspaltung und Handverletzung. Die Klinge wird unterteilt in Rücken (der breitere obere Teil), eine Schärfe oder Schneide (der schmalere, schneidende Teil), eine Spitze und in die beiden Seitenflächen (Abb. 2). Je nach Verwendungszweck kann die Form der Klinge variieren (Feest & Janata, 1999).

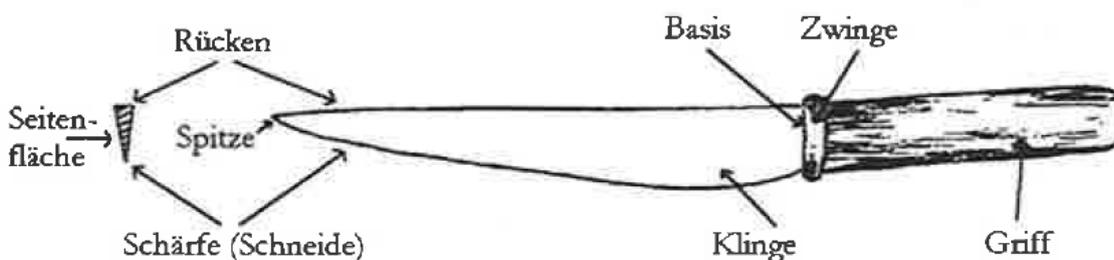


Abb. 2: Aufbau eines Messers (von Feest & Janata, 1999).

1.7.2 Säge

Sägen sind zum Schneiden spezialisierte Druckwerkzeuge. Die Wirkung der Säge beruht auf den Zähnen, die geradlinig angeordnet sind und linear wirken (Abb. 3) (Feest & Janata, 1999).

Aufbau:

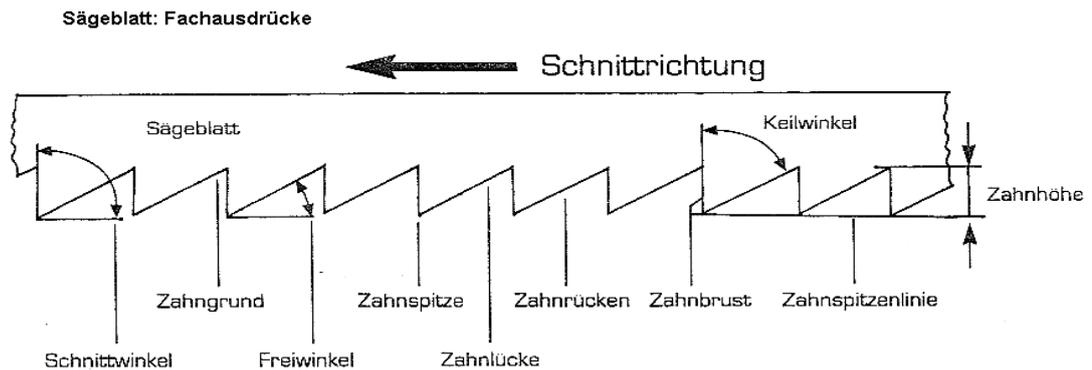


Abb. 3: Sägeblatt mit Sägezähnen (adaptiert von Dinges & Worm, 2000).

Die Form der Zähne kann variieren, je nach Verwendungszweck (Abb. 4).

Verschiedene Sägeblätter verschiedener Sägen

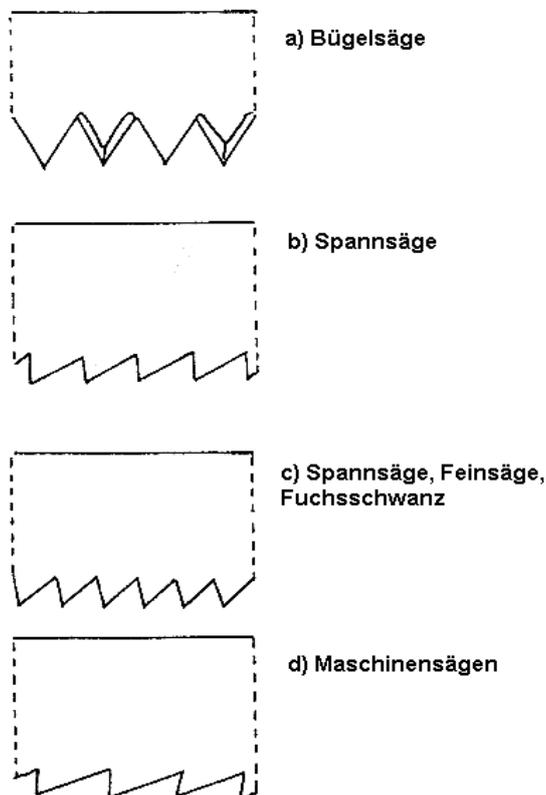


Abb. 4: Sägeblätter verschiedener Sägen (adaptiert von Dinges & Worm, 2000).

1.7.3 Schere

Die Schere ist ein linear schneidendes Druckwerkzeug. Sie besteht aus zwei metallenen Klingen, die beim Schließen eine abscherende Wirkung erzeugen. (Feest & Janata, 1999).

Aufbau:

Die einzelnen Teile der Schere haben verschiedene Bezeichnungen, die in Abb. 4 dargestellt sind. Vereinfacht dargestellt besteht die Schere aus zwei Augen, die als Halterungen für die Finger fungieren, welche wiederum zum Griff gehören. Der Griff geht über in das Schild, durch das die Schraube oder das Niet durchgeht, um die beiden Hälften zusammenzuhalten. Vom Schild gehen die zwei Blätter mit den Schneiden weiter (Abb. 5).

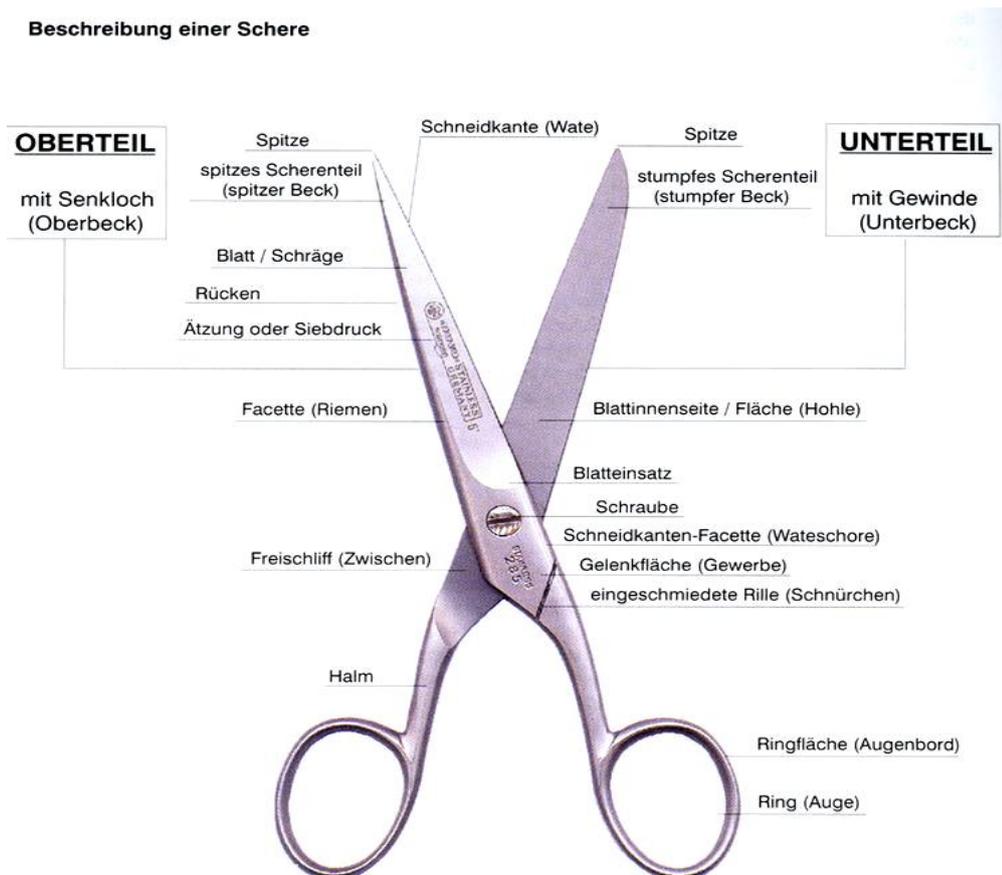


Abb. 5: Aufbau einer Schere (adaptiert von schneidewerkzeugmechaniker.info).

1.7.4 Schaber

Ein Schaber ist ein Druckperkussionswerkzeug, das schräg angewendet wird, eine flächig abscherende Wirkung besitzt, und dessen Kraft in Richtung der Achse wirkt (Feest & Janata, 1999). Die größte Verbreitung und vielfältigsten Formen hatten die Schaber während des Mittelpaläolithikums. Verwendet wurden sie zur Bearbeitung von Holz, Elfenbein, Geweih, Knochen und Stein, Reinigen von Häuten und zur Zerkleinerung der pflanzlichen und tierischen Nahrung (Abb. 6) (Unser, 1983).

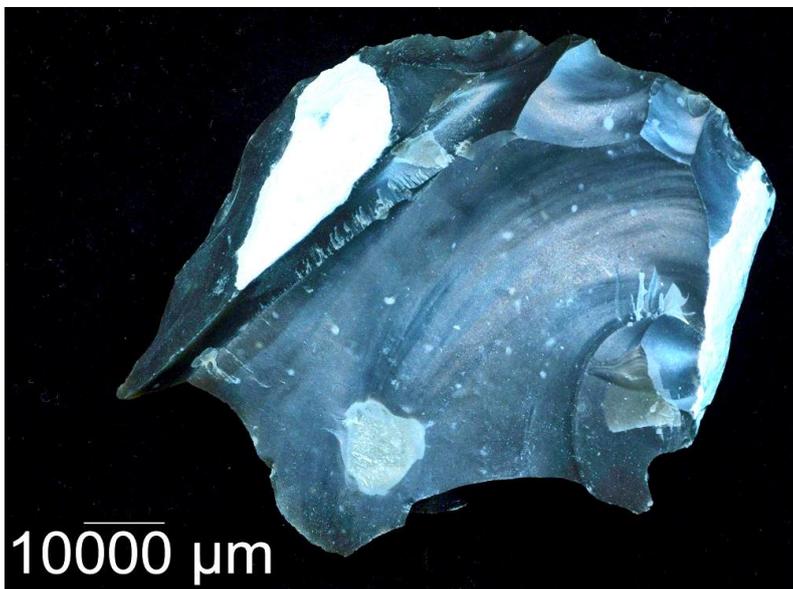


Abb. 6: Silikatgestein (Silex) mit angeschärften Kanten.
Silikatgestein mit angebrochen Kanten, um ein schärferes Werkzeug zu erhalten.

1.7.5 Axt

Die Axt ist ein Schwingperkussionswerkzeug, die Schneide der Klinge befindet sich in der Ebene des Schafts (Feest & Janata, 1999).

Aufbau:

Die Klinge besteht aus einem Haupt, welches wiederum aus einem Haus und dem Ohr oder Auge besteht. Im Ohr wird der Griff platziert. Der andere Teil der Klinge ist das Blatt, bestehend aus einer Wange, dem Schliff, der Schneide einer Ferse, einer Zehe und der Schneidekante (Abb. 7).

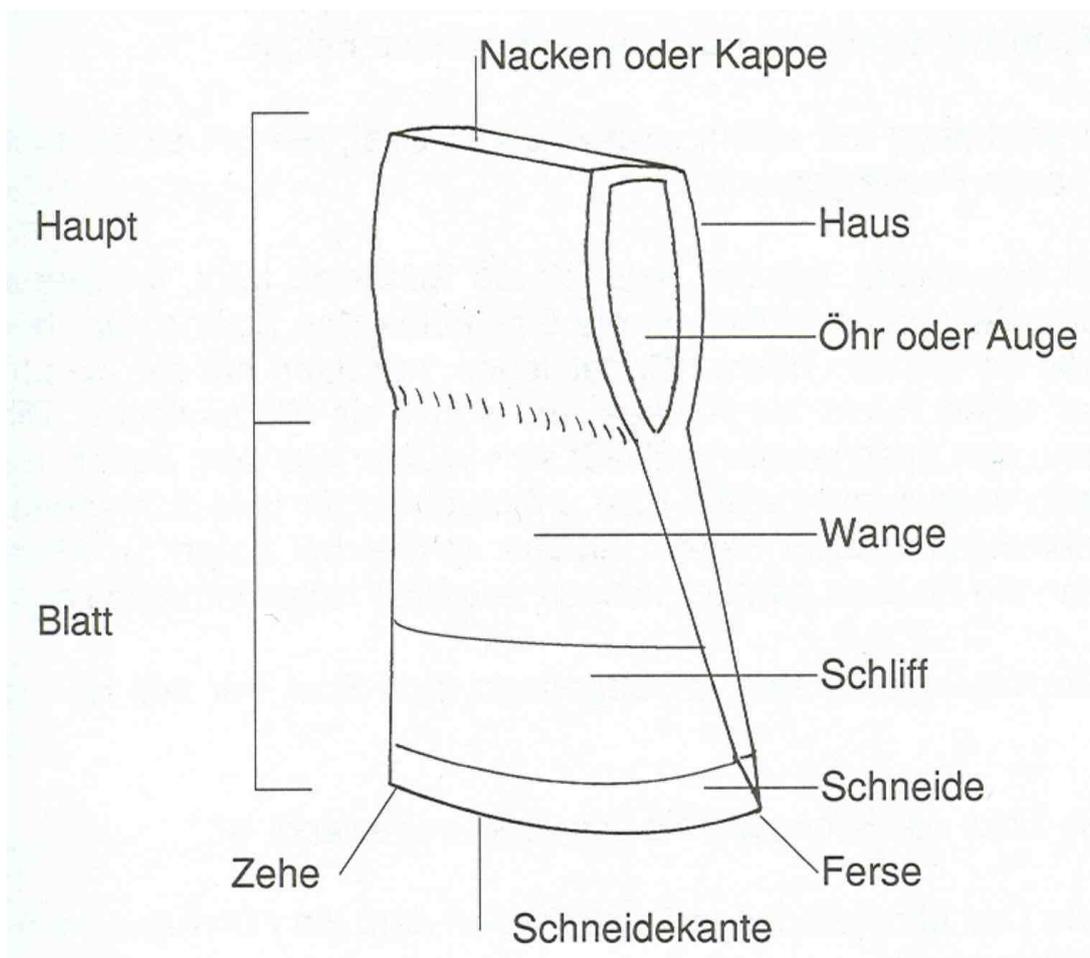


Abb. 7: Aufbau einer Axtklinge (Bothe, 2008).

1.8 Bildgebende Verfahren

Durch den laufenden technologischen Fortschritt sind die Auswahl einer passenden Untersuchungsmethode und der Geräteeinsatz einem Wandel unterworfen. Bereits gängige Methoden bei der Untersuchung von Kerb- und Schnittmarken beinhalten Untersuchungen mittels Mikro-CT (μ -CT), Rasterelektronenmikroskop (REM/SEM) und Makrofotografie. Die Untersuchung mittels Fluoreszenzmikroskop ist bis dato keine gängige Methode in diesen Feldern, weshalb sich auch sehr wenig Literatur darüber findet.

1.8.1 Fluoreszenzmikroskop

Fluoreszenzmikroskopie ist eine Form der Lichtmikroskopie. Proben werden dabei mit fluoreszierenden Stoffen behandelt, oder es wird die Eigenfluoreszenz des Materials ausgenutzt und mit Licht bestimmter Wellenlänge angeregt. Dabei strahlt der Fluoreszenzstoff/das Material Licht einer größeren Wellenlänge ab, das als Emission bezeichnet wird. Die Differenz zwischen den Wellenlängen wird als Stokes-Differenz bezeichnet. Die Lichtquelle kommt dabei entweder aus einer Xenon- oder einer Quecksilberlampe. Um das Anregungslicht vom Fluoreszenzlicht, das schwächer ist, zu trennen, werden Filter eingesetzt. Der Anregungsfilter ist nur für die gewünschte Wellenlänge, die für die Anregung des Fluorochroms benötigt wird, durchlässig. Der Emissionsfilter (Sperrfilter) transmittiert das Fluoreszenzlicht. Der dichromatische Spiegel reflektiert kurzwelliges Licht und lässt langwelliges Licht durch. Damit wird sichergestellt, dass kurzwelliges Licht zur Probe kommt und langwelliges Licht zum Betrachter.

Vorteile dieser bisher in der forensischen und archäologischen Anthropologie noch nicht standardmäßig genutzten Untersuchungsmethode sind die Darstellung von Strukturen, die weit unter der Grenze der Auflösung liegen, der geringe Aufwand beim Erstellen der Bilder und die billigere Anschaffung und Erhaltung, im Vergleich zu anderen Geräten wie zB μ -CT. Für die Untersuchung ist lediglich die Behandlung mit einem Fluoreszenzfarbstoff nötig, sofern das untersuchende Material keine Eigenfluoreszenz besitzt. Zusätzliche Präparationen wie Sputtern mit Gold oder Kohlenstoff, Arbeiten im Vakuum oder Behandlung mit Chemikalien sind nicht notwendig und Fluoreszenzfarbstoffe und das Mikro-

skop selbst wirken nicht destruktiv auf das Material. Nachteile dieser Methode sind die Abnahme der Fluoreszenzintensität durch zu lange Belichtungszeit („Fading“) und mögliche unspezifische Eigenfluoreszenz.

1.8.2 Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM)

Der Anfang des ESEM geht bis nach Deutschland ins Jahr 1938 zurück, als Manfred von Ardenne die Theorie, das Prinzip und die praktische Anwendungsmöglichkeit des Rasterelektronenmikroskops beschrieb (Ardenne, 1938a, Ardenne, 1938b). 50 Jahre später wurde das erste ESEM gebaut, welches auf zwei Arbeiten von Danilatos (1988; 1990) basierte. Das ESEM generiert einen Elektronenstrahl, welcher durch elektromagnetische Linsen auf die Oberfläche der zu untersuchenden Probe fokussiert wird. Beim Abtasten der Oberfläche werden Signale produziert, die von einem Detektor gesammelt und zu einem Bild zusammengesetzt werden. Während sich in einem normalen Rasterelektronenmikroskop die Proben in einem Hochvakuum befinden und es daher für biologische Materialien ungeeignet ist, arbeitet das ESEM mit einem geringeren Vakuum und höheren Druck (130 – 1300 Pa). Statt Hochvakuum wird Gas verwendet (Wasserdampf, Stickstoff, Luft). Der Vorteil des ESEM ist, dass nicht vakuumstabile oder ausgasende (biologische) Proben verwendet werden können, die vorher nicht bedampft werden müssen. Abhängig von der Probe sind Temperatur und Druck regelbar. So ist es möglich, die Luftfeuchtigkeit von 0 bis 100 % zu regeln und Untersuchungen mit Temperaturen bis über 1000 °C durchzuführen. Die Nachteile sind die längere Rastergeschwindigkeit, die geringere Auflösung (<50-fach) und die Undurchsichtigkeit von Flüssigkeiten, die möglicherweise die zu untersuchende Oberfläche verdecken.

1.8.3 Mikro-CT (μ -CT)

Das erste marktreife CT wurde 1963 von Sir Godfrey Hounsfield entwickelt, welches noch Isotope als Strahlenquelle verwendete und für die Untersuchung eines Objekts 9 Tage benötigte (Kalender, 2000). Unabhängig davon entwickelte Allan M. Cormack zur gleichen Zeit die nötigen Algorithmen, von denen Hounsfield keine Kenntnis hatte und diese Algorithmen auch selbst entwickelte (Buzug, 2002). Beide erhielten 1979 für diese Arbeiten den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin.

Ca. 20 Jahre später, Anfang der 1980er Jahre, entwickelte Jim Elliott einen Computertomographen, der in der Lage war, Untersuchungen im Mikrometerbereich zu ermöglichen. Das war die Geburtsstunde des Mikro-Computertomographen (μ -CT).

Für die Aufnahme emittiert eine Röntgenröhre Röntgenstrahlen, die das zu untersuchende Objekt durchqueren und von einem Detektor gesammelt werden. Dabei rotiert das Objekt, um Aufnahmen in allen drei Ebenen (transversal, sagittal, frontal) zu ermöglichen. Aus diesen Schichtaufnahmen wird anschließend das dreidimensionale Bild mithilfe eines Rechners erstellt.

Die Größe des Messfeldes wird dabei vom Abstand der Probe zum Detektor bestimmt. Das Objekt muss während der Aufnahme komplett fixiert sein, da es sonst zu Bewegungsartefakten kommt.

Die Vorteile des μ -CT sind die zerstörungsfreie Untersuchungsmethode, automatische Auswertung der Daten und die hohe Auflösung. Nachteile sind die nötige Strahlendurchgängigkeit, teuer in Anschaffung und Erhaltung aufgrund des technischen Aufwands, lebende biologische Proben können nicht untersucht werden, da es bei Bewegung während des Scanvorganges zu Artefakten kommt, feuchte und in Ethanol konservierte biologische Proben können ebenfalls aufgrund der Verdunstung und der daraus resultierenden Schrumpfung der Proben nicht untersucht werden. Durch auftretende Streustrahlen kann es ebenfalls zu Artefakten kommen.

1.9 Modellsysteme für die forensische Forschung

Abgesehen von Frankreich ist in vielen Ländern, darunter auch Österreich, das forensische Experimentieren mit menschlichen Überresten aus ethischen Gründen nicht erlaubt. Da es sich bei den meisten Leichen um ältere Menschen handelt, die sich der Wissenschaft zur Verfügung gestellt haben, eignen sich diese nicht für die forensische Forschung, da viele eine pathologisch veränderte Knochenstruktur aufweisen, krank waren und Medikamente einnahmen. Neben synthetischen Ausweichmaterialien, wie zB Gelatine (Pollak, 2007) und Styropor (Carr & Wainwright, 2011), werden heutzutage vorwiegend Schweine, aber auch Mäuse und Hasen verwendet, vor allem für die Untersuchung von Fäulnis- und Verwesungsvorgängen (Schotsmans et al., 2014).

Aufgrund der anatomischen und physiologischen Ähnlichkeiten zum Menschen werden vor allem Schweine der Spezies *Sus scrofa domestica* bevorzugt (Payne, 1963). Unterschiede zum Menschen gibt es aber in der Mikrostruktur der Knochen. Schweineknochen besitzen einen schmalere Durchmesser in den Havers-Kanälen, besitzen mehr Fett und haben eine geringere Perforationsdichte als Menschen. Die unterschiedlich großen Osteone bilden eine geflechtartige Anordnung, beim Menschen sind diese gleich groß und bilden eine zufällige Verteilung im Knochen. Insgesamt sind die Knochen von Schweinen kompakter, schwerer und kürzer. Das menschliche Gewebe ist aufgrund der niedrigeren Dichte an Kollagen dünner und weniger widerstandsfähig (Rodriguez & Bass, 1985, Schoenly et al., 1991; France et al., 1992; Harsanyi, 1993; Schotsmans et al., 2014).

2. Fragestellung und Ziele der Arbeit

Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit ist, ob die Fluoreszenzmikroskopie eine bessere und sicherere Beurteilung von Schnitt-, Hack- und Kerbmarken, im Vergleich zur Makrofotografie, Stereomikroskopie, ESEM und Mikro-CT, ermöglicht.

- 1.) Cut-, Hack- und Zerstückelungsmarken werden an Knochen erzeugt.
Für die Kerb- und Schnittmarken wird eine Fallvorrichtung konstruiert, die Zerstückelungsmarken werden manuell zugefügt. Dafür werden verschiedene Werkzeugtypen verwendet.
- 2.) Die Schnitt- und Kerbmarken am Knochen werden mittels verschiedener bildgebender Verfahren (Makrofotografie, Stereomikroskopie, Fluoreszenzmikroskopie, ESEM und Mikro-CT) erfasst. Gezeigt werden sollen Möglichkeiten der Fluoreszenz beim Hervorheben schwacher und charakteristischer Strukturen durch geschaffenen Kontrast und (Tiefen-) Schärfe, im Vergleich zu Makrofotografie, Stereomikroskopie, μ -CT und ESEM.
- 3.) Durch bessere Darstellbarkeit der Strukturen an den Rändern, den Seiten und dem Boden soll ein besserer Rückschluss auf das verwendete Werkzeug möglich sein. Dabei wird der Fokus auf die Form und das Muster der Kerb- und Schnittmarken und die Strukturen der Innenwände und der Schnittränder am Knochen gesetzt. Herausheben von gemeinsamen und individuellen Merkmalen verschiedener Werkzeuge.
- 4.) Bessere Darstellung der Schnittveränderungen nach taphonomischen Prozessen und wie wirkt sich die Taphonomie auf die Strukturen vor und nach dem Einfluss von Umweltbedingungen aus.
- 5.) Vorzüge und Nachteile der Anwendung des Fluoreszenzmikroskops in den Bereichen der forensischen Anthropologie und Paläoarchäologie im Vergleich zu anderen Methoden.

3. Material & Methode

3.1 Darstellung von Marken auf rezenten und prähistorischen Knochen mit unterschiedlichen Techniken

Die Darstellung von Marken auf Knochen kann mit unterschiedlichen Techniken bewerkstelligt werden. Zuerst sollte man aber berücksichtigen, wie alt der Knochen ist, weil dessen Beschaffenheit einen Einfluss auf die Qualität der Bilder haben kann. Abb. 8 zeigt einen frischen Knochen, der von umliegendem Muskel- und Fettgewebe gereinigt wurde.



Abb. 8: Frischer Schweineknöchel nach Reinigung.
Muskel- und Fettgewebe wurden mittels Backofentechnik entfernt.

Dieser Knochen ist weiß und frei von im Boden vorkommenden Huminsäuren, da er nicht vergraben war. Die Beinhaut (Periost) wurde beim Reinigen ebenfalls entfernt.

Im Vergleich dazu zeigen prähistorische Knochen ein anderes Erscheinungsbild (Abb. 9)



Abb. 9: Prähistorischer Knochen von einem Rind.

Knochen aus dem späten Mittelalter, der bei Ausgrabungen gefunden wurde.

Dieser Knochen zeigt eine erodierte Oberfläche und mehrere Spuren, die durch Wind, Wasser, Gestein und Druck zugefügt worden sein könnten. Die braune Farbe ergibt sich durch Stoffe in der Erde, die sich im Laufe der Zeit im Knochen einlagerten. Schwarze Stellen werden durch Schmutzeinlagerungen verursacht. Zusätzlich kommt es zu einer Entmineralisierung durch im Boden befindliche chemische Substanzen und der Knochen ist frei von Periost und Fett. Huminsäuren sind im Knochen aufgrund der Lagerung im Boden vorhanden.

In dieser Arbeit werden die Knochenmarken mittels Fluoreszenzmikroskopie untersucht. Um einen Vergleich mit anderen Techniken zu haben, wurden die Marken ebenfalls mit Lichtmikroskopie im Hellfeld, ESEM und einem Mikro-CT untersucht.

3.1.1 Untersuchung der frischen Knochen

Bei frischen Knochen kann es durch Fetteinlagerungen bei der Fluoreszenz zu einer Überstrahlung des Hintergrunds kommen. Bei der Mikroskopie mit sichtbarem Licht hat Fett keinen Einfluss (Abb. 10).

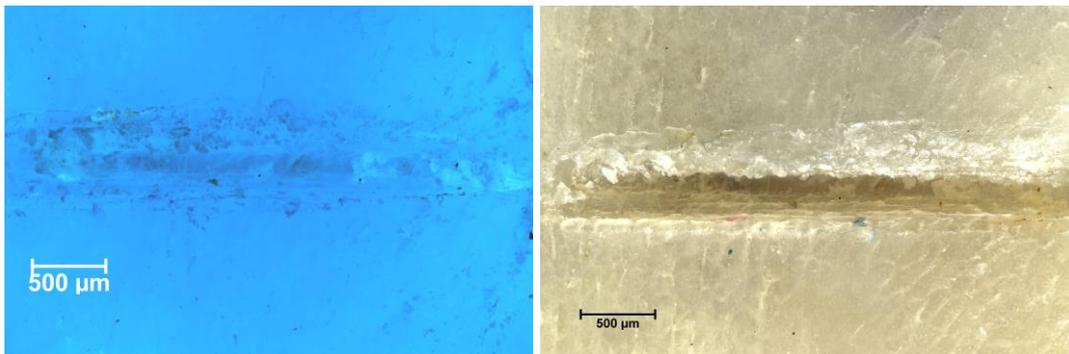


Abb. 10: Frischer Schweineknochen mit Cutmarke.
Links das Bild mit UV-Anregung, rechts das Bild mit sichtbarem Licht.

Die Überstrahlung des Hintergrunds durch Fettrückstände hat einen ungünstigen Einfluss auf die Darstellung des Bildes. Rechts das Bild mit sichtbarem Licht. Zu sehen sind die Charakteristika des Werkzeugs. Das Periost ist in der Fluoreszenz nicht eindeutig bestimmbar, bei der Aufnahme mit sichtbarem Licht ist kein Periost erkennbar. Mittels spezieller Software ist es möglich, die Überstrahlung zu entfernen und die Details hervorzuheben (Abb. 11).

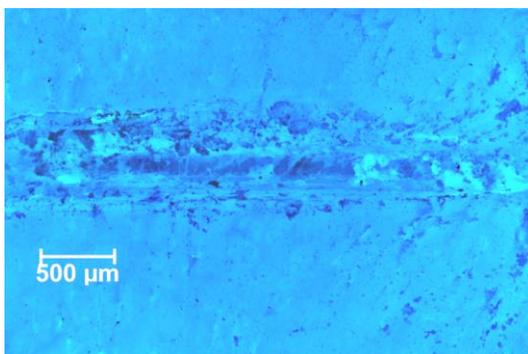


Abb. 11: Fluoreszenzaufnahme bearbeitet.
Durch Fetteinlagerungen wird die Aufnahme von Fluoreszenzbildern gestört und es kommt zur Überstrahlung. Diese können mittels Software korrigiert werden.

Im Vergleich zum unbearbeiteten Bild sind hier die Strukturen stärker ausgeprägt und die Überstrahlung hat keinen störenden Einfluss auf das Bild.

Als zusätzlichen Vergleich wurden die Kerbmarken mittels ESEM und Mikro-CT untersucht (Abb. 12)

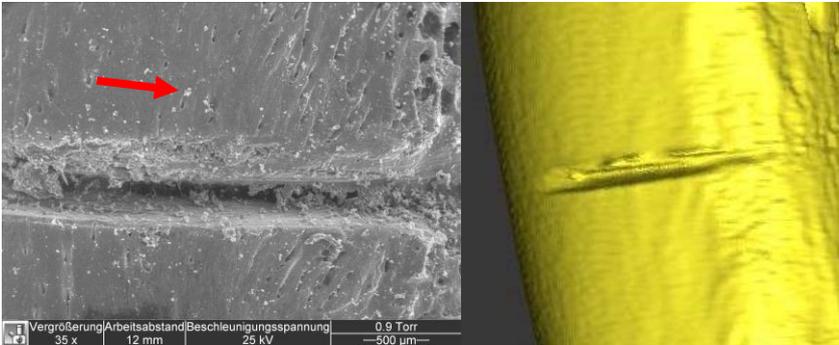


Abb. 12: Frische Schweinrippe, dargestellt durch ESEM und Mikro-CT.
Für die Aufnahme mittels ESEM und Mikro-CT ist keine Vorbehandlung nötig.

Die Darstellung mittels ESEM ist sehr detailliert und kontraststark. Auch minimale Einzelheiten, wie zB die Überreste des Periosts (Pfeil), sind noch erkennbar. Ein Nachteil ist die Größenbeschränkung der Proben. Diese dürfen nicht größer als 3 cm sein.

Beim Mikro-CT sind keinerlei Details zu erkennen. Das zu untersuchende Material wird in Schichten aufgenommen und dann mittels Software zu einem Bild zusammengefügt. Dadurch ergibt sich eine raue Oberfläche, die geglättet werden muss. Durch das Glätten gehen Details verloren. Für die Größe der Proben gibt es keine Beschränkungen.

Huminsäuren haben bei diesen Aufnahmetechniken keine Auswirkungen.

Bezüglich Anschaffung und Instandhaltung sind das ESEM und das Mikro-CT viel kostenintensiver als Mikroskope.

3.1.2 Untersuchung der prähistorischen Knochen

Aufgrund der langen Liegedauer sind prähistorische Knochen frei von Fett und teilweise entmineralisiert. Durch das Fehlen von Fett kann die Fluoreszenzaufnahme ohne störende Hintergrundstrahlung erfolgen (Abb. 13).

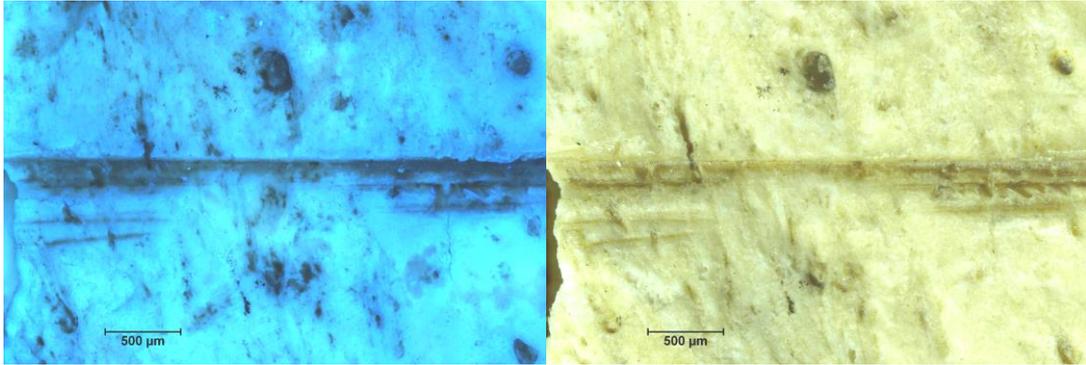


Abb. 13: Prähistorische Menschenknochen mit Cutmarken.

Links das Bild mit UV-Anregung, rechts das Bild mit sichtbarem Licht. Das Fluoreszenzbild zeigt einen stärkeren Kontrast als das Bild, welches mit sichtbarem Licht aufgenommen wurde.

Die Kanten der Schnittränder erscheinen abgerundet aufgrund der Witterungs- und Umgebungsverhältnisse. Viele Umstände können die Kerbmarken verändern (Druck, Abrieb, Erosion, Wasser, Temperatur, Verschleppung, etc.). Mittels Nachbearbeitung können die Strukturen noch deutlicher herausgehoben werden (Abb. 14).

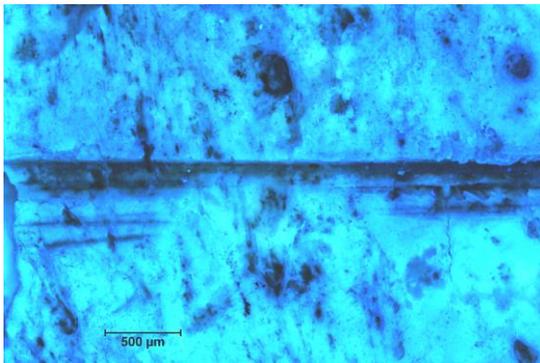


Abb. 14: Prähistorischer Knochen, Bild bearbeitet.

Mittels Nachbearbeitung mit spezieller Software können Merkmale und Strukturen noch deutlicher hervorgehoben werden.

3.2 Material

3.2.1 Werkzeuge

3.2.1.1 Werkzeuge für Schnitt- und Hackspuren

Für das Zufügen der Cutmarken wurden die Werkzeuge (WZ) 1 – 10 verwendet. Für das Zufügen der Hackmarken wurden die Werkzeuge 1 – 6 und 10 verwendet.

Werkzeuge 1 – 9 sind üblicherweise in jedem Haushalt zu finden (gebraucht: gebr.) und werden im Handel (unbekannter Hersteller: u. H.) angeboten. Werkzeug 10 wurde für die Vergleichbarkeit von Cut- und Hackmarken an prähistorischen Knochen ausgewählt (natürliches Vorkommen: n. V.).

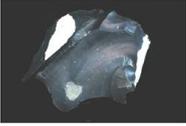
Mit einem Nonius wurde die Breite der Messer am Rücken und am Schliff abgemessen. Bei den gezackten Werkzeugen (3, 5, 6) wurden die Zacke/Spitze (Z) und die Kerbe/Grube (K), die sich zwischen den Zacken befindet, extra vermessen, bei den Schraubendrehern (8, 9) wurden die Klinge (K) und der Klingenanfang (KA) vermessen. Bei der Schere wurden Rücken gesamt (Kg) und eine Kantenseite (K) des Rückens vermessen.

Werkzeuge

- | | |
|----|-----------------------------|
| 1 | Mehrzweckmesser |
| 2 | Filiermesser |
| 3 | Steakmesser |
| 4 | Ausbeinmesser |
| 5 | Brotmesser |
| 6 | Konditormesser |
| 7 | Schere |
| 8 | Schlitzschraubendreher |
| 9 | Kreuzschlitzschraubendreher |
| 10 | Silex (Silikatgestein) |

Eine Auflistung über die Herkunft, den Gebrauchszustand und die Maße gibt Tab. 1.

Tab. 1: Werkzeuge zum Zufügen von Marken.
Insgesamt wurden zehn gebrauchte Werkzeuge für die Cut- und Hackmarken verwendet. Für die Hackmarken wurden lediglich die Werkzeuge 1 – 6 und 10 genommen.

WZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bild										
Hersteller	Ikea	u. H.	Ikea	u. H.	u. H.	u. H.				
Zustand	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.	gebr.
Rücken [µm]	1300	1200	1100	1100	1530	2050	3050 (Kg)	1100 (KA)	1050 (KA)	
Schneide [µm]	1100	1050	1450 (Z) 520 (K)	550	350 (Z) 210 (K)	830 (Z) 520 (K)	1000 (K)	1940 (K)	1520(K)	
Mittelwert [µm]	1200	1650	1825 (Z) 1360 (K)	1375	1705 (Z) 1635 (K)	2465 (Z) 2310 (K)	2025	2070	1810	

3.2.1.2 Werkzeuge für Zerstückelung

Werkzeuge 1 – 5 sind in vielen Haushalten zu finden (gebraucht: gebr.) und werden im Handel (unbekannter Hersteller: u. H.) angeboten (Tab. 2).

Tab. 2: Aufstellung der verwendeten Zerstückelungswerkzeuge.
Aufstellung der Werkzeuge, der Hersteller und des Gebrauchszustandes.

WZ	Bild	Typ	Hersteller	Zustand
1		Axt	u. H.	gebr.
2		Winkelschleifer	Hilti	gebr.
3		Kettensäge	Stihl	gebr.
4		Baumsäge	u. H.	gebr.
5		Bügelsäge	Fiskars	gebr.

3.2.2 Rippen

Die Rippen von einem Hausschwein (*Sus scrofa domesticus*) wurden aus dem Einzelhandel bezogen und stammen von der Firma Hofstätter.

Die Form der Knochen war gebogen und die Rippen waren durch Weichgewebe (Muskeln und Fett) verbunden. Die Rippen waren weder mariniert noch zuvor gekocht worden.

3.2.3 Oberschenkelbeine

Die Oberschenkelbeine von einem Hausschwein (*Sus scrofa domesticus*) wurden von der Metzgerei Metzker bezogen. Das Fleisch wurde vom Metzger knochenschonend entfernt.

3.2.4 Prähistorische Tierknochen

Von der Archäozoologie der Uni Wien wurden Rinder- und ein Schafknochen aus dem späten Mittelalter zur Verfügung gestellt, die Schnitt- und Hackmarken aufwiesen. Vom Rind wurden 2 Rippen, distale Ulna, Lendenwirbelquerfortsatz, Unterkiefer, ein Wirbelkörper und vom Schaf ein Teil des Schädels zur Verfügung gestellt.

3.2.5 Prähistorische Menschenknochen

Von der Abteilung Anthropologie des Naturhistorischen Museums Wien (NHM) wurden Knochen zweier weiblicher Menschen, gekennzeichnet mit Reichersdorf A und Reichersdorf B, aus der Bronzezeit, zur Verfügung gestellt. Die Knochen von Reichersdorf A umfassen eine Clavicula, einen Radius und eine Rippe. Die Knochen von Reichersdorf B beinhalten eine Clavicula, einen Radius und 2 Rippen.

3.2.6 Fallbeil

Für das Zufügen der Marken wurde ein Fallbeil konstruiert. Die Bestandteile des Fallbeils zeigt Tab. 3.

Tab. 3: Materialien für das Fallbeil.

Material	Hersteller/Bezugsquelle
Cu T-Stück 18x1/2	unbekannt/Fetter Baumarkt Ges. mbH
Verzinkter Rohrnippel Nr. 530	unbekannt/Fetter Baumarkt Ges. mbH
Rohrschellen	unbekannt/Fetter Baumarkt Ges. mbH
Lochplatte	GECCO/Fetter Baumarkt Ges. mbH
Stellschrauben verzinkt	GECCO/Fetter Baumarkt Ges. mbH
Beilagscheiben	unbekannt/Fetter Baumarkt Ges. mbH
Hantelscheiben Gusseisen 2 x 2 kg, 2 x 0.25 kg	unbekannt/privat
Laborstativ	unbekannt/Labor Lichtscheidl
Kabelbinder	Bestest/Labor Lichtscheidl
PUR-Weichschaumstoff	unbekannt/Labor Lichtscheidl

3.2.7 Simulierung von Abnützungerscheinungen

Für die Nachahmung von taphonomischen Effekten wurden vier Knochenstücke mit Marken in einer Plastikdose mit Steinen, die im Winter zum Streuen verwendet werden (Abb. 15) in einer Trommelmaschine (Abb. 16) der Firma Dr. Ing. Manfred Dreher GmbH & Co KG, für 2 x 4 Stunden gedreht. Technische Daten: Breite: 380 mm, Höhe: 460 mm, Tiefe: 360 mm, Trommeldurchmesser: 250 mm, Trommeltiefe: 125 mm, Spannung 220 V/ 50 Hz, Leistung 200 W, Drehzahl: 5 – 95 U/min, Inhalt: Stahlkugeln.



Abb. 15: Steine, die im Winter als Streugut verwendet wurden.

Diese Steine wurden im Winter zum Streuen verwendet. Die Kanten und Spitzen sind schärfer als bei normalen Steinen.



Abb. 16: Trommelmaschine zum Simulieren von taphonomischen Effekten.

Die Trommelmaschine ist mit Stahlkugeln gefüllt. Darin wurde die Dose mit den Steinen und den Knochen platziert und für 2 x 4 Stunden gedreht.

3.3 Methoden

3.3.1 Cut- und Hackmarken

Das für die vorliegende Arbeit konstruierte Fallbeil wurde für die Cutmarken mit senkrecht ausgerichteten Werkzeugen und für die Hackmarken mit waagrecht ausgerichteten Werkzeugen bestückt und mit zwei Kabelbindern auf einer Lochplatte fixiert. Die Lochplatte war zusammen mit 4 Hantelscheiben an 2 Laborstativen fixiert, welche wiederum mittels 4 T-Gewindestücken an 2 Stangen entlang glitten. Als Unterlage und Gewebeäquivalent diente PUR-Weichschaumstoff, dessen Dicke sich an der Unterkante des Fallbeils orientierte. Als Energie, die beim Zufügen einer Stichwunde auftritt, wurden 36 Joule (J) gewählt, wie von Chadwick et al. (1999) und Horsfall et al. (2005) publiziert. Um die 36 J zu erreichen, wurde die Fallhöhe gemäß nachstehender Formel berechnet.

Aus der Fallhöhe ergibt sich die Fallzeit, welche wiederum die Fallgeschwindigkeit ergibt.

Fallhöhe

$$\text{Fallhöhe} = \frac{\text{potentielle Energie}}{\text{Erdbeschleunigung} * \text{Masse}} = \frac{36 \text{ J}}{9,81 \text{ m/s}^2 * 5,10 \text{ kg}} = 0,71 \text{ m}$$

Fallzeit

$$\text{Fallzeit} = \sqrt{\frac{2 * \text{Fallhöhe}}{\text{Erdbeschleunigung}}} = \sqrt{\frac{2 * 0,71 \text{ m}}{9,81 \text{ m/s}^2}} = 0,380 \text{ s}$$

Fallgeschwindigkeit

$$\text{Fallgeschwindigkeit} = \text{Erdbeschleunigung} * \text{Fallzeit} = 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,380 \text{ s} = 3,727 \text{ m/s}$$

Das am Fallbeil befestigte Werkzeug wurde auf die berechnete Höhe gebracht und anschließend losgelassen (Abb. 17). Um das Ergebnis nicht zu verfälschen, wurden die Werkzeuge vorsichtig von den Rippen entfernt. Pro Werkzeug wurden 3 Schnitt- und Hackmarken an den Rippen angebracht. Anschließend wurden die Knochen mazeriert (siehe Kapitel „Mazeration“).



Abb. 17: Fallbeil zum Zufügen von Kerbmarken.

Abhängig vom Gewicht wurde die Fallhöhe berechnet. Das Ziel war, mit dem Werkzeug an Schweinerippen eine Kerbmarke zu erzeugen. Nach erfolgtem Einstich wurde das Messer vorsichtig wieder entfernt.

3.3.2 Zerstückelung

Für die Zerstückelung wurden die Marken per Hand an zuvor mazerierten Oberschenkelbeinen angebracht. Dazu wurden die Knochen in einem Schraubstock eingespannt, angesägt und durchgesägt, je nach Möglichkeit des Werkzeugs (Abb. 18).



Abb. 18: Oberschenkelbein in Schraubstock. Für das Zufügen der Marken wurde das Oberschenkelbein eines Hausschweins in einen Schraubstock eingespannt.

3.3.3 Mazeration

3.3.3.1 Rippen

Für die Mazeration der Rippen wurde eine neue Methode entwickelt, welche im Folgenden beschrieben wird:

Die Rippen wurden in Alufolie verpackt und in einem Haushaltsbackofen bei 100 °C, Ober- und Unterhitze, für fünf Stunden belassen. Das Fleisch ließ sich ohne weitere Bearbeitung vom Knochen entfernen, indem der Knochen herausgezogen wurde. Anschließend wurden die Rippen unter fließendem Wasser gewaschen und für 3 Tage bei Raumtemperatur getrocknet.

3.3.3.2 Oberschenkelbein

Die Knochen wurden in Alufolie verpackt und in einem Haushaltsbackofen bei 100 °C, Ober- und Unterhitze, für fünf Stunden belassen. Da sich das Fett nicht ganz vom Knochen gelöst hatte und ein wegdrücken nicht möglich war, wurden die Knochen in heißes, nicht kochendes Wasser gelegt, dem Geschirrspülmittel und Chlorreiniger zugefügt wurde. Die Knochen wurden für eine Stunde belassen und anschließend unter fließendem Wasser gewaschen und für 3 Tage bei Raumtemperatur getrocknet.

3.3.4 Extraktion der Huminsäuren und Behandlung der Knochen

10 g Torf wurden mit 500 ml ddH₂O vermengt und bei 70 °C auf einem Laborkocher unter ständigem Rühren für 90 Minuten erhitzt, um die Huminsäuren aus dem Torf zu lösen. Das Gemisch wurde anschließend abfiltriert. Die Knochen wurden dann im Filtrat für neun Stunden gekocht und anschließend für 20,5 Stunden im Filtrat belassen. Zum Schluss wurden die Knochen mit ddH₂O gereinigt und zwei Tage bei Zimmertemperatur getrocknet.

3.3.5 Makrofotografie

Die Knochen und die Werkzeuge wurden mit einer Digitalkamera (Model 1J1, Nikon) fotografiert. Die Kamera befand sich an einer verstellbaren Höhenkontrolle. Als Maß wurde Millimeterpapier verwendet.

3.3.6 Stereomikroskopie

Die Knochen wurden mit einer Digitalkamera (Model 1J1, Nikon) fotografiert. Das Stereo Zoom Mikroskop war das Model SMZ-U von Nikon und als Maß wurde Millimeterpapier verwendet.

3.3.7 Stereofluoreszenzmikroskopie

Die Knochen wurden mit einer Digitalkamera (Model 1J1, Nikon) fotografiert. Das Stereo Zoom Mikroskop war das Model SMZ1500 von Nikon und als Maß wurde Millimeterpapier verwendet.

3.3.8 Fluoreszenzmikroskopie

Die Knochen wurden mit einer Digitalkamera (Model DS-Ri2, Nikon) fotografiert. Das Mikroskop war das Modell Eclipse Ni-U von Nikon und als Software wurde NIS-Elements BR (Version 4.60.00) verwendet.

3.3.9 Konfokalmikroskopie

Für die Bestimmung der geeigneten Fluoreszenzanregung wurden Knochen, welche mit Huminsäure behandelt worden waren und Knochen ohne Huminsäurebehandlung mit dem Mikroskop Leica SP5 und der Software LAS AF (Version 2.6.3.8173), untersucht. Die Knochen wurden einer Anregungsreihe (Lambda-reihe) unterzogen. Die Anregung erfolgte mit den Wellenlängen 405 nm, 458 nm, 476 nm, 488 nm, 496 nm und 514 nm. Die Lambda-Spannweite reichte von 415 nm bis 610 nm.

3.3.10 Stacking und Bildbearbeitung

Bei den oben genannten Aufnahmemethoden wurden Bilder in mehreren Ebenen angefertigt und anschließend mit dem *Freeware*-Programm CombineZM (Alan Hadley) zu einem Bild zusammengefügt.

Für das Nachbearbeiten der Fluoreszenz- und Lichtmikroskopiebilder (Helligkeit, Kontrast, Sättigung, Struktur) wurde das Programm Viveza 2 (2.1.21.12 x 86 (Vers. 1.2.11)) von Google verwendet, für die Bilder der Makrofotografie wurde Photoshop CC (19.1.6) verwendet.

3.3.11 ESEM

Die Marken der Rippen wurden mit dem REM XL30 ESEM von Philips untersucht, bei einem Druck von 1 Torr (= 133,322 Pascal). Für die Untersuchung im ESEM wurden die Rippen auf eine Größe von maximal 1 – 1,5 cm zugeschnitten.

3.3.12 Mikro-CT

Die Aufnahmen wurden mit dem im Vienna Micro-CT Lab (Department für Anthropologie, Fakultät für Lebenswissenschaften, Universität Wien) befindlichen Viscom X8060 NDT angefertigt. Die Rippen wurden mit Steckschaum fixiert. Die Einstellungen für die Scans zeigt Tab. 4.

Tab. 4: Einstellungen für die Aufnahmen mit dem Mikro-CT.

Knochen	Spannung (kV)	Stromstärke (μV)	Belichtungszeit (ms)	Kupfer-Vorfilter (mm)
Rippen 1 - 3, 5, 7 - 9, Cut	130	330	1.400	0,75
Rippen 4 und 6, Cut	130	310	1.400	0,75
Rippen 1 - 6 Hack	130	330	1.400	0,75
Knochen Zerstückelung	130	330	1.400	0,75
Knochen Anthropologie	130	330	1.400	0,75
Knochen Archäozoologie	130	330	1.400	0,75

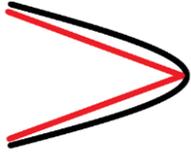
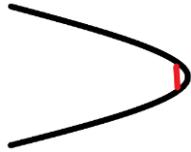
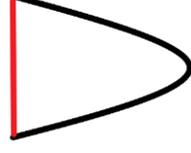
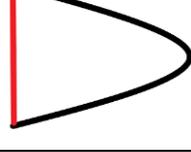
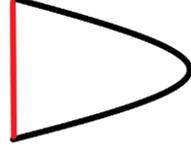
Für die Bearbeitung der Volumendaten wurde Amira von Thermo Fisher Scientific (Vers. 6.2.0) verwendet.

3.3.13 Messparameter

Um die Kerbmarken miteinander vergleichen zu können, wurden spezifische Parameter festgelegt (Tab. 5). Vermessen wurde der Kerbmarkenwinkel, die Höhe der höchsten und tiefsten Stelle, die Kerbmarke total (Mittelwert der höchsten und tiefsten Stelle und des Winkels) und die Höhe der Cut- und Hackmarke im Profil.

Tab. 5: Messparameter für die Kerbmarken.

Für die statistische Auswertung wurden der Winkel, die Höhe an der tiefsten Stelle der Kerbmarke (nur in Amira möglich) und die Höhe an der höchsten Stelle der Kerbmarke (Amira und Mikroskop) gemessen.

Messung	Abkürzung	Definition	Skizze
Kerbmarkenwinkel	KMW	Winkel zwischen den Wänden der Kerbmarke	
Höhe der tiefsten Stelle	HTS	Abstand zwischen den Wänden an der tiefsten Stelle der Kerbmarke.	
Höhe der höchsten Stelle	HHS	Abstand zwischen den Wänden an der höchsten Stelle der Kerbmarke von vorne.	
Höhe der Kerbmarke im Profil	HKP	Abstand zwischen den Wänden der Kerbmarke aus der seitlichen Ansicht.	
Marke gesamt	Mges	Alle neun HHS-Werte (Fluoreszenz) zusammengefasst.	

Vermessen wurden die Bilder des Fluoreszenzmikroskops und des μ -CT. Die Bilder des Lichtmikroskops und des ESEM dienen, ebenfalls mit den anderen Bildern, zur morphologischen Beschreibung. Die Makrofotografien dienen nur der allgemeinen Übersicht.

3.3.14 Nachahmung taphonomischer Effekte

Für die Nachahmung von taphonomischen Effekten wurden 4 Knochenstücke mit Marken in einer Plastikdose mit Steinen in einer Trommelmaschine für 2 x 4 Stunden gedreht. Die Knochen wurden dann mit einem Blasebalg gereinigt und mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie untersucht.

3.3.15 Statistische Auswertung

Für die gesamte statistische Auswertung wurden Microsoft Excel Office 365 und das in Excel integrierte, kostenpflichtige Programm XLSTAT, Version 2019.1.3 von Addinsoft, verwendet. Für die Prüfung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test des Programms XLSTAT benutzt. Die Nullhypothese besagt, dass die Proben einer Normalverteilung folgen. Die Alternativhypothese besagt, dass die Proben keiner Normalverteilung folgen. Ist der berechnete p-Wert größer als das Signifikanzniveau Alpha (0,05), wird die Nullhypothese bestätigt.

Für die Varianzanalyse wurde eine einfaktorielle Anova des Programms Excel verwendet. Für den Fall, dass die Daten nicht normalverteilt waren, wurde trotzdem die Anova gewählt, weil sie robust gegen die Verletzung der Normalverteilung ist. Ist die Prüfgröße F größer als der kritische F-Wert, gibt es Indikatoren dafür, dass die Mittelwerte der Gruppen unterschiedlich sind. Ist der p-Wert kleiner als 0,05 kann die Nullhypothese, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen gibt, verworfen werden.

Als post-hoc Test diente der Scheffé-Test. Der Scheffé-Test wurde gewählt, weil er zwar Varianzhomogenität verlangt, aber gegen Verletzung dieser Voraussetzung unempfindlich ist. Wird dabei der kritische Scheffé-Wert überschritten, besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen zwei Variablen.

Für die deskriptive Statistik und die Anfertigung von Boxplots wurde XLSTAT genutzt. Boxplots haben die Eigenschaft, Unterschiede klar aufzuzeigen.

4. Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden Kerbmarken in Knochen mittels verschiedener Techniken untersucht und statistisch und morphologisch ausgewertet; sie sollen so zur Identifizierung des Werkzeugs, das als Tatwaffe fungierte, beitragen.

Es wurden jeweils drei Cut- und Hackmarken an rezenten Schweinerippen mit einem Fallbeil gesetzt. Es wurde pro Marke immer der erste Versuch zur Analyse herangezogen. Weiters wurden Tierknochen mit Marken aus dem späten Mittelalter, die von der Archäozoologie der Uni Wien bereitgestellt wurden, und Knochen zweier Frauen aus der Bronzezeit, bereitgestellt vom Naturhistorischen Museum Wien, untersucht. Bei der Analyse mit dem Mikroskop wurden Licht- und Fluoreszenzmikroskopie angewendet.

4.1 Lambda-Anregungsreihe zur Bestimmung der optimalen Fluoreszenzanregung

Für die Bestimmung der optimalen Fluoreszenzanregung wurden frische Schweineknöchen mit und ohne Huminsäure und prähistorische Knochen mittels Konfokalmikroskop mit verschiedenen Wellenlängen angeregt.

4.1.1 Bei frischen Schweineknochen zeigte sich nach Anregung mit 405 nm die stärkste Fluoreszenz

Die Schweinerippe wurde einerseits ohne vorhergehende Behandlung und nach Behandlung mit Huminsäuren untersucht. Die Anregung erfolgte bei 405 nm, 458 nm, 476 nm, 488 nm, 496 nm und 514 nm (Abb. 19).

Rezenter Schweineknochen ohne Huminsäurebehandlung:

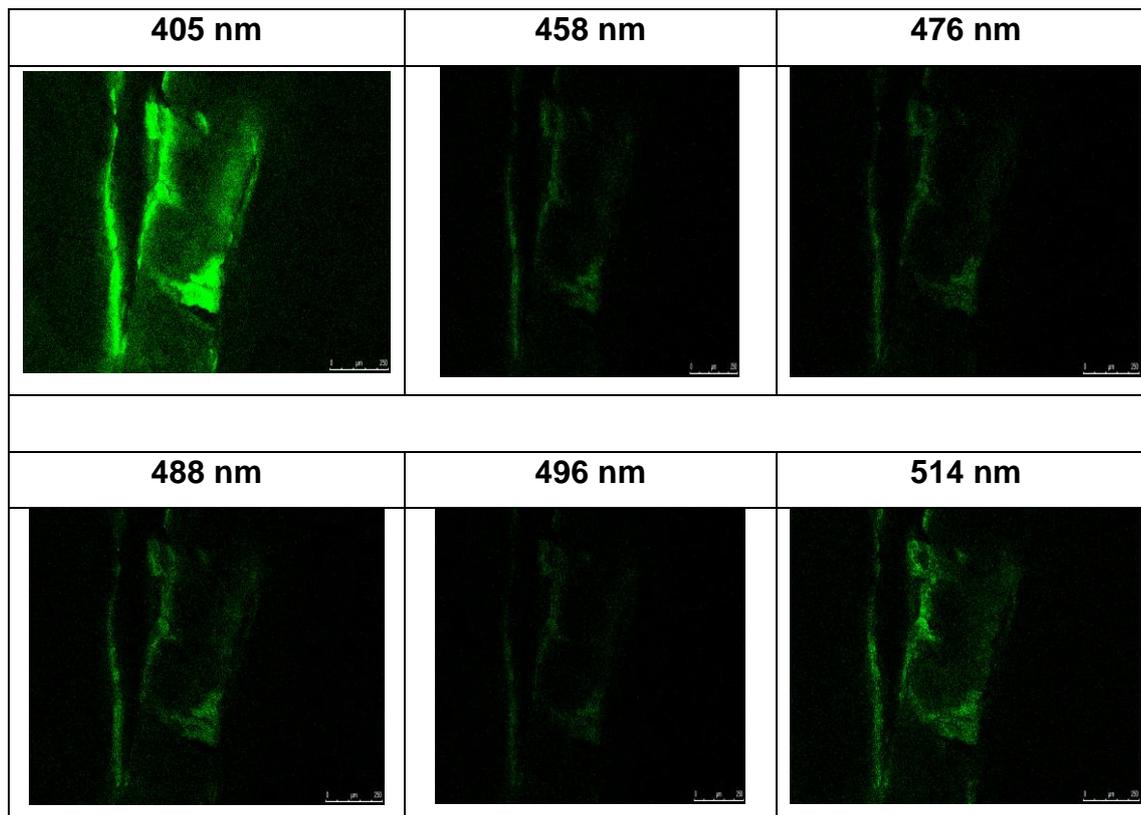


Abb. 19: Lambda-Anregungsreihe eines Knochens ohne Huminsäure.

Für die Bestimmung der optimalen Anregung wurde der unbehandelte Knochen einer Reihe von Anregungen unterworfen. Die intensivste Fluoreszenz war nach Anregung mit 405 nm zu beobachten, die geringste bei 458nm, 476 nm und 496 nm.

Beim unbehandelten Knochen fand sich die intensivste Fluoreszenz nach Anregung mit 405 nm. 514 nm und 488 nm bereiteten eine ähnlich intensive Fluoreszenz, während 458 nm, 476 nm und 496 nm die geringste Fluoreszenz hervorriefen.

4.1.2 Huminsäuren haben Einfluss auf das Fluoreszenzverhalten eines Knochens

Da prähistorische Knochen oft für bestimmte Zeit in Erde liegen und dem Einfluss von Erdsstoffen, zB Humus, ausgesetzt sind, wurde der Einfluss von Huminsäuren auf das Fluoreszenzverhalten untersucht. Dabei wurde der Knochen mit Filtrat aus Torf behandelt und mit verschiedenen Wellenlängen angeregt (Abb. 20).

Rezenter Schweineknöchel mit Huminsäurebehandlung:

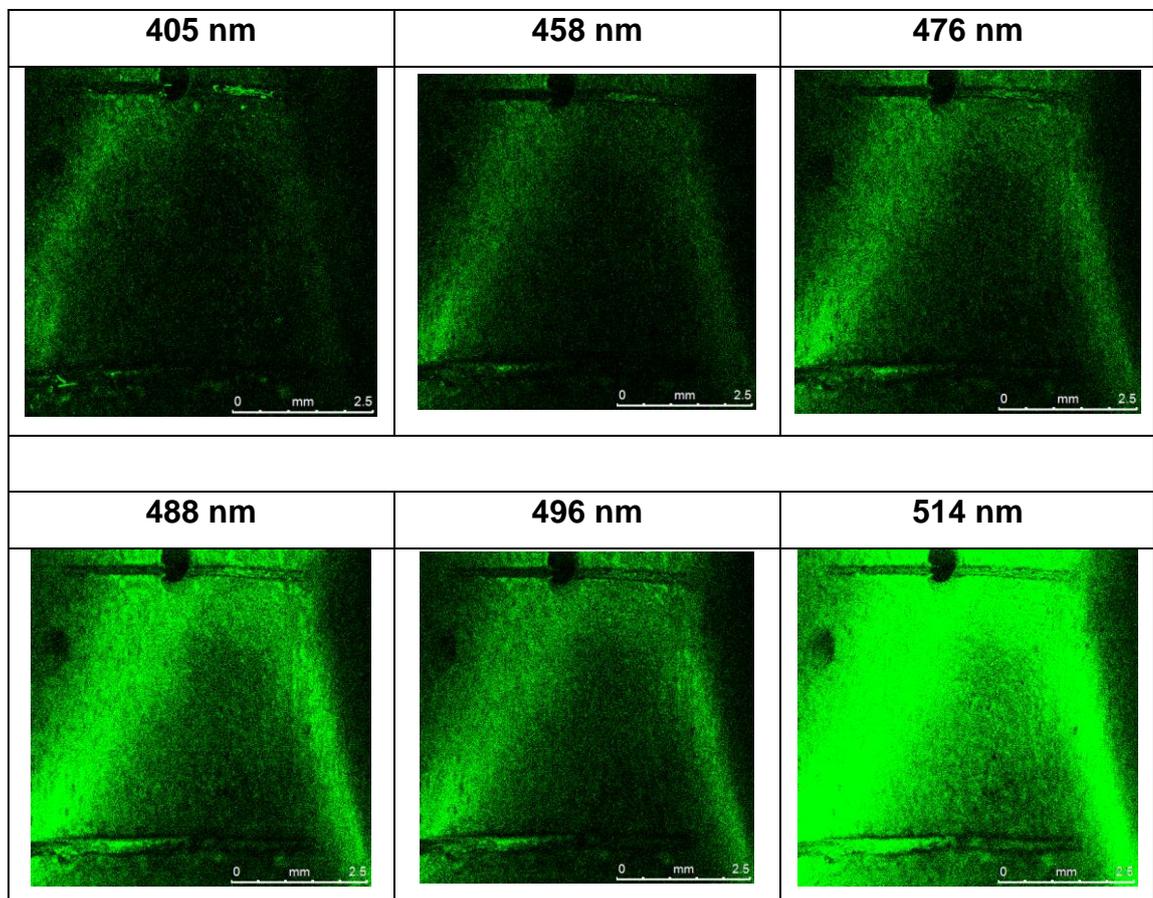


Abb. 20: Lambda-Anregungsreihe eines Knochens mit Huminsäure.

Für die Bestimmung der optimalen Anregung wurde der unbehandelte Knochen einer Reihe von Anregungen unterworfen. Die intensivste Fluoreszenz war nach Anregung mit 514 nm zu beobachten, die geringste bei 405 nm.

Die stärkste Fluoreszenz war nach Anregung mit 514 nm zu beobachten. 488 nm rief eine schwächere Fluoreszenz hervor, war aber dennoch gut sichtbar. Je niedriger die Wellenlänge, desto schwächer wurde die Fluoreszenz. Die Anregung mit 405 nm rief die schwächste Fluoreszenz hervor. Vergleicht man diese

Daten mit den Daten der Knochen ohne Huminsäurebehandlung, kommt man zum Schluss, dass Huminsäuren bei der Fluoreszenz für einen umgekehrten Effekt bei den Anregungen sorgen.

4.1.3 Lambda-Anregungsreihe - prähistorische Knochen

Untersucht wurden ein prähistorischer Menschenknochen aus der Bronzezeit und ein Rinderknochen aus dem späten Mittelalter. Die Knochen wurden wie beim frischen Knochen mit verschiedenen Wellenlängen bestrahlt und die Fluoreszenzintensitäten miteinander verglichen.

4.1.3.1 Ein Menschenknochen aus der Bronzezeit zeigte die stärkste Fluoreszenz nach Anregung mit 405 nm

Untersucht wurde ein Knochen einer Frau aus der Bronzezeit. Der Knochen wurde mit unterschiedlichen Wellenlängen angeregt und die Fluoreszenz gemessen (Abb. 21).

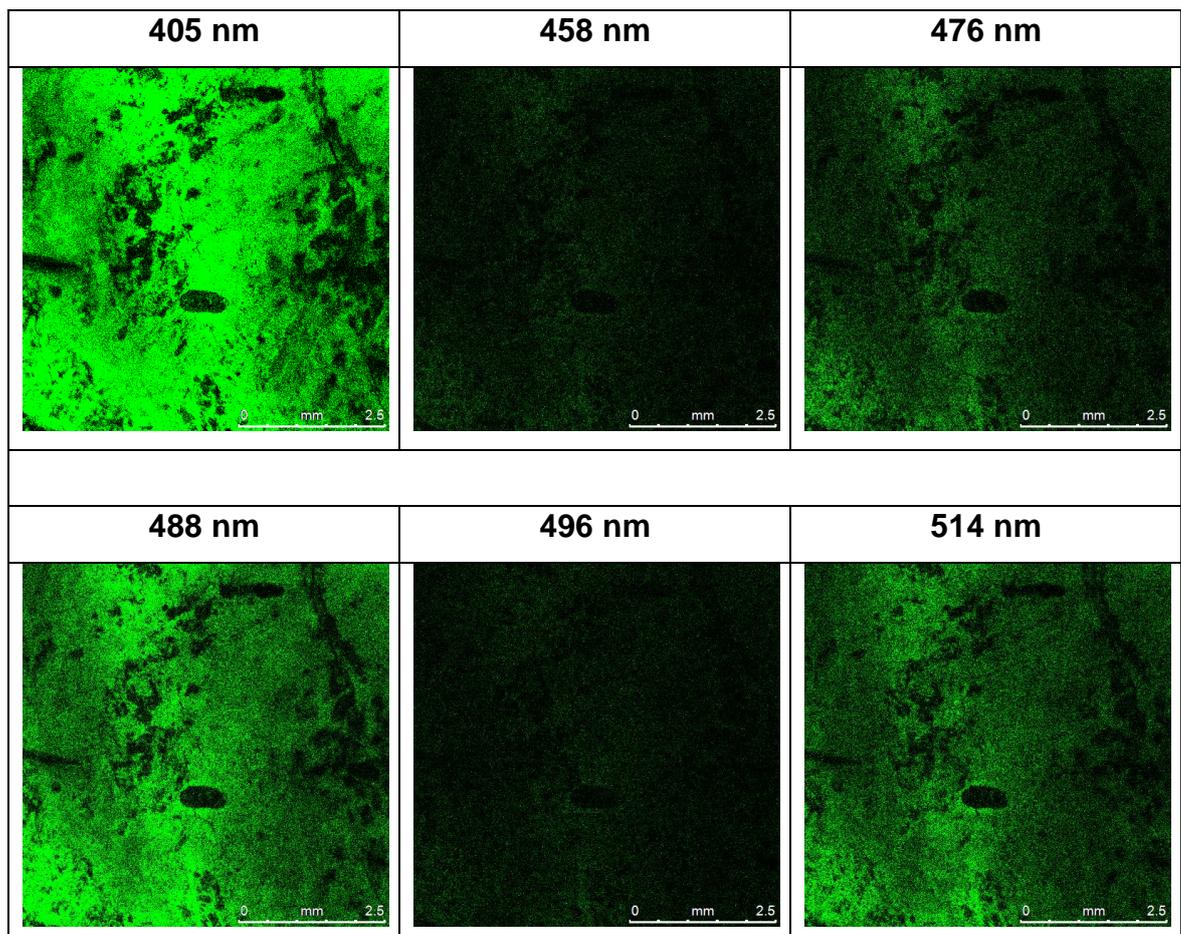


Abb. 21: Lambda-Anregungsreihe eines prähistorischen Menschenknochen.

Für die Bestimmung der optimalen Anregung wurde der unbehandelte Knochen einer Reihe von Anregungen unterworfen. Die intensivste Fluoreszenz war bei Anregung mit 405 nm zu beobachten, die geringste bei 458 nm.

Ergebnisse

Die intensivste Fluoreszenz war bei Anregung mit 405 nm zu beobachten. Eine etwas schwächere Fluoreszenz konnte bei Anregung mit 488 nm und 514 nm beobachtet werden. Die schwächste Fluoreszenz war bei Anregung mit 458 nm und 496 nm zu beobachten.

4.1.3.2 Ein prähistorischer Rinderknochen zeigte die stärkste Fluoreszenz nach Anregung mit 405 nm

Untersucht wurde der Knochen eines Rinds aus dem Mittelalter. Die Knochen wurden mit unterschiedlichen Wellenlängen angeregt und die Fluoreszenz gemessen (Abb. 22).

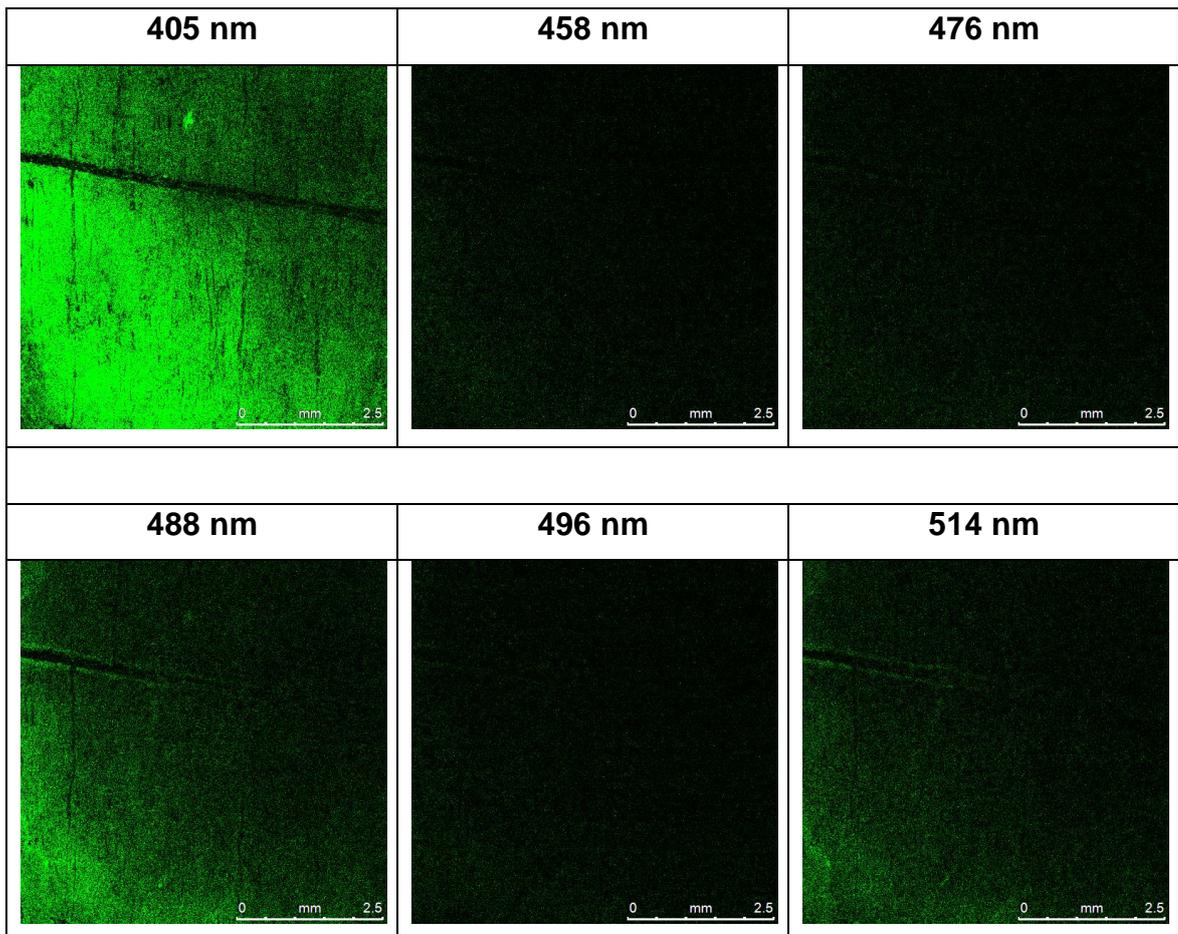


Abb. 22: Lambda-Anregungsreihe eines prähistorischen Rinderknochen.

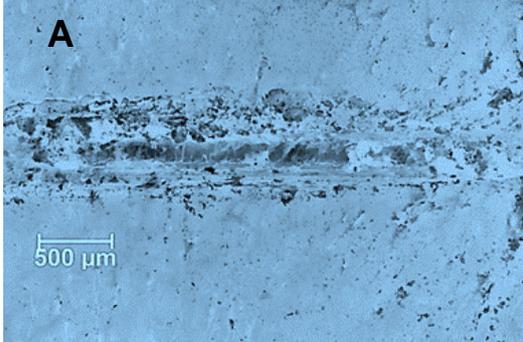
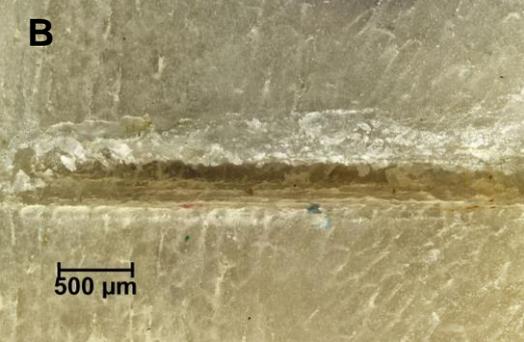
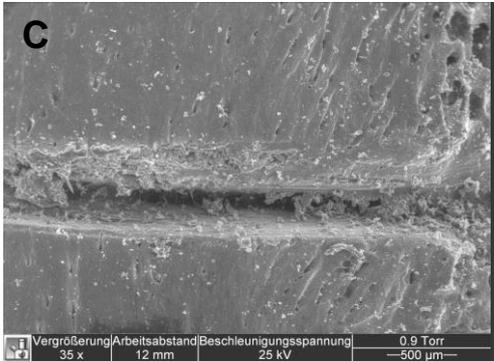
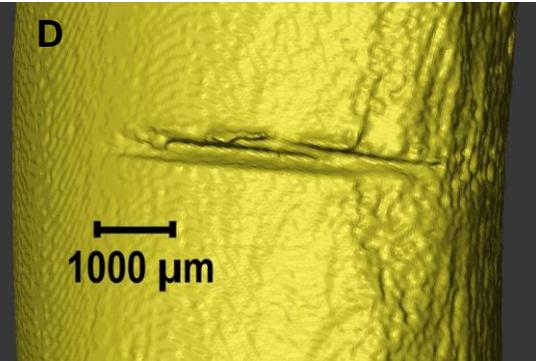
Für die Bestimmung der optimalen Anregung wurde der unbehandelte Knochen einer Reihe von Anregungen unterworfen. Die intensivste Fluoreszenz war nach Anregung mit 405 nm zu beobachten, die geringste bei 458 nm, 476 nm und 496 nm.

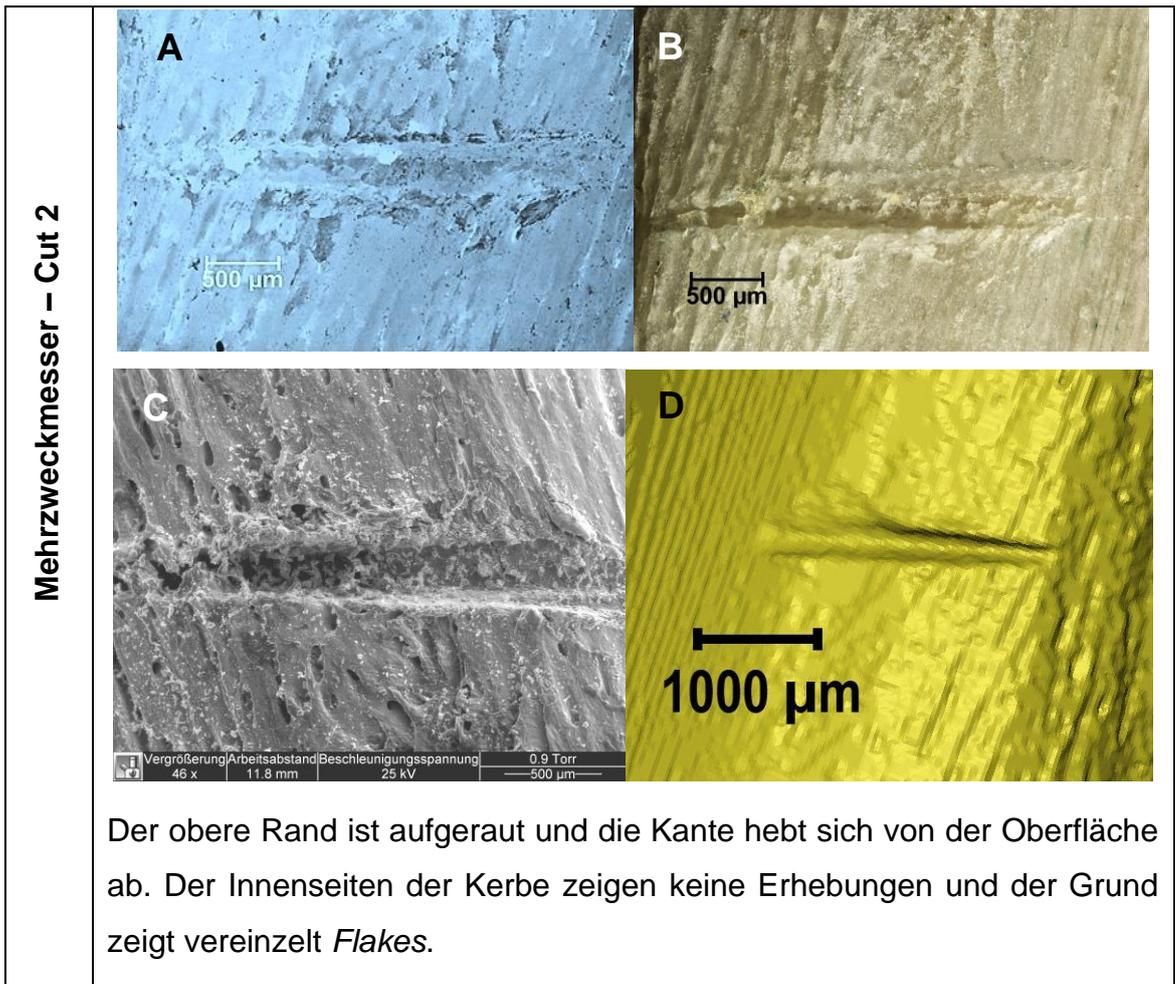
Wie bei den frischen Schweineknochen zeigten die prähistorischen Knochen aus der Bronzezeit und dem späten Mittelalter die stärkste Fluoreszenz nach Anregung mit 405 nm. Bei den anderen Wellenlängen war nur eine minimale Fluoreszenz nachweisbar.

4.2 Analyse von Kerbmarken an frischen Tierknochen

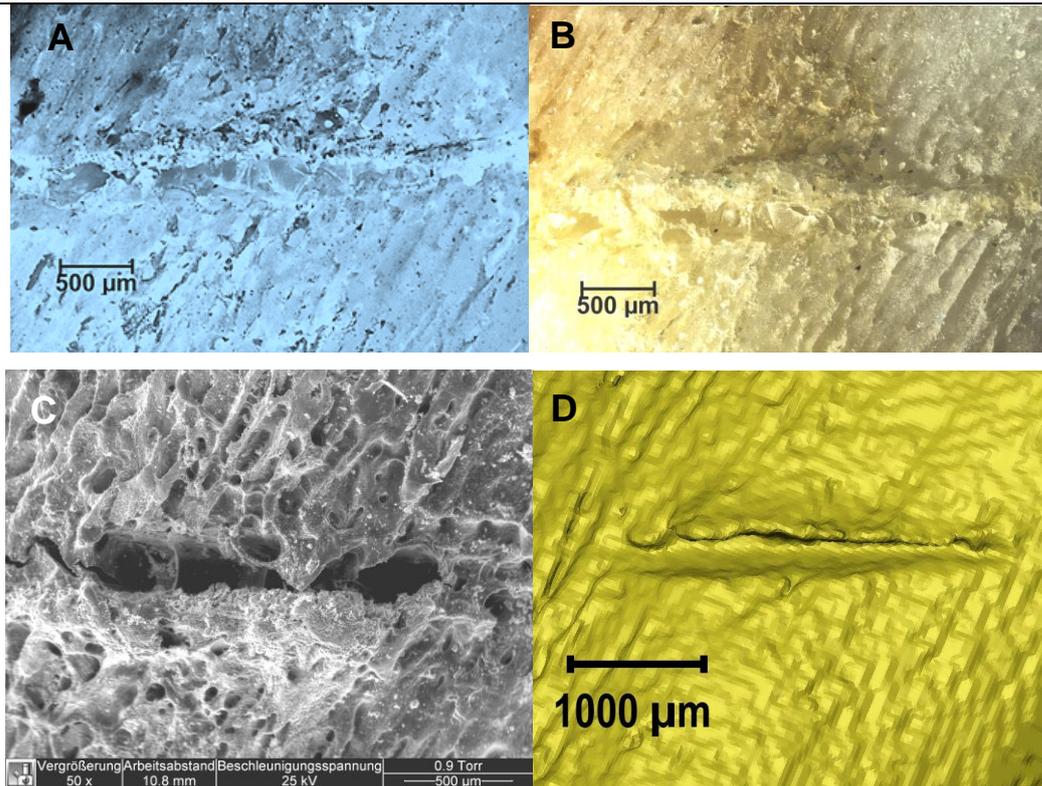
4.2.1 Cutmarken an frischen Schweinerippen

Den frischen Schweineknochen wurden mit verschiedenen Werkzeugen (WZ) Kerbmarken zugefügt und anschließend im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. Um einen Vergleich zu anderen Techniken zu haben, wurden die Knochen auch mittels ESEM (C) und Mikro-CT (D) untersucht (Abb. 23). Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

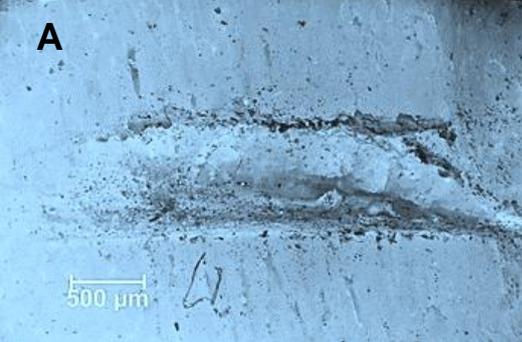
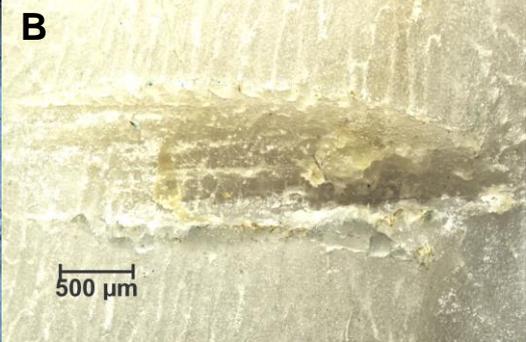
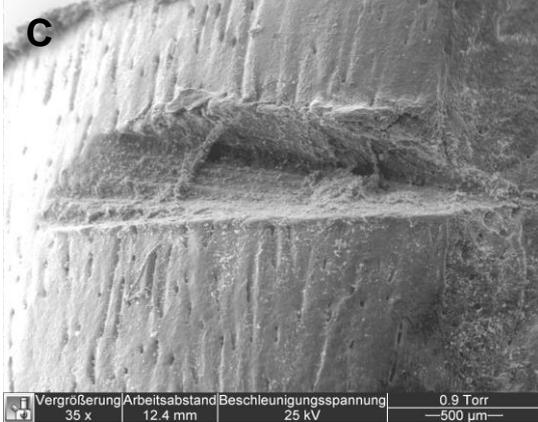
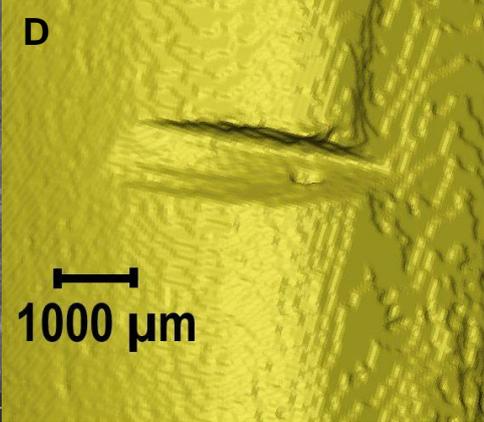
WZ	Kerbmarke
Mehrzweckmesser – Cut 1	
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="236 1149 759 1491"> <p>A</p>  </div> <div data-bbox="762 1149 1286 1491"> <p>B</p>  </div> </div>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="244 1507 738 1868"> <p>C</p>  <p style="font-size: small;">Vergrößerung Arbeitsabstand Beschleunigungsspannung 0.9 Torr 35 x 12 mm 25 kV —500 µm—</p> </div> <div data-bbox="742 1507 1278 1868"> <p>D</p>  </div> </div>
	<p>Der obere Rand ist aufgeraut, der untere Rand zeigt eine glatte Kante. An der Innenseite der Kerbe sind einzelne Erhebungen zu erkennen und am Boden der Kerbmarke sind einzelne <i>Flakes</i> zu sehen.</p>

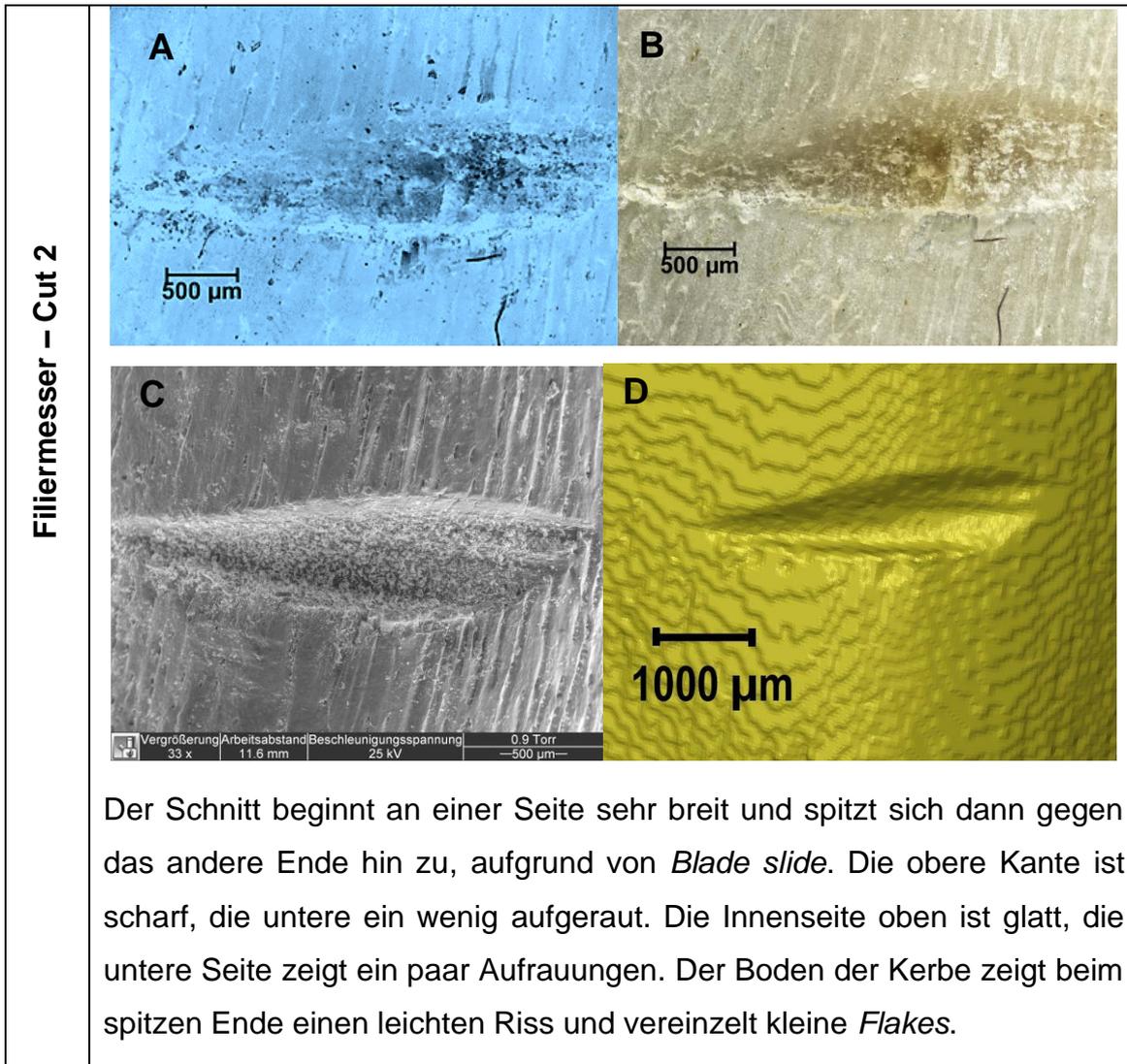


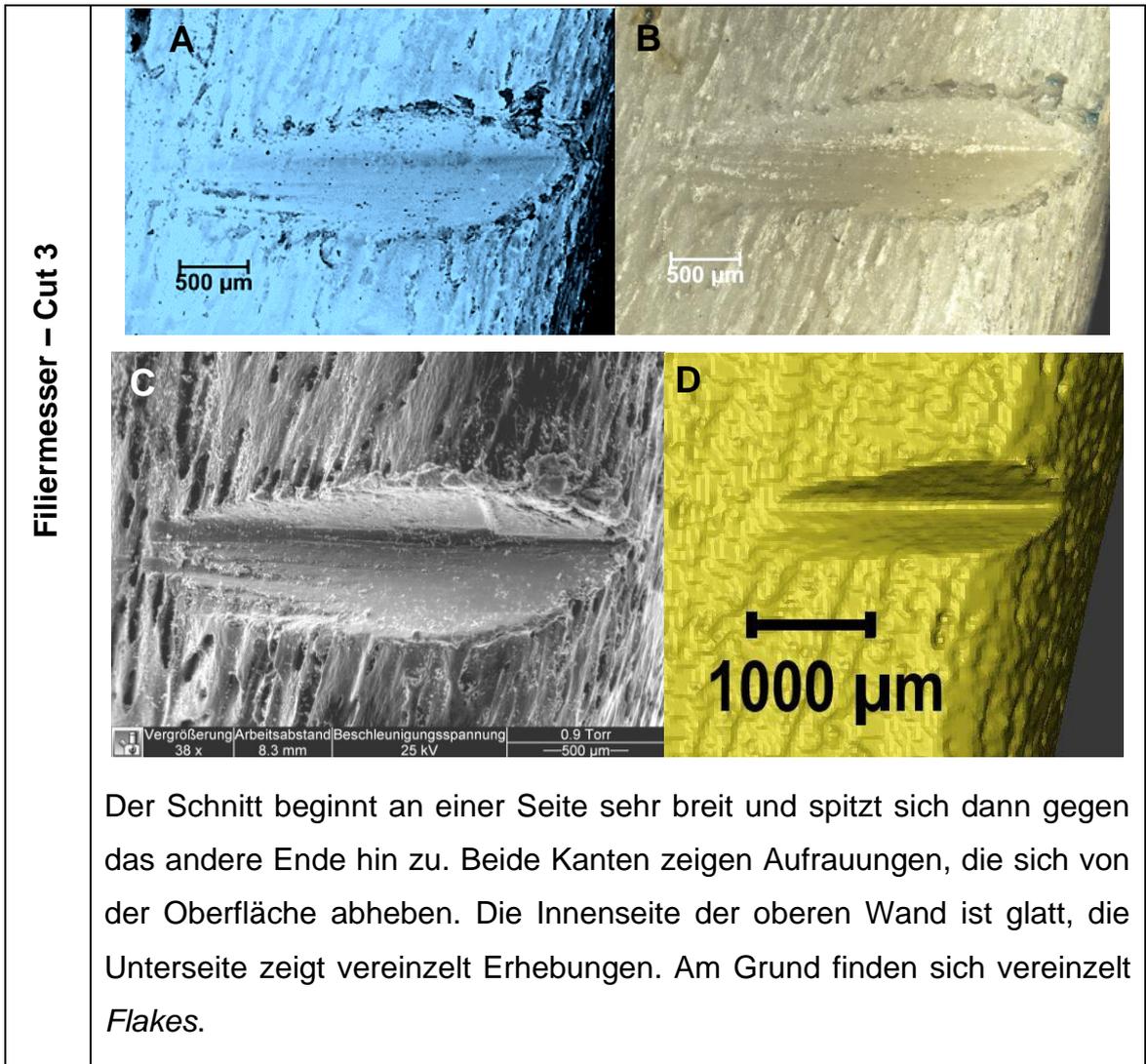
Mehrzweckmesser – Cut 3

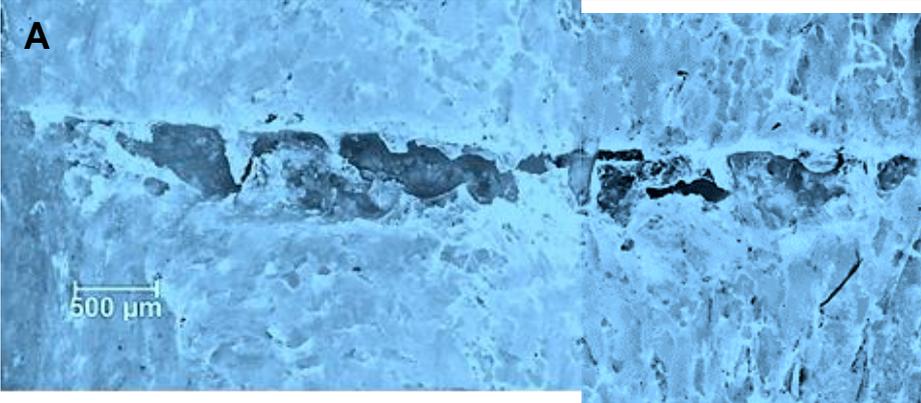
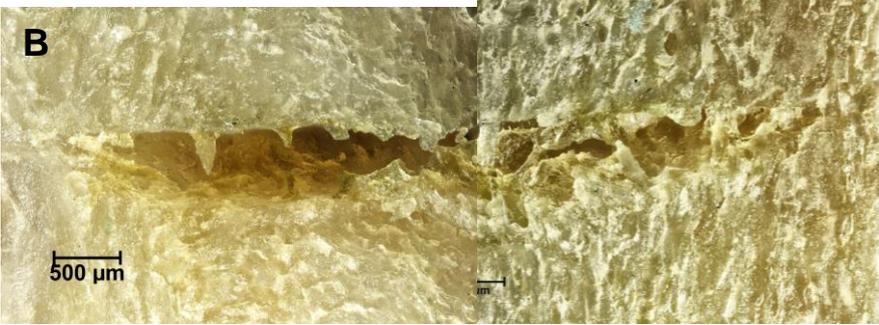
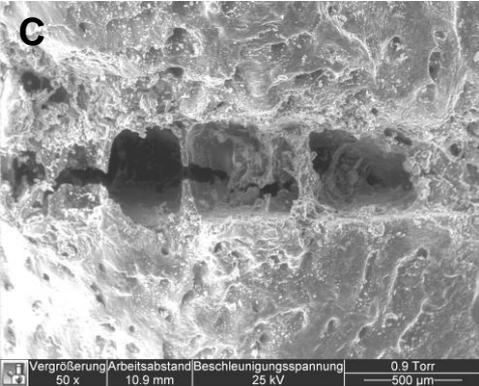
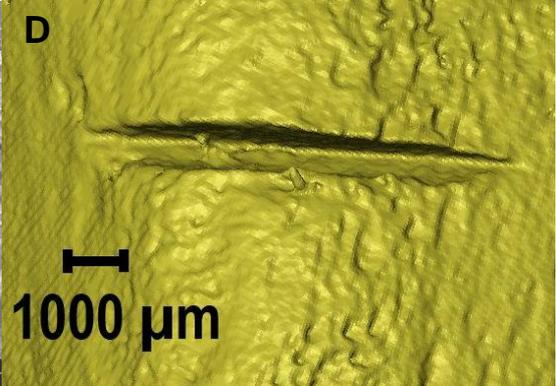


Die obere Kante ist aufgerauter als die untere Kante und ist von der Oberfläche abgehoben. Die untere Kante ist glatt und zeigt keine Abhebung von der Oberfläche. In der Kerbe sind Fettrückstände, die *Flakes* vortäuschen können, durch die Fluoreszenz aber klar zu *Flakes* abgegrenzt werden können. In der Fluoreszenz stellen sich diese als durchsichtige Scheiben dar.

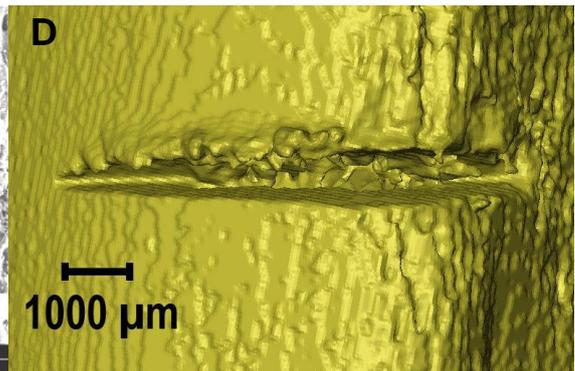
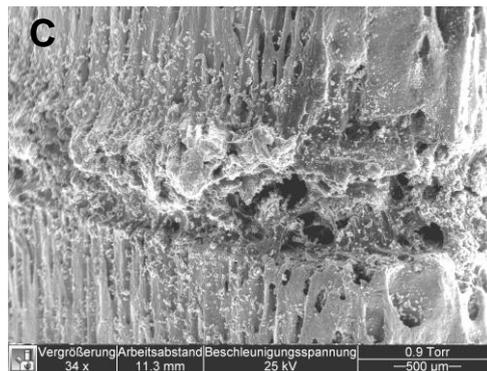
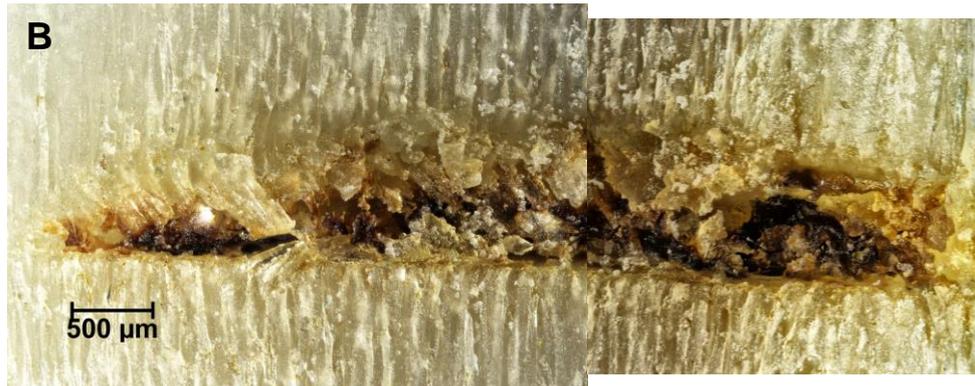
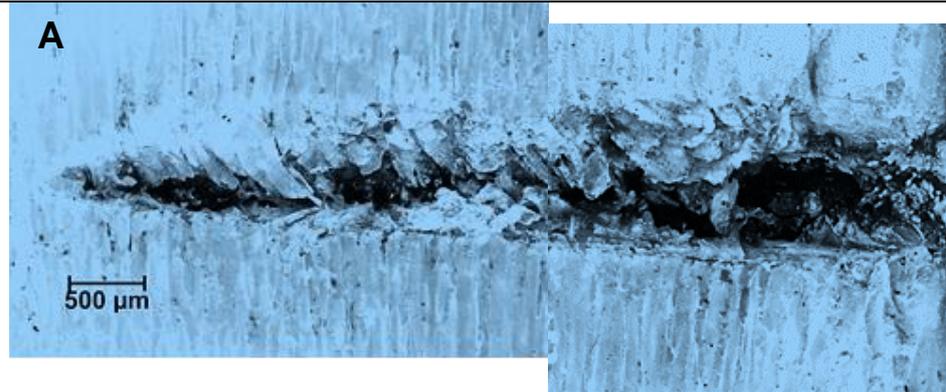
	
<p>Filirmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Vergrößerung Arbeitsabstand Beschleunigungsspannung 0.9 Torr 35 x 12.4 mm 25 kV —500 µm—</p> <p>Der Schnitt beginnt an einer Seite sehr breit und spitzt sich dann gegen das andere Ende hin zu, was auf ein <i>Blade slide</i> zurückzuführen ist. Die obere Kante ist etwas aufgeraut und zeigt Erhebungen von der Oberfläche. Die untere Kante ist glatt und scharf. In der Kerbe finden sich einige wenige Erhebungen und Fettrückstände.</p>





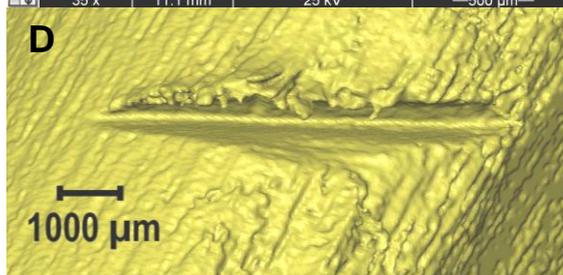
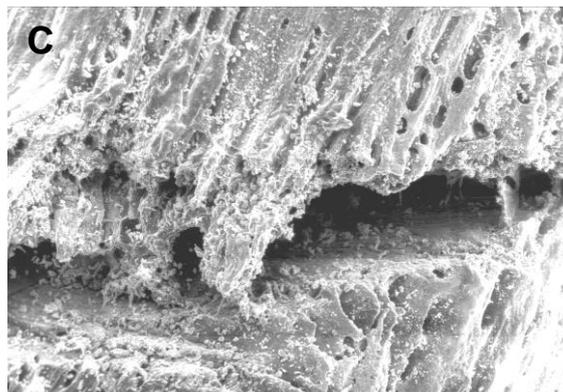
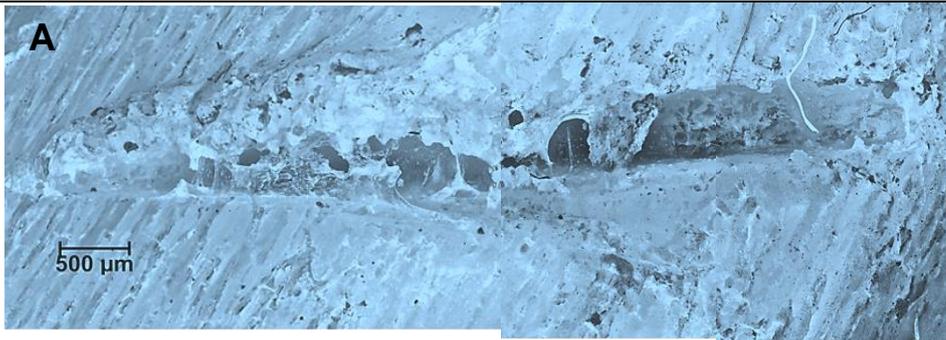
	
<p>Steakmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Vergrößerung/Arbeitsabstand/Beschleunigungsspannung 0.9 Torr 50 x 10.9 mm 25 kV 500 µm</p> </div> </div> <p>Obere und untere Kante sind aufgeraut, wobei sich die obere Kante etwas glatter darstellt. In der Kerbe sind <i>Flakes</i>, die von Fettrückständen verursacht werden. Der Grund der Kerbe ist aufgeraut.</p>

Steakmesser – Cut 2

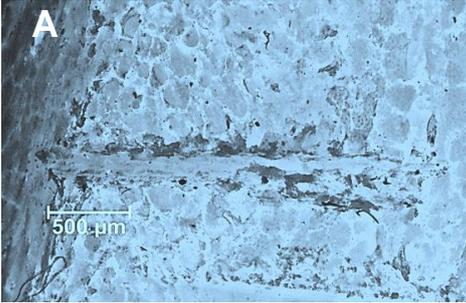
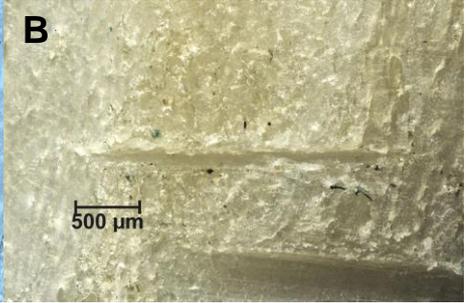
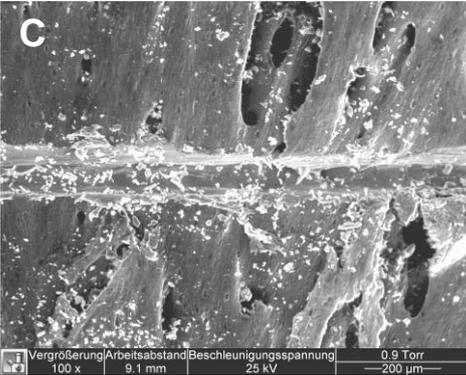
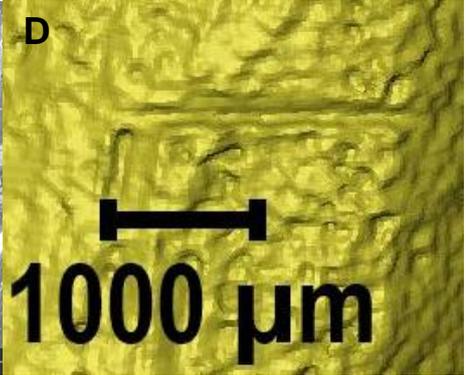
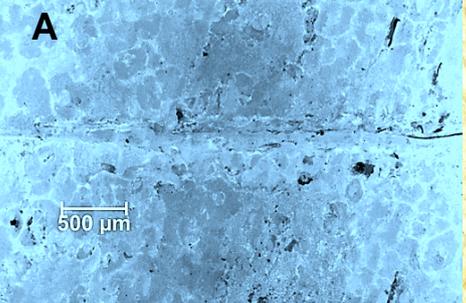
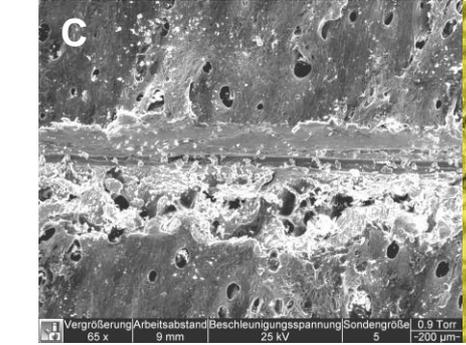
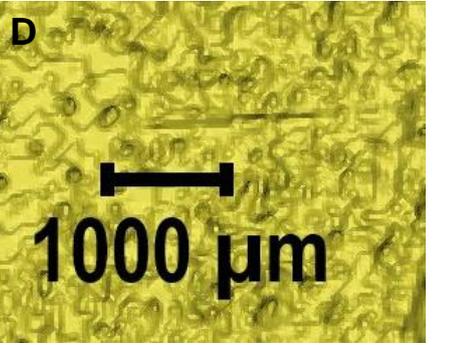


Die obere Kante ist aufgeraut und hebt sich ein wenig von der Oberfläche ab. Die untere Kante ist glatt und scharf. Die Innenseite der oberen Kante zeigt eine massive Aufrauung, welche zu einer Seite hin zugewendet ist. Die Innenseite der unteren Kante ist glatt, am Boden finden sich *Flakes* und Rückstände von Blut.

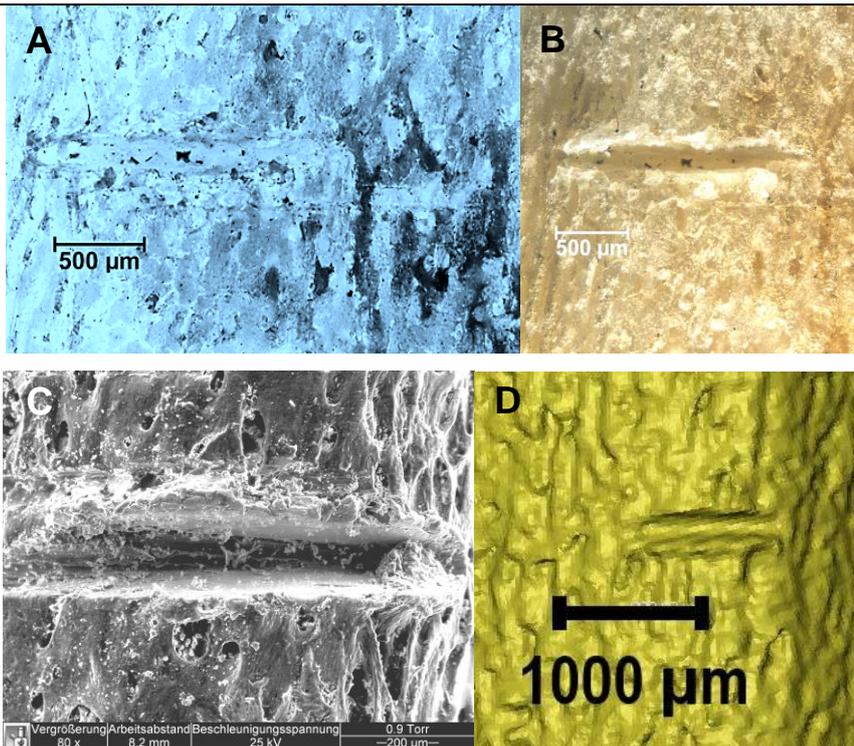
Steakmesser – Cut 3



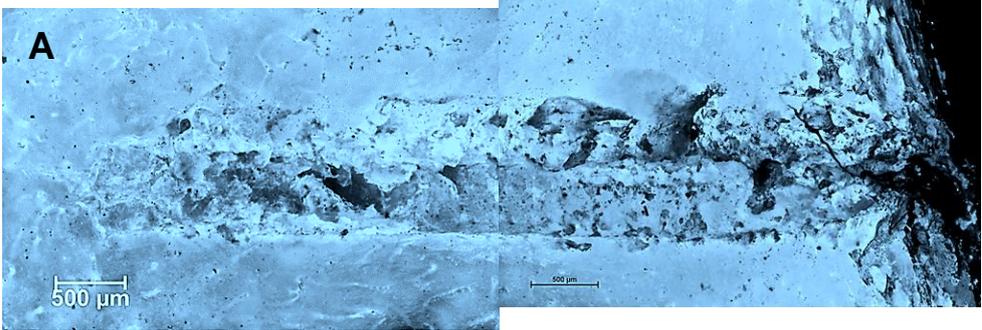
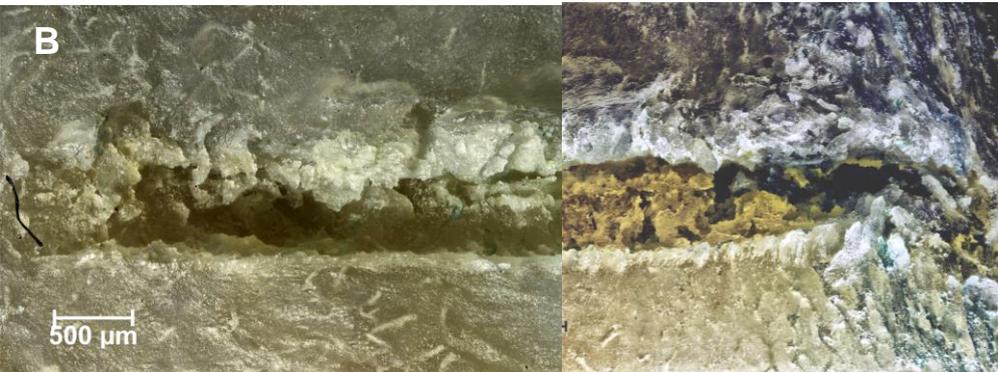
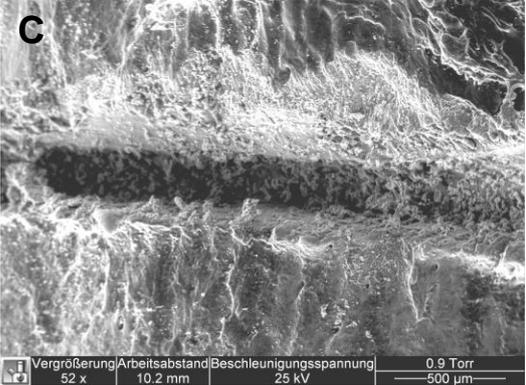
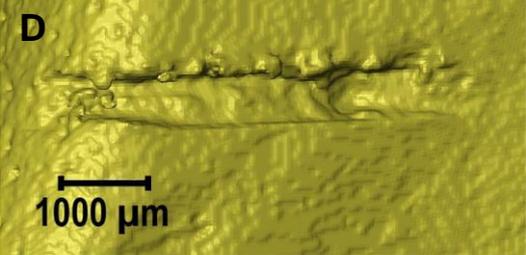
Die obere Kante ist aufgeraut und von der Oberfläche abgehoben. Die untere Kante ist glatt und scharf, die Innenseite zeigt keine Aufrauungen. In der Kerbe finden sich Fettrückstände. An den Seiten der Kerbe ist der Grund glatt.

	
<p>Ausbeinmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> </div> <p>Obere und untere Kante zeigen minimale Aufrauungen, die Innenseiten und der Grund sind glatt.</p>
<p>Ausbeinmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> </div> <p>Obere und untere Kante sind glatt, die untere Kante ist weggebrochen. Die Innenwände und der Grund zeigen keine Aufrauungen.</p>

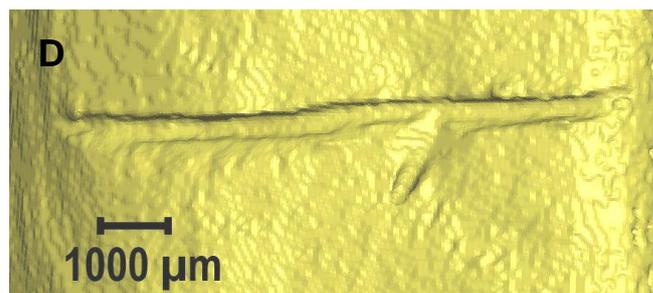
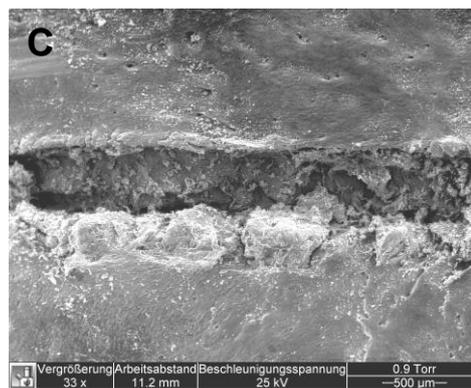
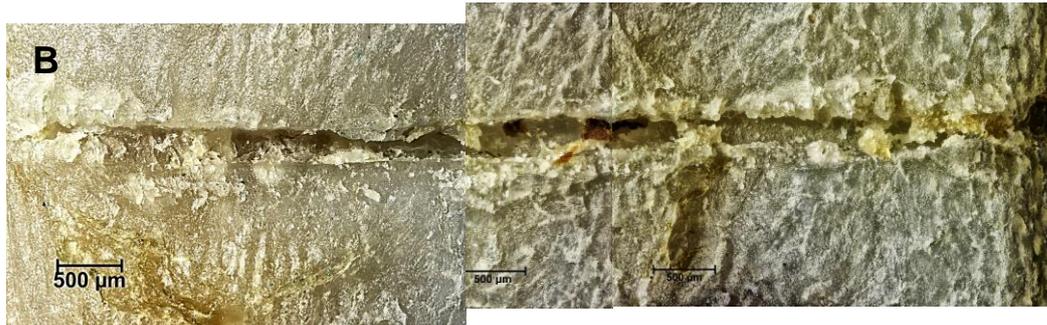
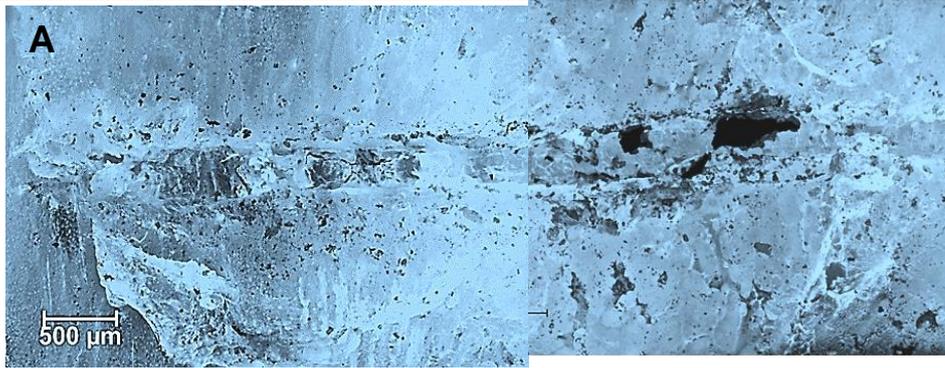
Ausbeinmesser – Cut 3



Beide Kanten sind glatt, die obere Kante hebt sich von der Oberfläche ab, vermutlich durch den Druck des Werkzeugs. Die Innenseiten und der Grund sind glatt.

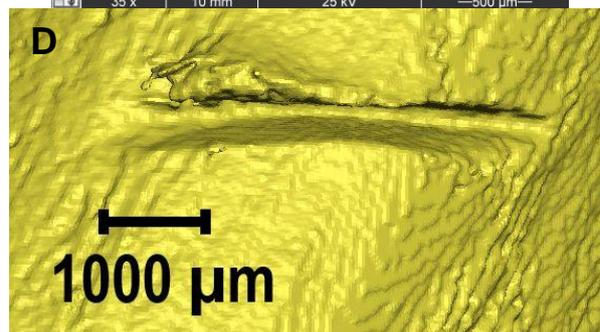
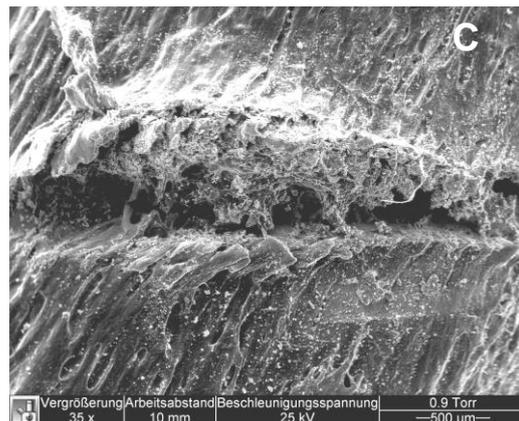
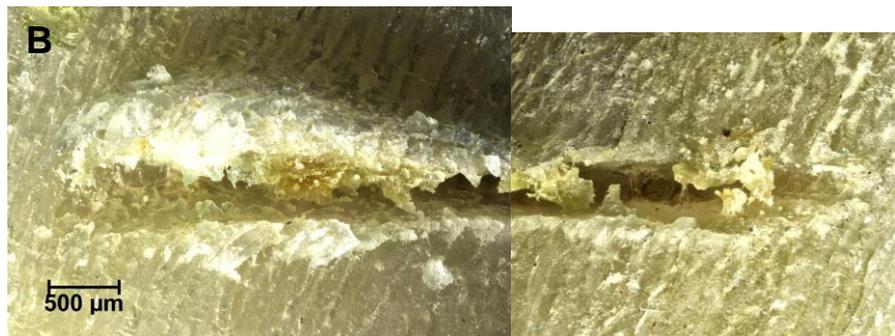
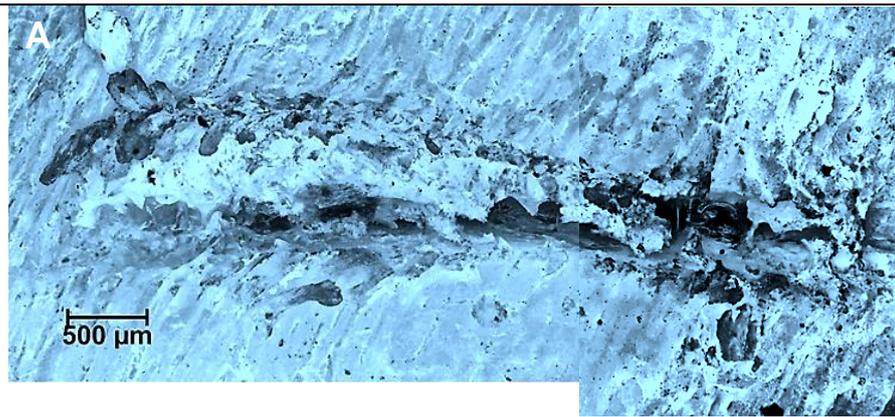
	
<p>Brotmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: center; width: 100%;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: center; width: 100%;">  </div> <p style="margin-top: 20px;">Die obere Kante ist aufgeraut und von der Oberfläche abgehoben. Die untere Kante ist größtenteils scharf, nur auf einer Seite finden sich leichte Aufrauungen, die zu einer Seite hingeneigt sind. Der Boden ist aufgeraut, es finden sich vereinzelt <i>Flakes</i>. Auf dem ESEM-Bild sind Abdrücke des Schliffs zu erkennen.</p> </div>

Brotmesser – Cut 2

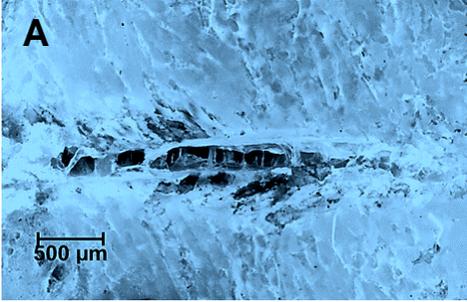
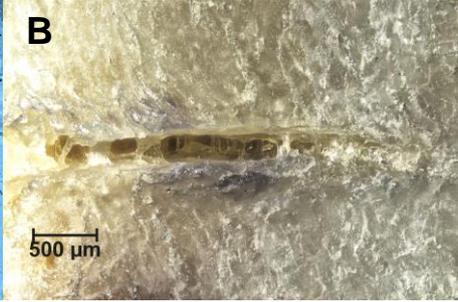
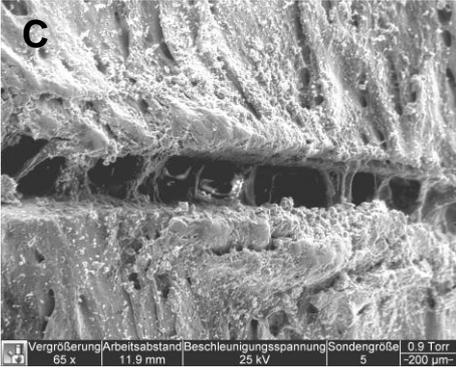
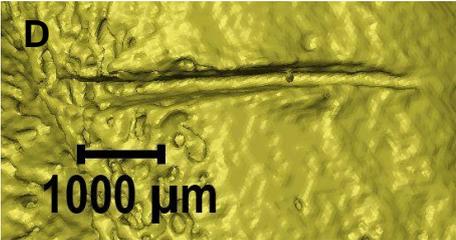


Die Kanten sind uneinheitlich geformt, teils scharf, teils aufgeraut. An den Innenseiten und dem Boden finden sich *Flakes*.

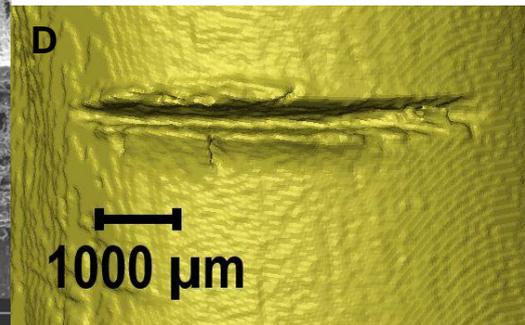
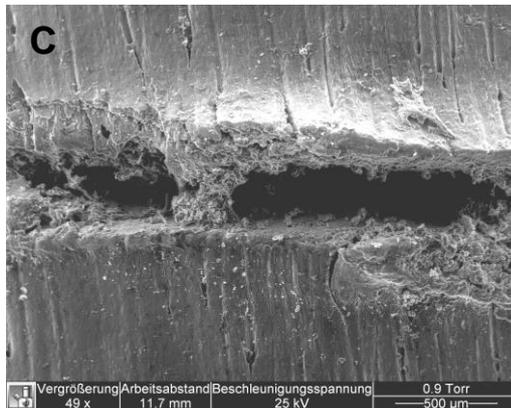
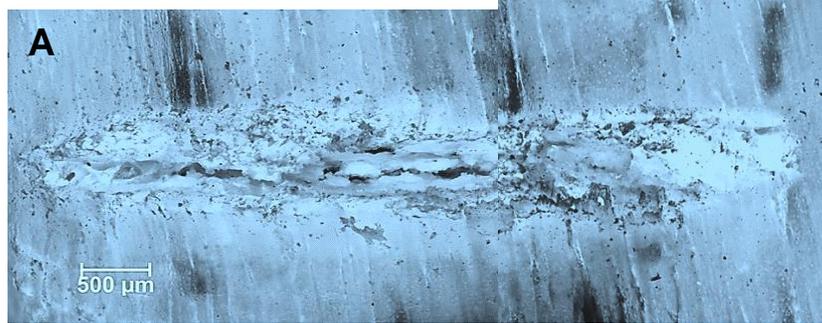
Brotmesser – Cut 3



Die obere Kante ist massiv aufgeraut und hebt sich vom Untergrund ab. Die untere Kante ist dezent aufgeraut und die Aufrauungen zeigen in eine Richtung. Die Innenseite der oberen Kante zeigt starke Aufrauungen, während die Innenseite der unteren Kante eher glatt ist. Am Boden finden sich vereinzelt *Flakes*.

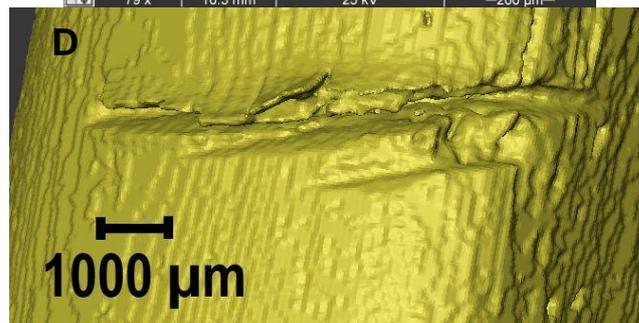
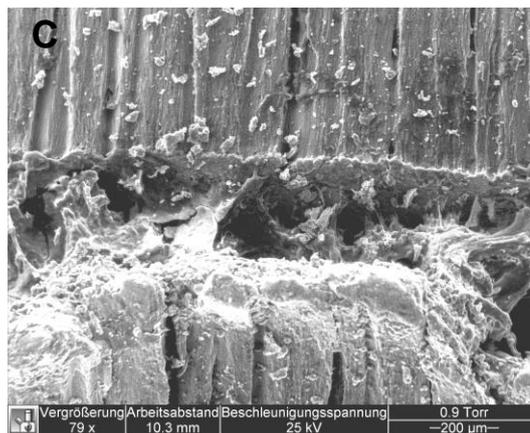
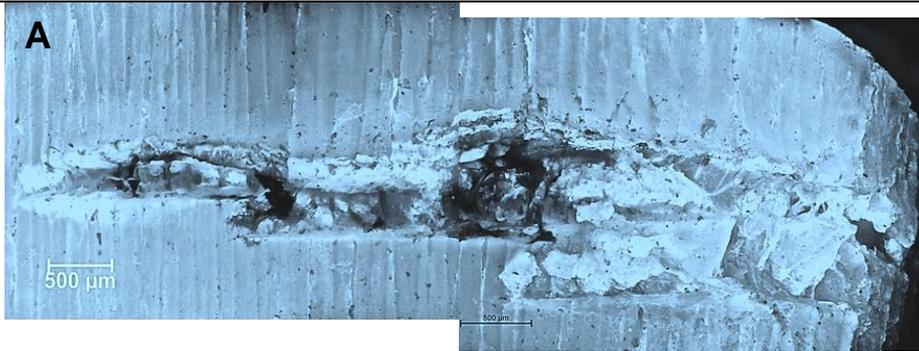
	
<p>Konditormesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="300 349 767 651"> <p>A</p>  </div> <div data-bbox="767 349 1225 651"> <p>B</p>  </div> </div> <div data-bbox="536 667 992 1039"> <p>C</p>  </div> <div data-bbox="536 1050 992 1290"> <p>D</p>  </div> <p data-bbox="233 1330 1299 1420">Beide Kanten sind glatt, zeigen aber dennoch wenige Unebenheiten. Die Innenseiten sind glatt. Am Boden finden sich Fettrückstände.</p>

Konditormesser – Cut 2

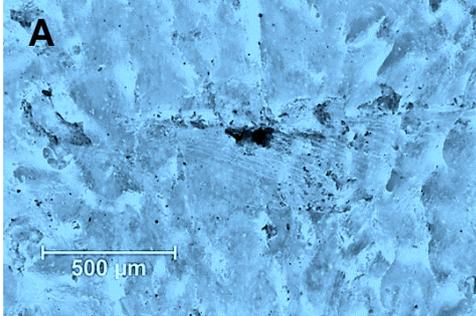
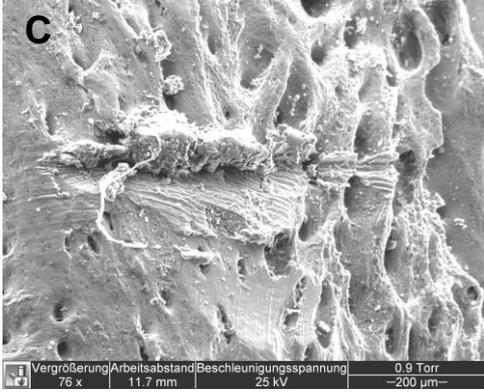
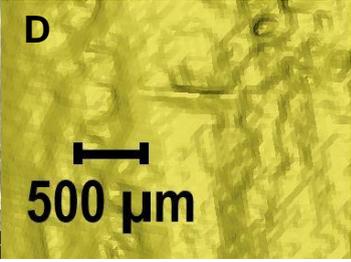


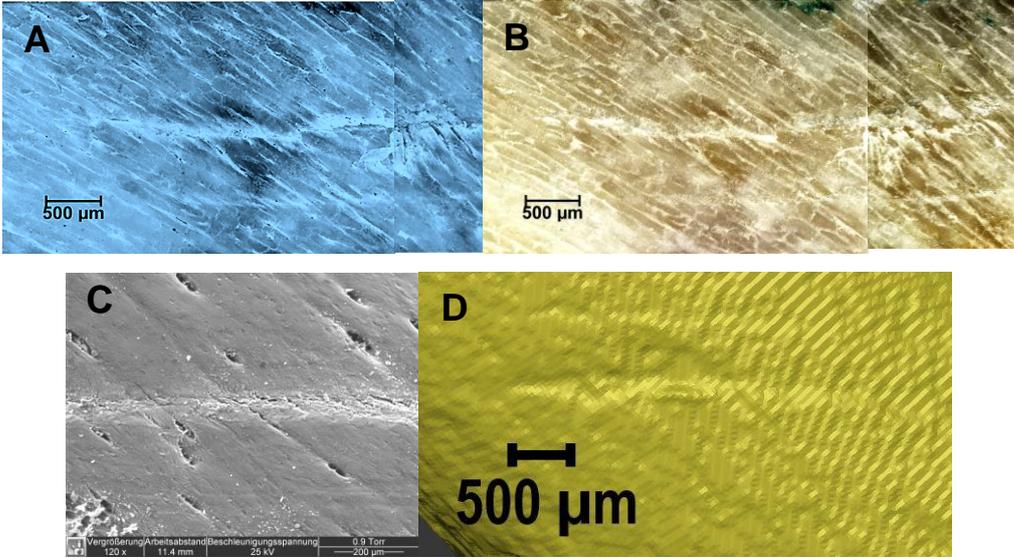
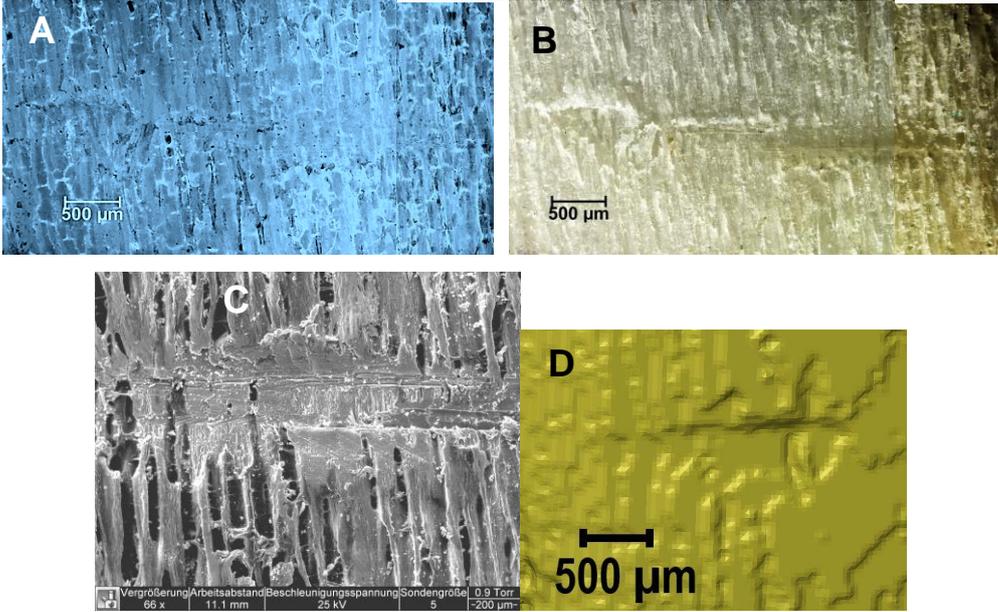
Obere und untere Kante sind aufgeraut und von der Oberfläche abgehoben. Die obere Kante zeigt eine massivere Aufrauung im Vergleich zur unteren. Die Innenseiten und der Grund zeigen Unebenheiten.

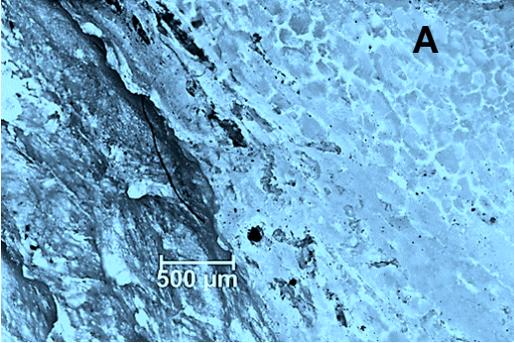
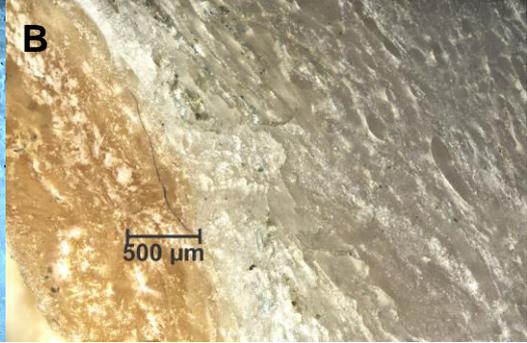
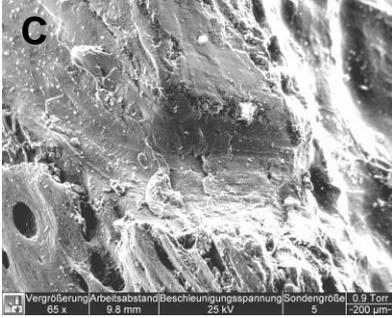
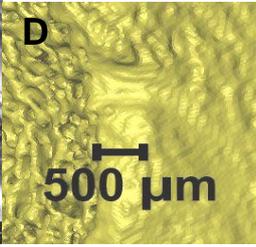
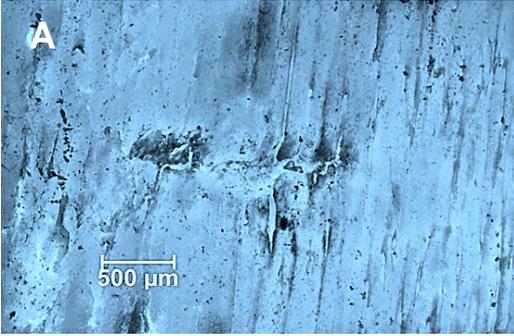
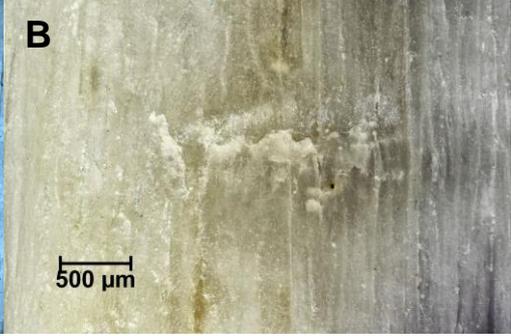
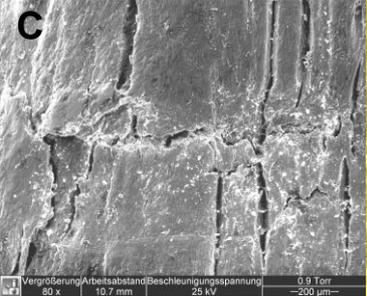
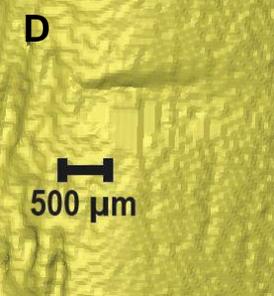
Konditormesser – Cut 3



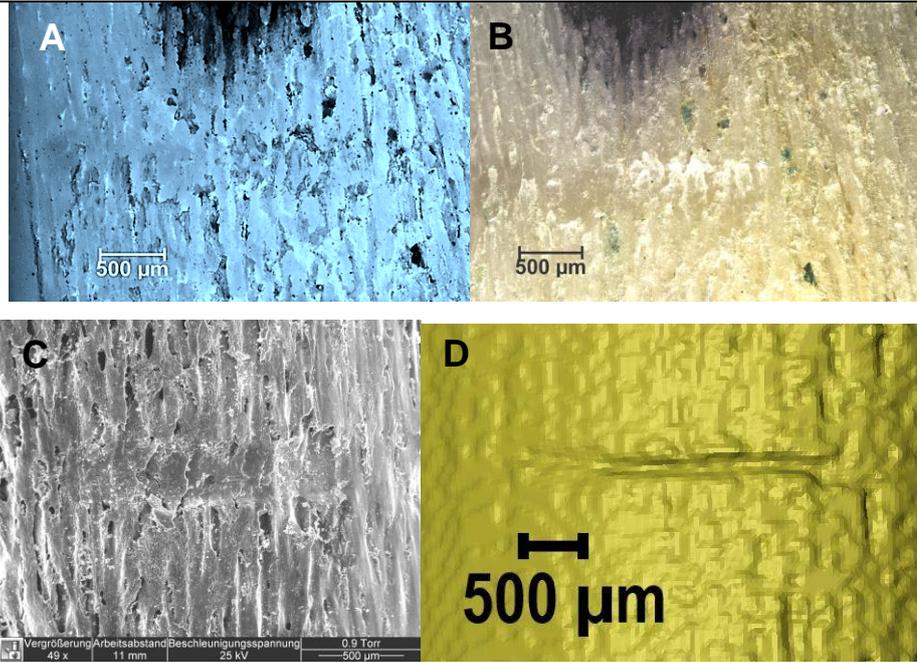
Die obere Kante zeigt starke Unebenheiten und Aufrauungen, welche sich etwas von der Oberfläche abheben. Die untere Kante ist scharf und glatt. Die Innenseite der oberen Kante ist rau, die der unteren Kante glatt. Der Grund ist massiv aufgeraut und enthält vereinzelt *Flakes*.

	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Schere – Cut 1</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> <p style="font-size: small;">Vergroßerung 78 x Arbeitsabstand 11.7 mm Beschleunigungsspannung 25 kV 0.9 Torr -200 µm-</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>D</p> <p>500 µm</p> </div> </div> <p style="margin-top: 20px;">Die obere Kante beinhaltet Unebenheiten und hebt sich ein wenig von der Oberfläche ab. Eine untere Kante existiert nicht, es ist aber eine Abschleifung, welche parallele Strichmuster zeigt, zu sehen.</p>

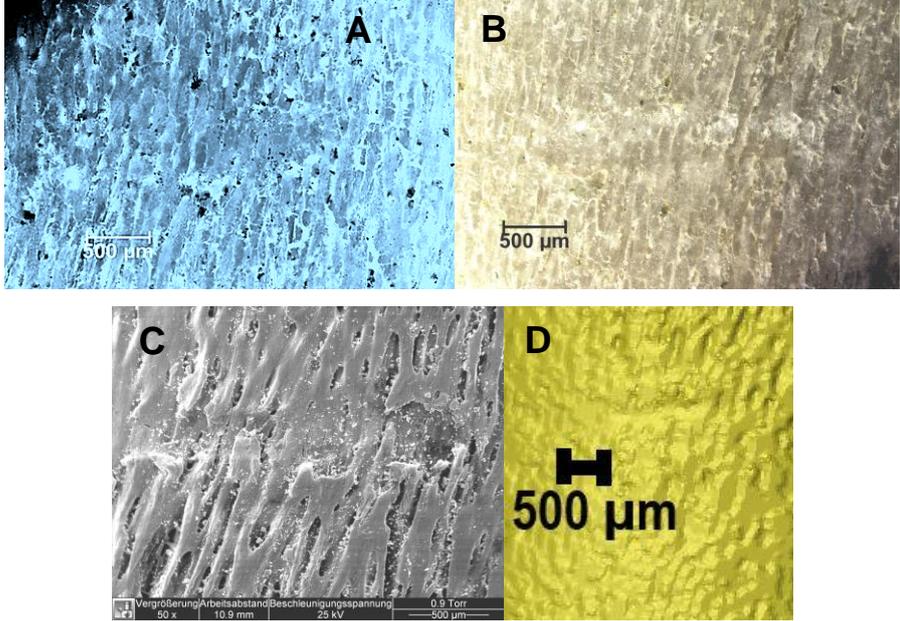
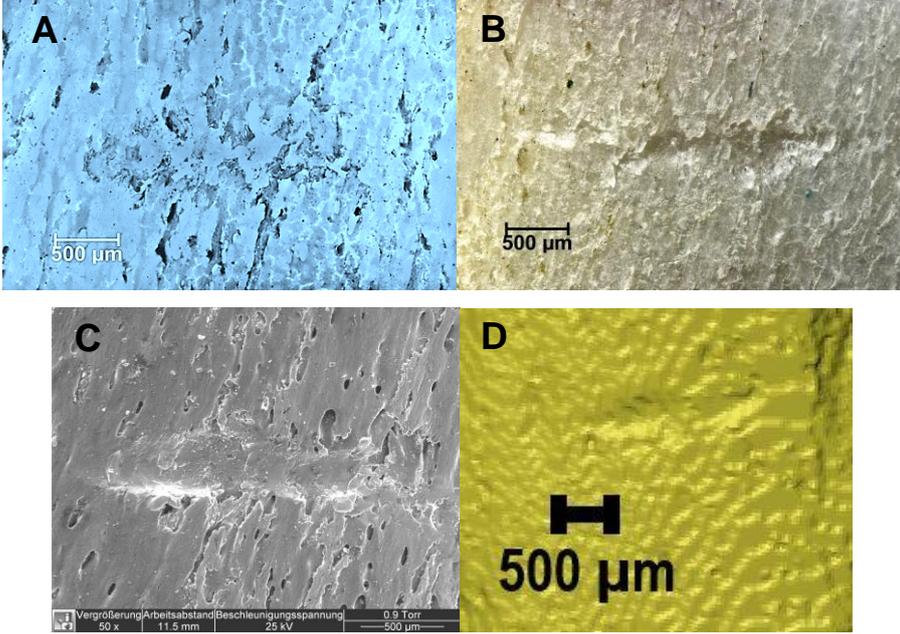
<p>Schere – Cut 2</p>	 <p>Die Oberfläche zeigt eine oberflächige Kratzspur, die an einer Seite tiefer ist und die obere und untere Kante aufraut, wobei sich die untere Kante ein wenig von der Oberfläche abhebt.</p>
<p>Schere – Cut 3</p>	 <p>Eine oberflächige Kratzspur mit einer raueren oberen Kante, die sich leicht von der Oberfläche abhebt und eine untere Kante, die glatt ist. Der Grund ist ebenfalls glatt.</p>

	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Schlitzschraubendreher – Cut 1</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <p style="margin-top: 20px;">Eine oberflächige Kerbe mit glatten, scharfen Kanten und glatten Innenwänden und Grund.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Schlitzschraubendreher – Cut 2</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <p style="margin-top: 20px;">Ein Kratzer an der Oberfläche, bei dem sich die obere und untere Kante ein wenig von der Oberfläche abhebt.</p>

Schlitzschraubendreher – Cut 3



Ein Kratzer an der Knochenoberfläche, der Grund, obere und untere Kante sind glatt.

	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kreuzschlitzschraubendreher – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p>Leichter Kratzer an der Oberfläche, der eine glatte Struktur aufweist.</p> </div>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kreuzschlitzschraubendreher – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p>Die obere Kante ist aufgeraut, die untere Kante ist sehr flach und uneben.</p> </div>

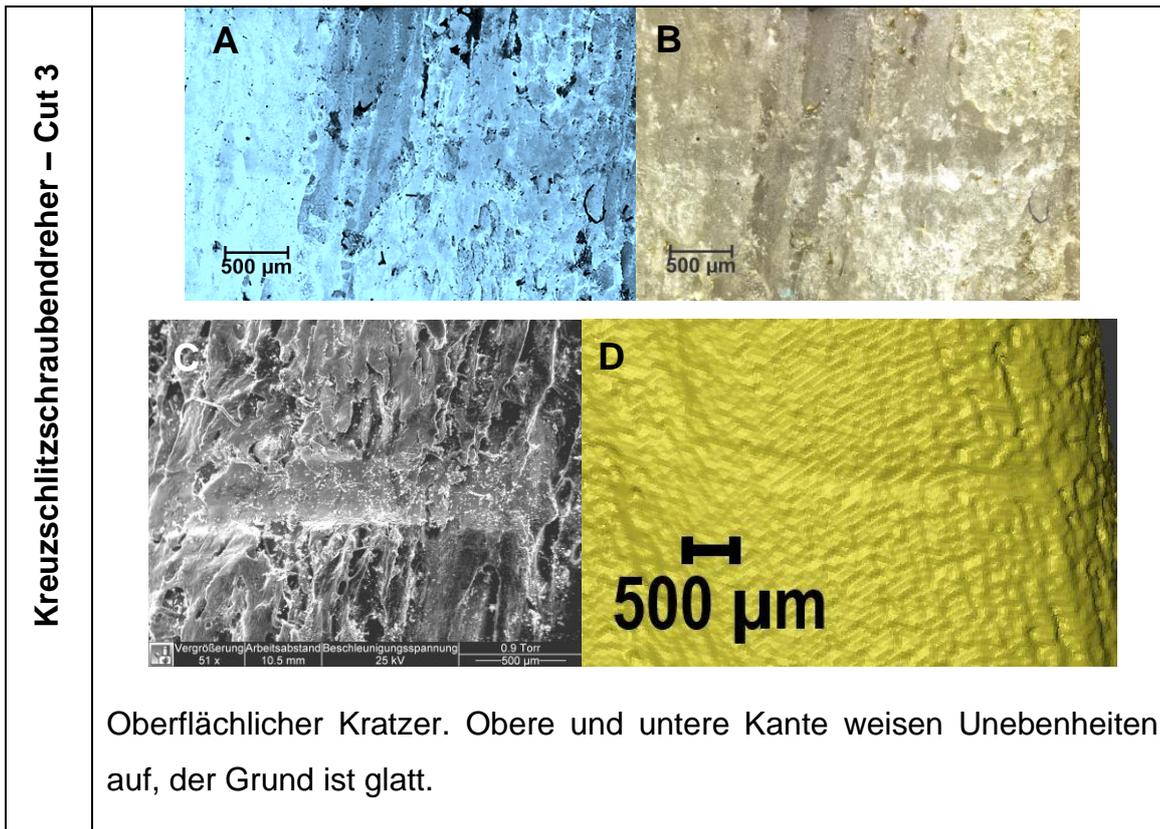
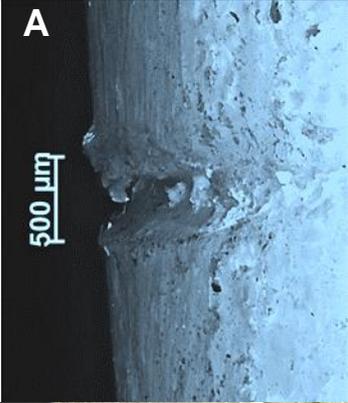
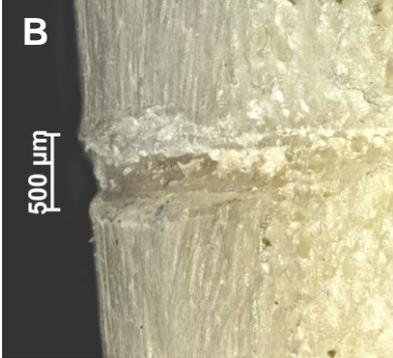
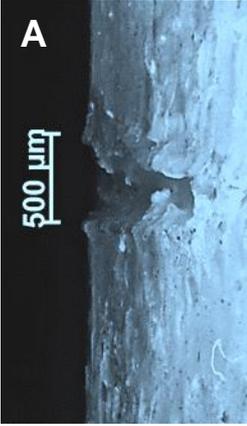
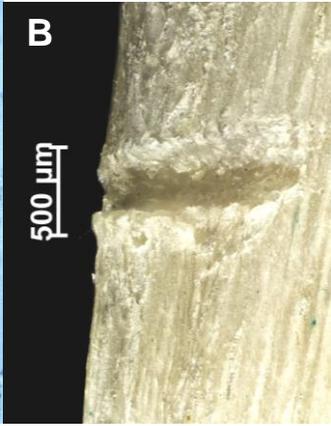


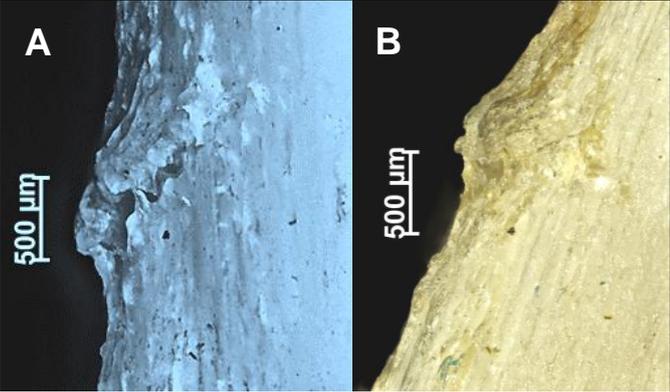
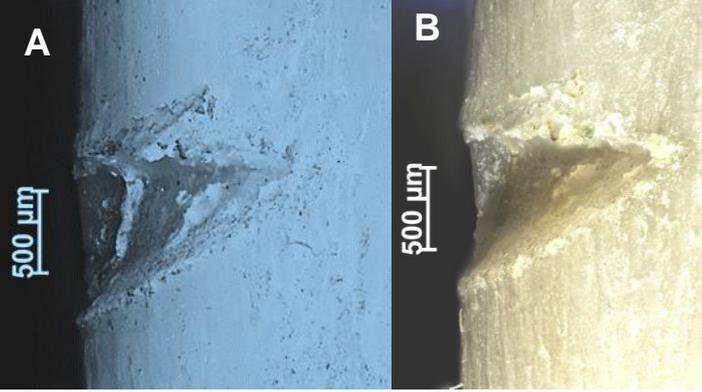
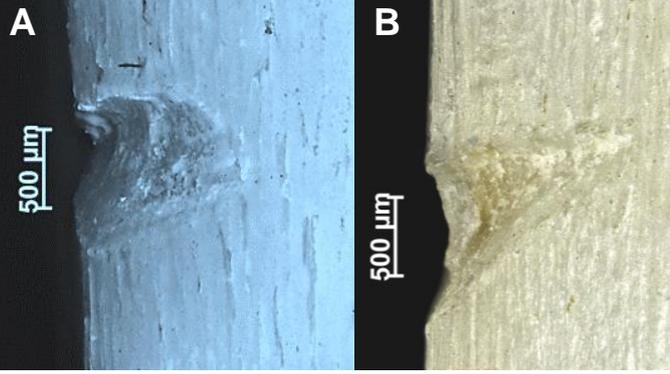
Abb. 23: Verschiedene Aufnahmen der Rippen mit Cutmarken 1-9.
 Aufnahme der Cutmarken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie, ESEM und μ -CT und morphologischer Beschreibung. Die Fluoreszenzbilder werden in Falschfarbe dargestellt.

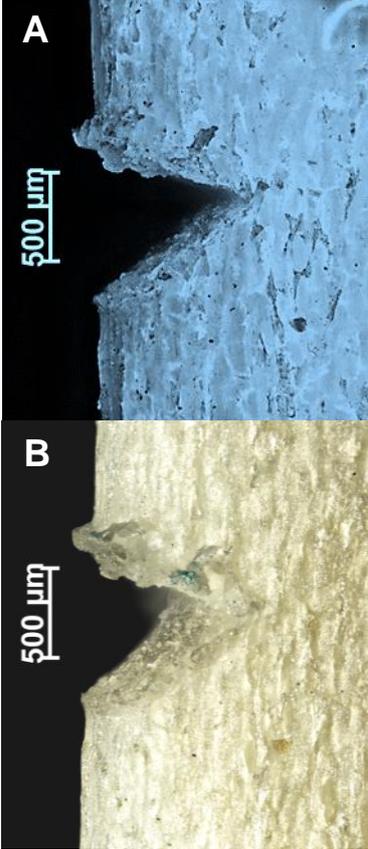
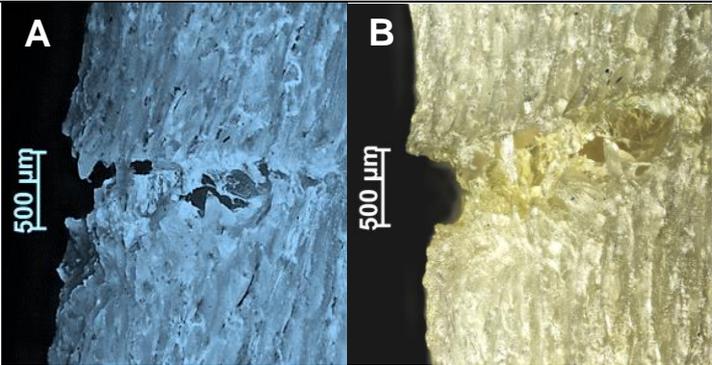
Um den Kontrast zu schärfen, wurden die Licht- und Fluoreszenzaufnahmen bearbeitet. Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt. Die Aufnahmen mittels ESEM benötigten keine Nachbearbeitung. Aufgrund der *Smoothing*-Funktion des Programms Amira gehen bei den Bildern des Mikro-CT feine Strukturen/Merkmale verloren.

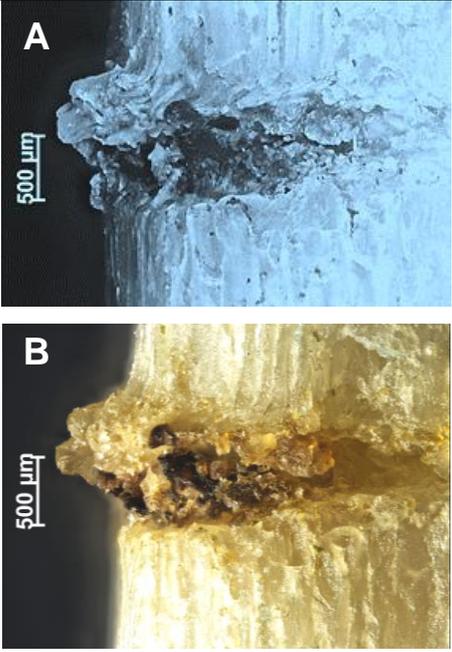
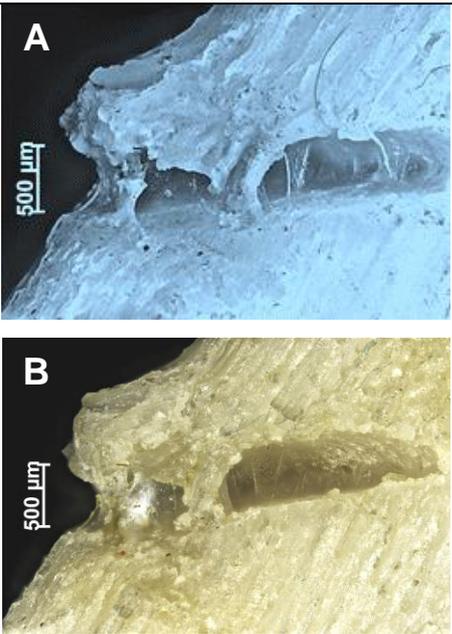
Die Marken wurden in seitlicher Position im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen (Abb. 24). Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

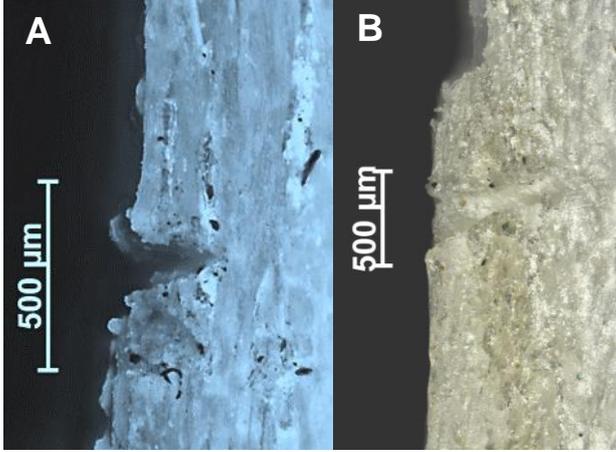
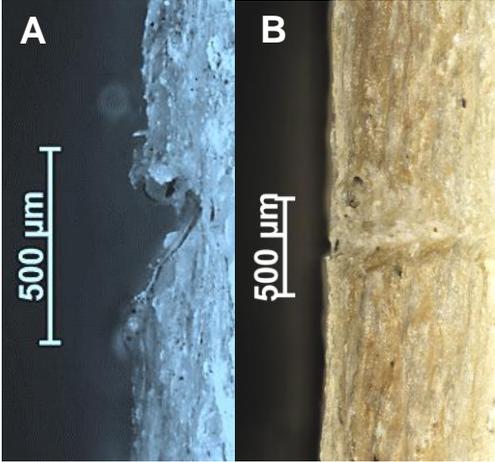
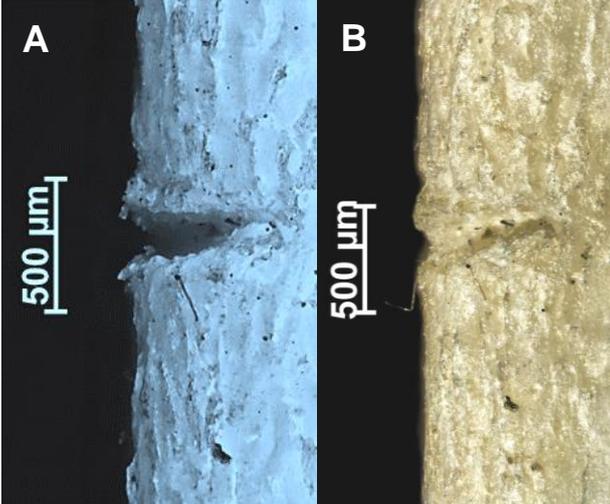
WZ	Kerbmarke	
		
Mehrzweckmesser – Cut 1	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">A</div>  </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="margin-right: 5px;">B</div>  </div> </div>	<p>Der obere Rand hebt sich etwas von der Oberfläche ab, die Kante und die Innenseite sind aufgeraut. Die untere Kante und die Innenfläche sind glatt, der Grund zeigt geringe Aufrauungen und <i>Flakes</i>.</p>
Mehrzweckmesser – Cut 2	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">A</div>  </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="margin-right: 5px;">B</div>  </div> </div>	<p>Die Ränder sind glatt und ein wenig von der Oberfläche abgehoben. Die Innenseiten sind glatt, es sind vereinzelt <i>Flakes</i> zu sehen.</p>

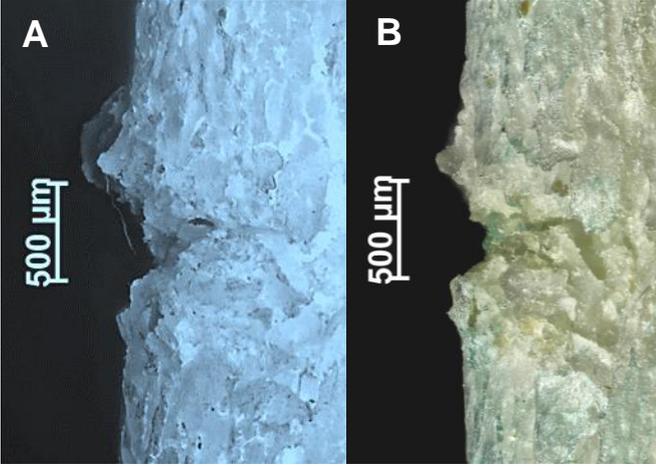
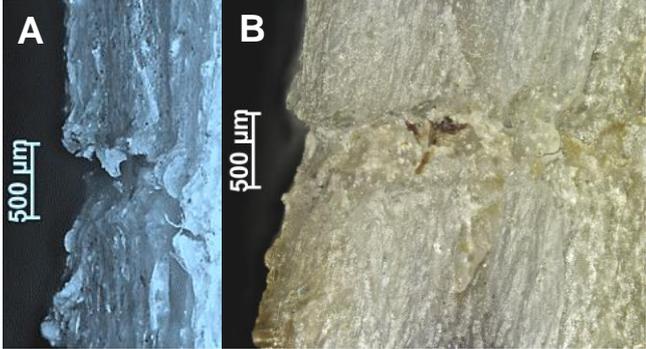
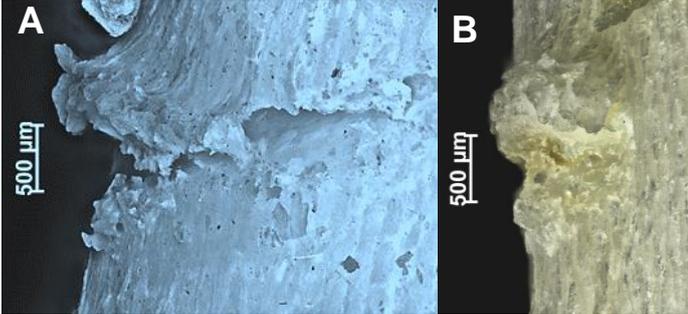
Ergebnisse

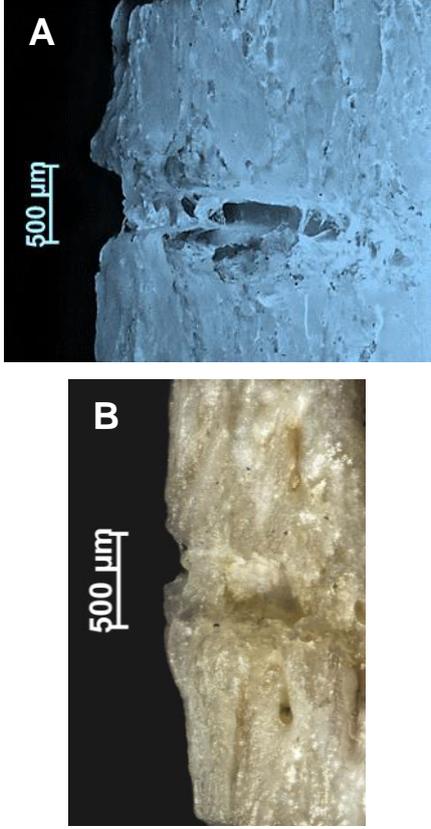
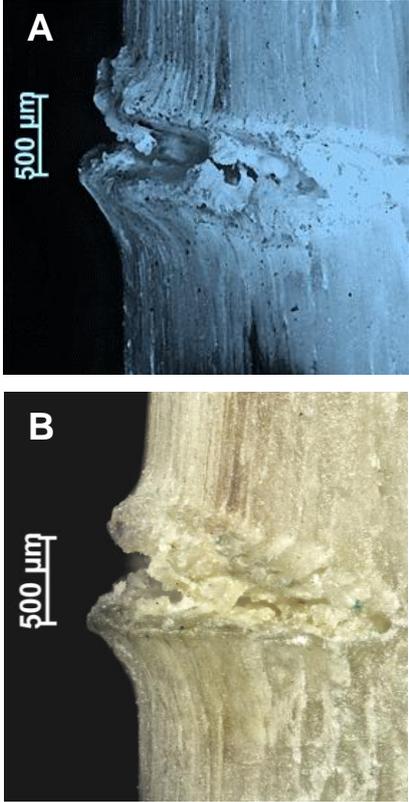
<p>Mehrzweckmesser – Cut 3</p>		<p>Der Schnitt erfolgte schräg, die obere Kante ist aufgeraut und steht von der Oberfläche ab. Die untere Kante zeigt nur geringgradige Aufrauung.</p>
		
<p>Filiermesser – Cut 1</p>		<p>Die Kerbe ist V-förmig. Die obere Kante ist aufgeraut, ebenso die Innenwand. Die untere Kante ist glatt, wie auch die Innenwand.</p>
<p>Filiermesser – Cut 2</p>		<p>Die Kerbe ist V-förmig. Die obere Kante ist aufgeraut, die Innenwand glatt. Die untere Kante und die Innenwand sind glatt, ebenso der Grund.</p>

<p>Filirmesser – Cut 3</p>		<p>Die Kerbe ist V-förmig. Die Obere Kante und die Innenwand sind rau und die Kante hebt sich etwas von der Oberfläche ab. Die untere Kante ist glatt, ebenso die Innenwand.</p>
		
<p>Steakmesser – Cut 1</p>		<p>Obere und untere Kante sind zerborsten. In der Kerbe sind Knochenstücke und Fetteinlagerungen zu erkennen.</p>

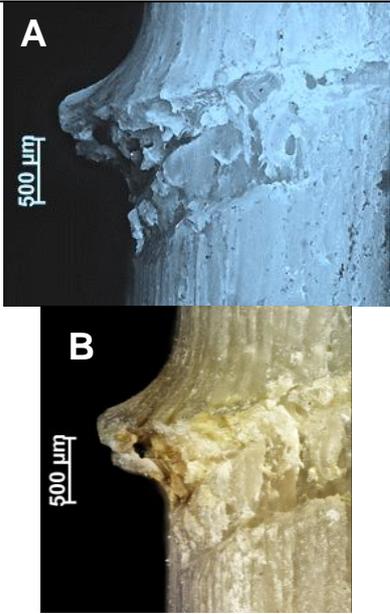
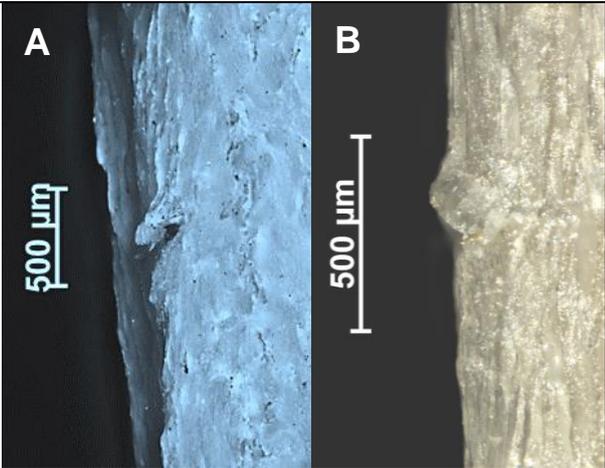
<p>Steakmesser – Cut 2</p>		<p>Die obere Kante ist geborsten und hebt sich von der Oberfläche ab. Die Innenseite ist aufgeraut. Die untere Kante verläuft glatter.</p>
<p>Steakmesser – Cut 3</p>		<p>Der Schnitt erfolgte schräg. Die obere Kante ist nach außen geborsten und steht von der Oberfläche ab. Die untere Kante ist glatt. In der Kerbe sind Fettreste erkennbar.</p>

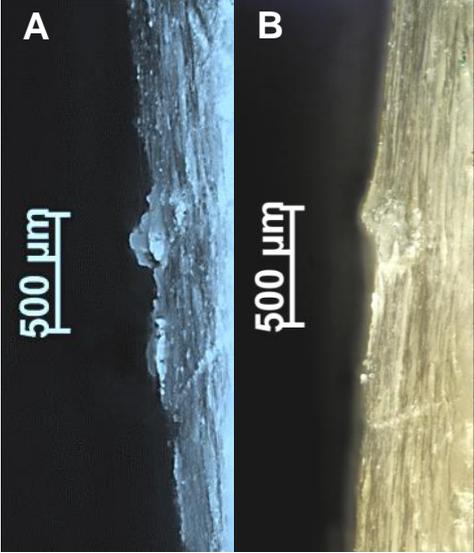
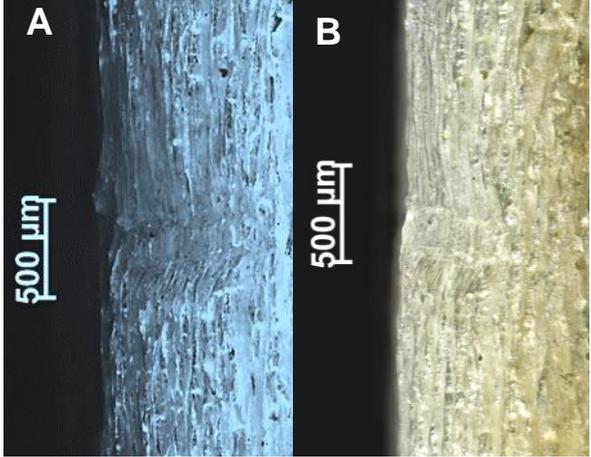
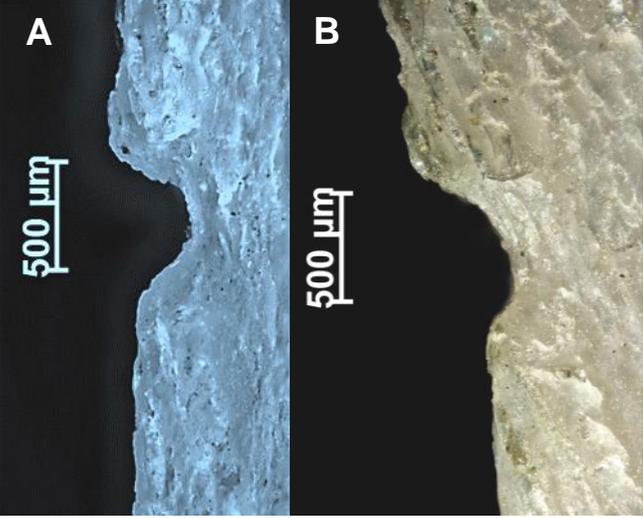
		
<p>Ausbeinmesser – Cut 1</p>		<p>Der Schnitt ist V-förmig. Die obere Kante ist leicht von der Oberfläche abgehoben, aber glatt. Die untere Kante ist ebenfalls glatt.</p>
<p>Ausbeinmesser – Cut 2</p>		<p>Der Schnitt ist V-förmig. Die obere Kante ist rau und hebt sich von der Oberfläche ab. Die untere Kante verläuft steil schräg nach unten.</p>
<p>Ausbeinmesser – Cut 3</p>		<p>Der Schnitt ist V-förmig. Beide Kanten sind etwas aufgeraut.</p>

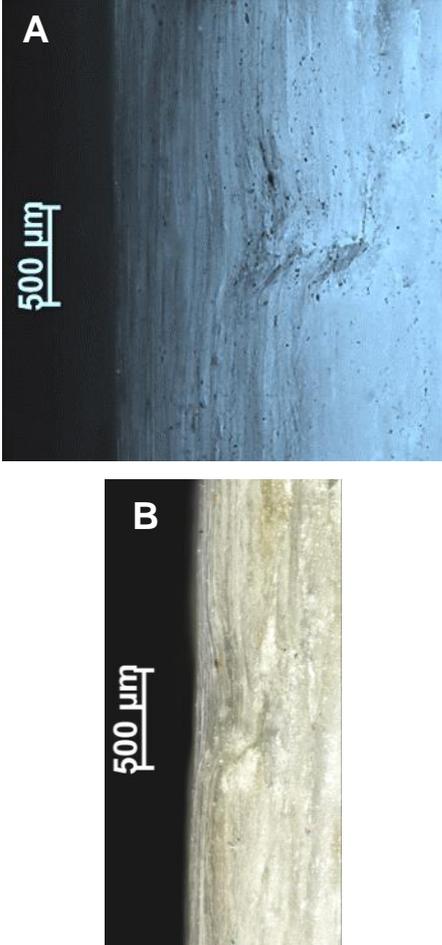
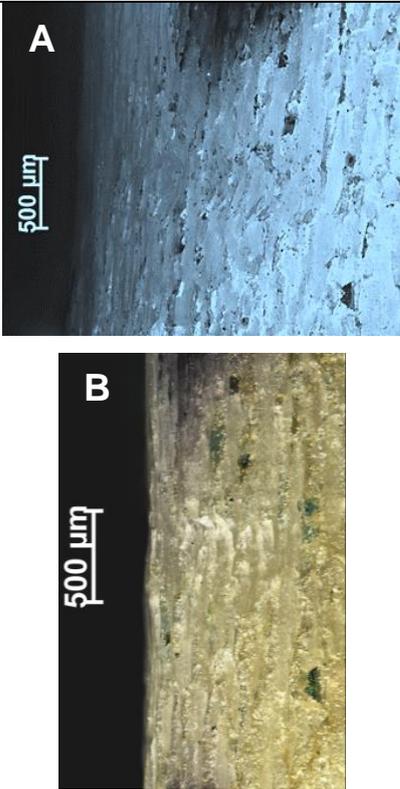
		
<p>Brotmesser – Cut 1</p>		<p>Beide Kanten und die Innenflächen sind aufgeraut. Die obere Kante steht etwas von der Oberfläche ab.</p>
<p>Brotmesser – Cut 2</p>		<p>Die obere Kante ist aufgeraut und steht ein wenig von der Oberfläche ab. Die untere Kante geht steil nach unten.</p>
<p>Brotmesser – Cut 3</p>		<p>Der Schnitt erfolgte schräg. Die obere Kante ist geborsten und steht von der Oberfläche ab. Die untere Kante zeigt eine schwache Aufrauung, die ein wenig von der Oberfläche absteht.</p>

		
<p>Konditormesser – Cut 1</p>		<p>Die obere Kante ist aufgeraut und steht etwas von der Oberfläche ab. Die untere Kante weist einen ungleichförmigen Verlauf auf. Die Innenwände sind glatt, es bestehen einzelne <i>Flakes</i> und Fettreste.</p>
<p>Konditormesser – Cut 2</p>		<p>Die Kanten sind aufgewölbt und stehen von der Oberfläche ab. An den Innenseiten gibt es Aufrauungen.</p>

Ergebnisse

<p>Konditormesser – Cut 3</p>		<p>Die obere Kante wölbt sich nach außen und ist von der Oberfläche abgehoben. Die Innenseite ist rau. Die untere Kante ist weggebrochen, die Oberfläche rau.</p>
		
<p>Schere – Cut 1</p>		<p>Die obere Kante hebt sich von der Oberfläche ab. Die untere Kante ist flach und geht steil nach unten.</p>

<p>Schere – Cut 2</p>		<p>Eine geringgradige Aufrauung mit einer etwas von der Oberfläche abstehenden oberen Kante. Die untere Kante ist nur angedeutet.</p>
<p>Schere – Cut 3</p>		<p>Eine Scherspur mit 2 flach abgehenden Seiten.</p>
		
<p>Schlitzschraubendreher – Cut 1</p>		<p>Eine Scherspur in U-Form mit zwei abgerundeten Kanten.</p>

<p>Schlitzschraubendreher – Cut 2</p>		<p>Durch das Werkzeug verursachte Einsenkung des Knochens. Die Seitenwände verlaufen flach. Kante ist unten etwas stärker ausgeprägt als oben. Oben verläuft die Kante fließend zur Knochenoberfläche.</p>
<p>Schlitzschraubendreher – Cut 3</p>		<p>Dezente Scherspur mit zur Oberfläche überfließenden Kanten.</p>

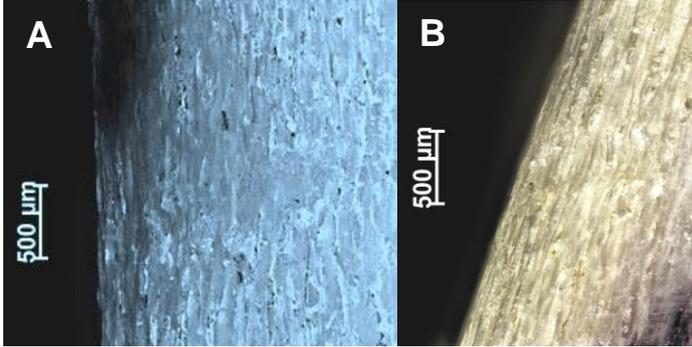
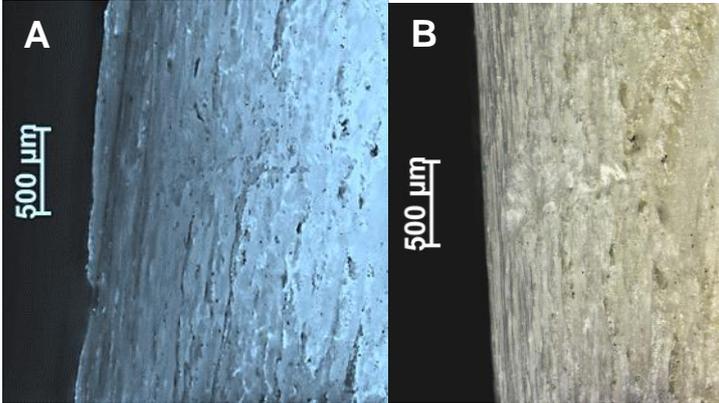
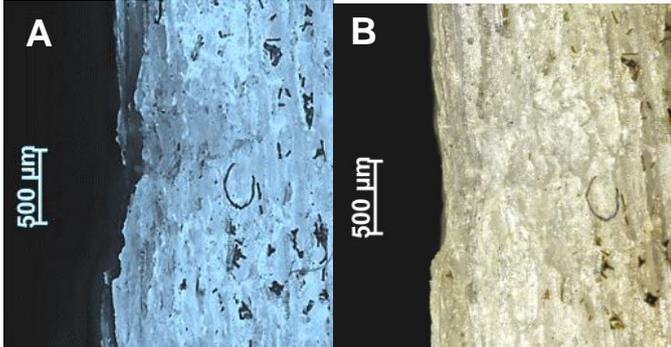
		
<p>Kreuzschlitzschraubendreher – Cut 1</p>		<p>Dezente Scherspur mit flach verlaufenden Kanten.</p>
<p>Kreuzschlitzschraubendreher – Cut 2</p>		<p>Dezente Kratzspur mit abgeflachten Kanten.</p>
<p>Kreuzschlitzschraubendreher – Cut 3</p>		<p>Dezente Vertiefung mit in die Oberfläche des Knochens einfließenden Kanten.</p>

Abb. 24: Licht- und Fluoreszenzmikroskopie der Rippen mit Cutmarken 1-9 von der Seite.
 Aufnahme der Cutmarken von der Seite mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie. Eine komplett seitliche Aufnahme war entweder aufgrund der Marken oder wegen des schwachen Lichtsignals nicht möglich. Die Fluoreszenzbilder werden in Falschfarbe dargestellt.

Anhand der erhobenen Daten konnte mit Hilfe statistischer Tests eine Auswertung und ein anschließender Vergleich der Daten durchgeführt werden.

4.2.1.1 Beschreibung der Cutmarken

Mittels spezieller Software wurden die Cutmarken, welche mit Fluoreszenz und Mikro-CT aufgenommen wurden, vermessen. Tab. 6 zeigt die Mittelwerte der Parameter. Mit dem anschließenden Scheffé-Test (Tab. 7) konnte dargestellt werden, wo die Unterschiede zwischen den Gruppen sind. Dabei musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden.

Tab. 6: Werte der Messparameter der Cutmarken.

Mittelwerte der Messparameter der Cutmarken der jeweiligen Werkzeuge

Werkzeug	Mges Fluor [µm]	HKP Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
Mehrzweckmesser	287,58	460,28	62,61	155,77	395,34
Filiermesser	710,13	924,82	87,87	223,27	709,50
Steakmesser	621,65	589,60	31,99	221,82	584,62
Ausbeinmesser	160,02	254,14	63,09	99,96	189,03
Brotmesser	601,80	543,66	75,35	243,21	613,44
Konditormesser	424,84	625,34	26,23	183,89	430,05
Schere	124,95	128,07	144,51	192,77	562,68
Schlitzschraubendreher	235,68	444,97	131,36	180,05	719,72
Kreuzschlitzschraubendreher	376,05	404,13	146,36	182,46	452,81

Tab. 7: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.

Für den Unterschied zwischen den Cutmarken der Werkzeuge musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden. Die erhöhten Fs-Werte sind rot unterlegt.

Werkzeug	Werkzeug	Mges Fluor [Fs]	HKP Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
1	2	41,03	14,13	8,20	2,29	14,12
1	3	25,65	1,10	12,04	2,20	5,13
1	4	3,74	2,78	2,99e-03	1,57	6,09
1	5	22,69	0,46	2,09	3,85	6,81
1	6	4,33	1,78	17,00	0,40	0,17
1	7	6,08	7,23	86,19	0,69	4,01
1	8	0,62	0,02	60,74	0,30	15,05
1	9	1,80	0,21	90,11	0,36	0,47
2	3	1,80	7,36	40,12	1,06e-03	2,23
2	4	69,54	29,46	7,89	7,65	38,76
2	5	2,70	9,52	2,02	0,20	1,32
2	6	18,70	5,87	48,82	0,78	11,17
2	7	78,69	41,58	41,21	0,47	3,08
2	8	51,73	15,08	24,30	0,94	0,01
2	9	25,65	17,76	43,94	0,84	9,43
3	4	48,97	7,37	12,42	7,47	22,39
3	5	0,09	0,14	24,15	0,23	0,12
3	6	8,90	0,08	0,43	0,72	3,42
3	7	56,69	13,95	162,66	0,42	0,07
3	8	34,23	1,37	126,86	0,88	2,61
3	9	13,86	2,25	168,04	0,78	2,49

Ergebnisse

Werkzeug	Werkzeug	Mges Fluor [Fs]	HKP Fluor [Fs]	KMW μ-CT [Fs]	HTS μ-CT [Fs]	HHS μ-CT [Fs]
4	5	44,85	5,49	1,93	10,32	25,77
4	6	16,11	9,02	17,45	3,54	8,31
4	7	0,28	1,04	85,17	4,33	19,98
4	8	1,32	2,39	59,89	3,23	40,29
4	9	10,72	1,47	89,08	3,42	9,96
5	6	7,20	0,44	31,00	1,77	4,81
5	7	52,25	11,31	61,46	1,28	0,37
5	8	30,80	0,64	40,31	2,01	1,62
5	9	11,71	1,28	64,78	1,86	3,69
6	7	20,67	16,20	179,74	0,04	2,52
6	8	8,22	2,13	142,00	0,01	12,01
6	9	0,55	3,20	185,40	1,04e-03	0,07
7	8	2,82	6,58	2,22	0,08	3,53
7	9	14,49	4,99	0,04	0,05	1,73
8	9	4,53	0,11	2,89	2,91e-03	10,19

Fluoreszenz

Die Werte der Cutmarken gesamt wiesen laut Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen ($F 20,67$, $p 7,19e-16$). Bei den Daten der HKP waren die Daten normalverteilt ($p > 0,05$). Die Varianzanalyse ergab eine Prüfgröße F von $6,83$ und einen p -Wert von $3,65e-04$.

Bei der grafischen Darstellung mittels Boxplots zeigten sich beim Vergleich der Marken teils erhebliche Unterschiede (Abb. 25). Die Sterne markieren Ausreißer.

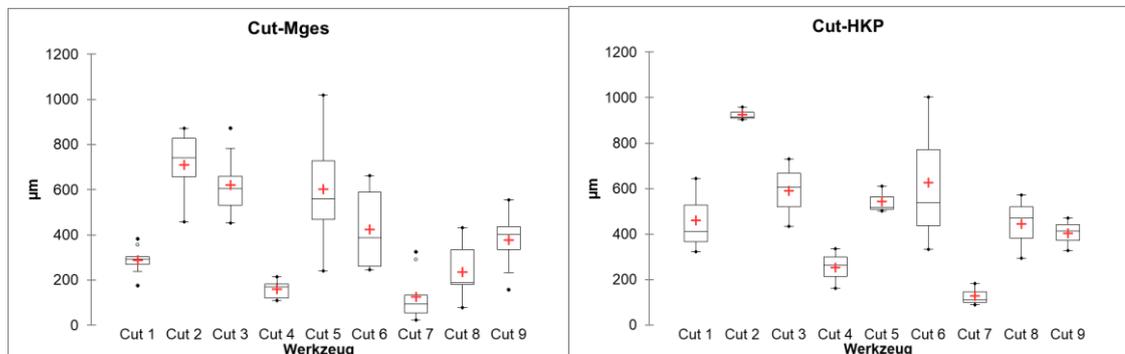


Abb. 25: Boxplots der Werte Mges und HKP.

Die Werte der jeweiligen Cutmarken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Die Sterne markieren Ausreißer, die größte Spannweite bei den Daten Mges zeigt Werkzeug 5. Die Boxplots der Daten der HKP zeigen, daß die größte Differenz zwischen größtem und kleinsten Wert bei Werkzeug 6 besteht.

Bei den Werkzeugen von Mges 1, 3, 7 und 9 finden sich Ausreißer. Beim Werkzeug 1 im oberen und unteren Bereich, bei den Werkzeugen 3 und 7 im oberen Bereich und beim Werkzeug 9 im unteren Bereich. Die größte Spannweite bei Mges hat Werkzeug 5 und die geringste Spannweite hat Werkzeug 1. Bei HKP konnte die größte Spannweite bei Werkzeug 6 beobachtet werden, die geringste Spannweite bei Werkzeug 2.

Laut Scheffé-Test sind Unterschiede zwischen den Cutmarken bei Mges bei nahezu allen Werkzeugen zu finden, mit Ausnahme der WZ 7 – 9. Diese weisen untereinander statistisch keine Unterschiede auf. Signifikante Unterschiede zu anderen Werkzeugen finden sich bei Werkzeug 2 (6 Unterschiede). Die wenigsten Unterschiede zu anderen Werkzeugen hat Werkzeug 1 (3 Unterschiede).

Bei der HKP fanden sich nur bei Cut 2 Unterschiede zu den Cuts 4 und 7. Alle anderen Cuts hatten keinen signifikanten Unterschied aufzuweisen.

Mikro-CT

Anhand der Aufnahmen des μ -CT wurden die Kerbmarken miteinander verglichen. Vermessen wurden der KMW, HTS und HHS an 3 Positionen. Die Cutmarken wurden an mindestens 3 Stellen vermessen (Abb. 26).

Die Werte der Cutmarken KMW, HTS und HHS wiesen laut Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen KMW ($F 53,96$, $p 2,25e-27$) und HHS: ($F 8,16$, $p 8,73e-08$). HTS zeigte keine Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen ($F 1,81$, $p 0,09$).

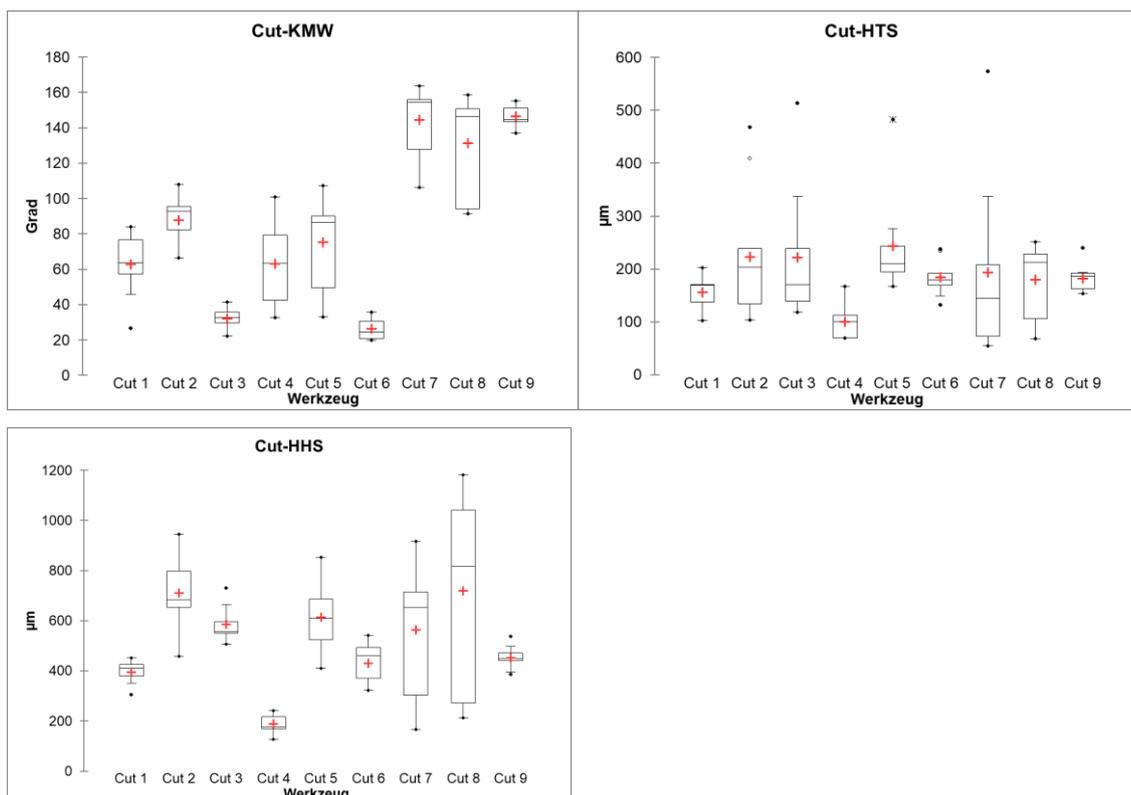


Abb. 26: Boxplots der Werte der KMW, HTS und HHS.

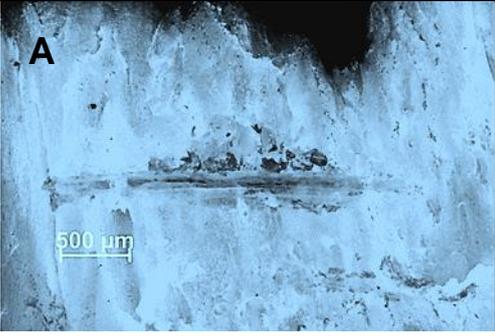
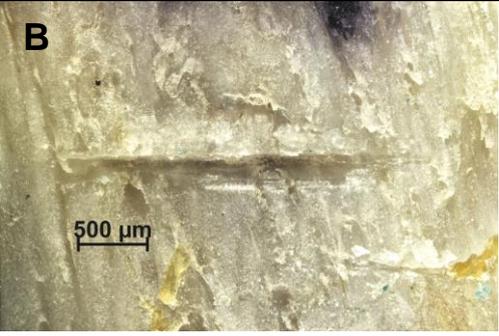
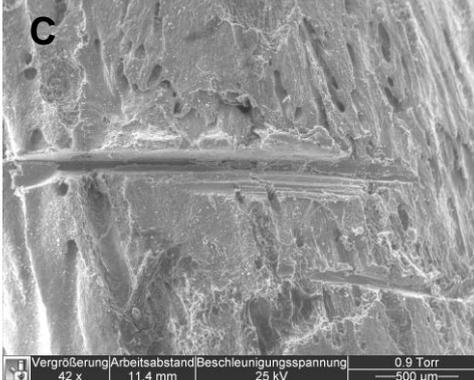
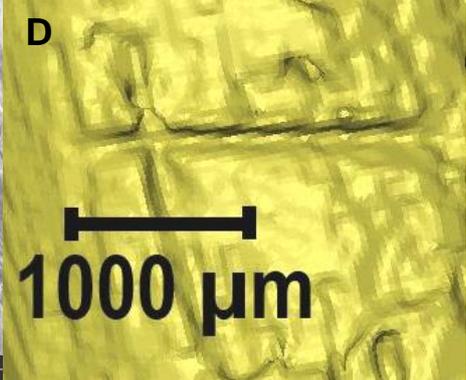
Die Werte der jeweiligen Cutmarks wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Die Sterne markieren Ausreißer, die größte Spannweite bei den Daten zeigen Werkzeuge 7 und 8.

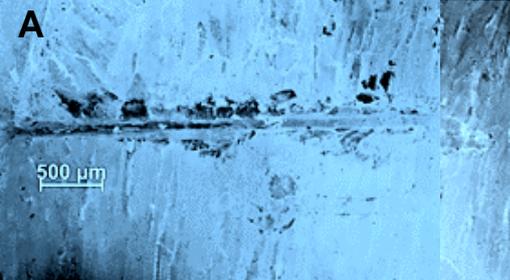
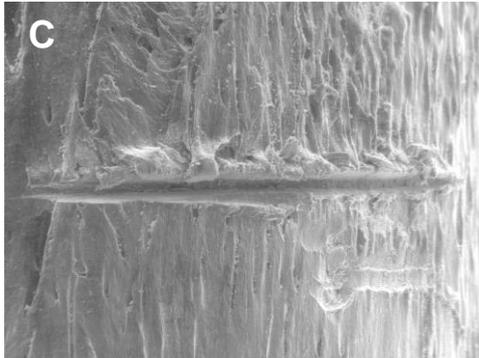
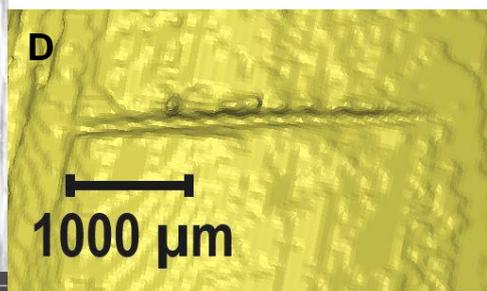
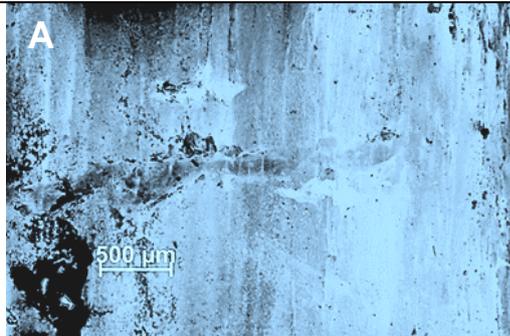
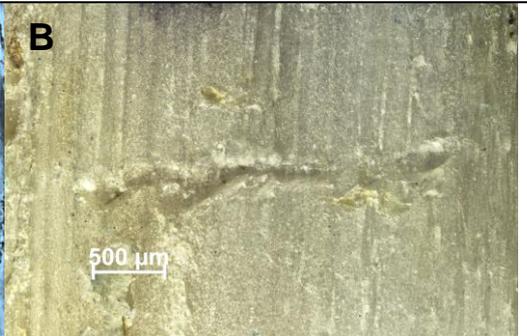
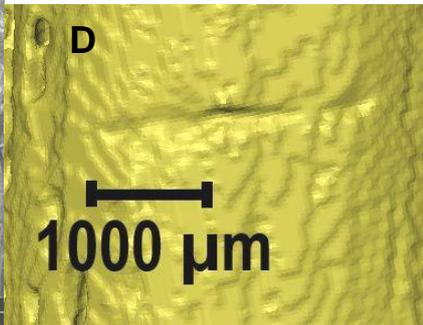
Laut Scheffé-Test gab es signifikante Unterschiede beim KMW und bei HHS und keine signifikanten Unterschiede bei HTS. Beim KMW waren mit 7 Unterschieden die meisten bei Cut 6 zu finden. Cut 7, 8 und 9 wiesen 6 Unterschiede

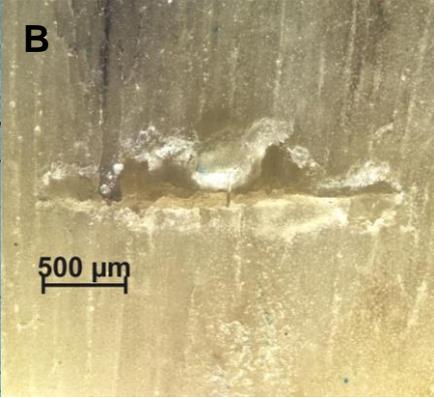
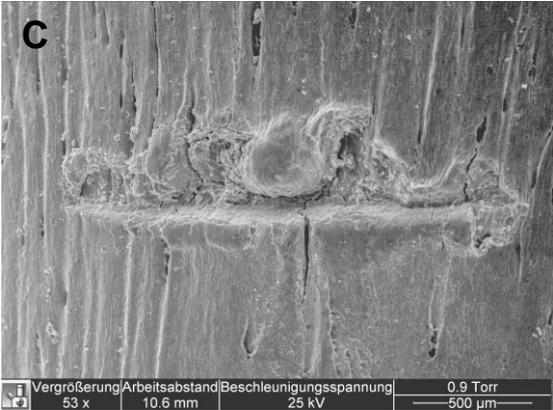
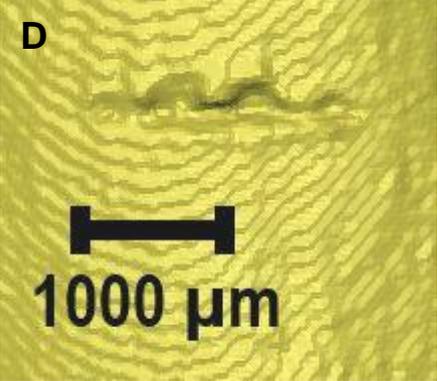
auf, Cut 2, 3 und 5 wiesen 5 Unterschiede auf. Cut 1 und 4 wiesen 4 Unterschiede auf. Bei HTS waren keine Unterschiede statistisch feststellbar. Bei HHS hatte Cut 4 insgesamt 5 Unterschiede zu anderen Cuts, die Cuts 2, 3 und 5 hatten jeweils einen Unterschied zu anderen Cuts.

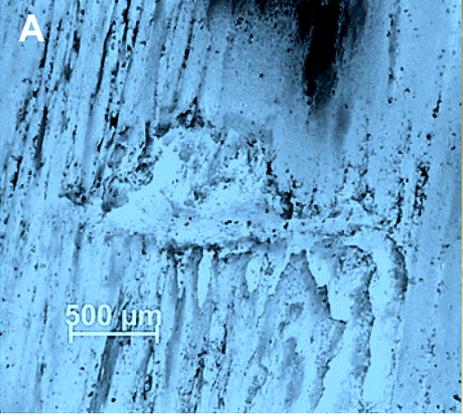
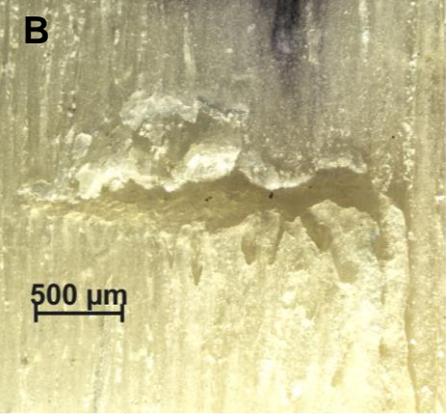
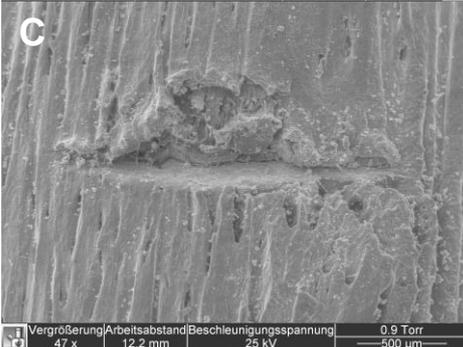
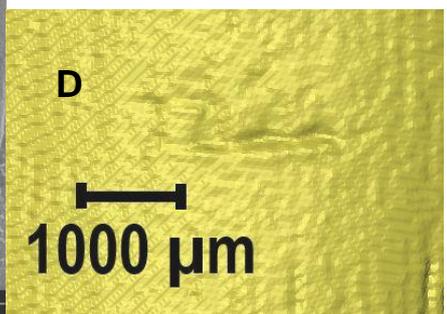
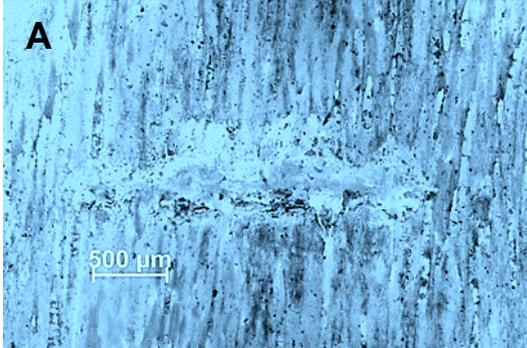
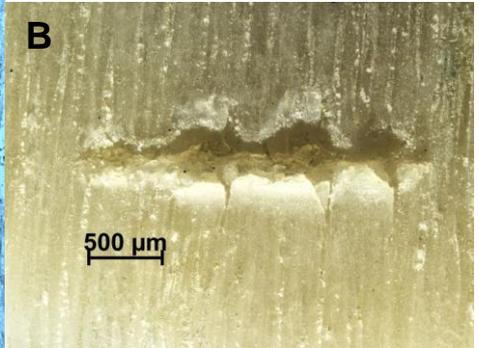
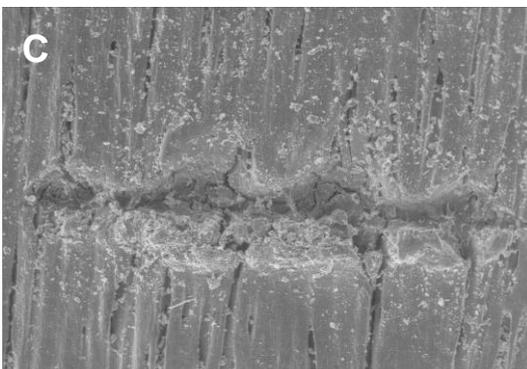
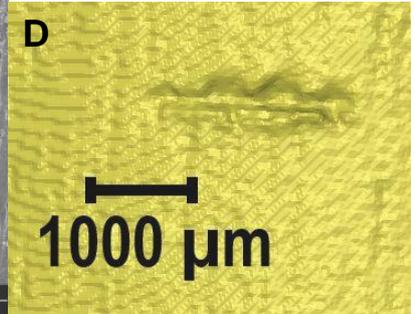
4.2.2 Hackmarken an frischen Schweineknochen

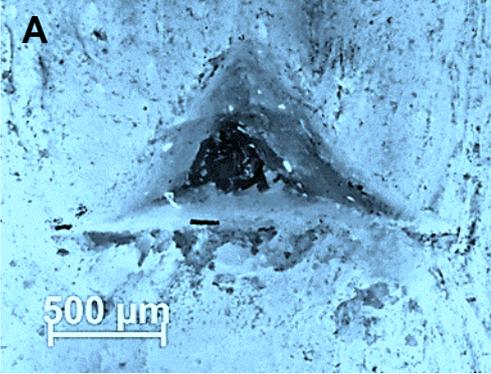
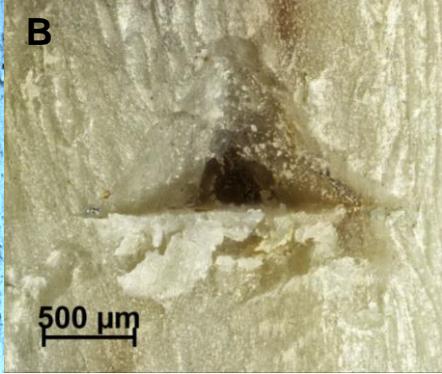
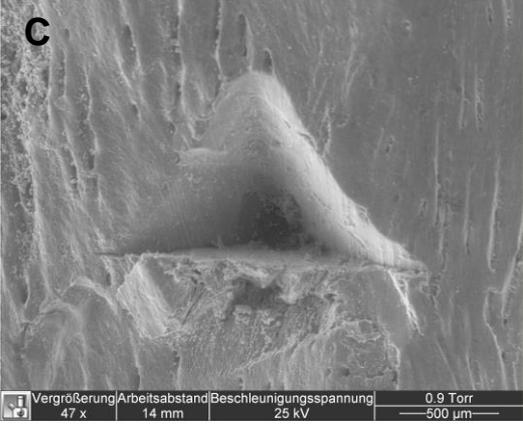
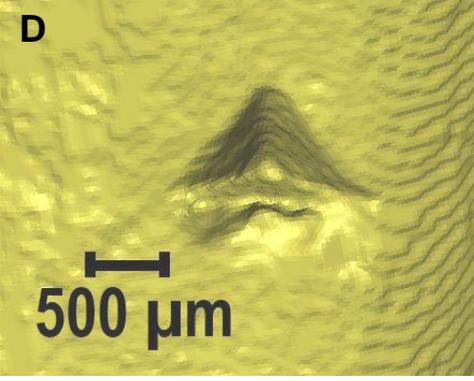
Den frischen Schweineknochen wurden mit verschiedenen Werkzeugen (WZ) Kerbmarken zugefügt und anschließend im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. Um einen Vergleich zu anderen Techniken zu haben, wurden die Knochen auch mittels ESEM (C) und Mikro-CT (D) untersucht (Abb. 27). Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

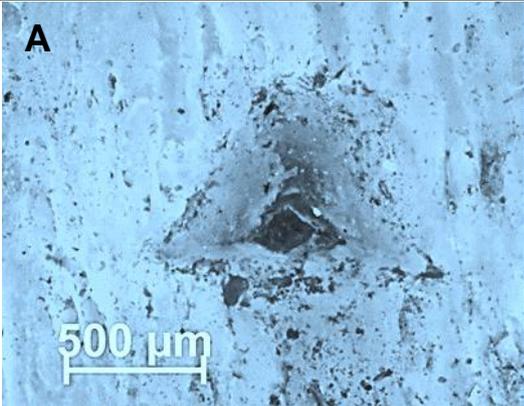
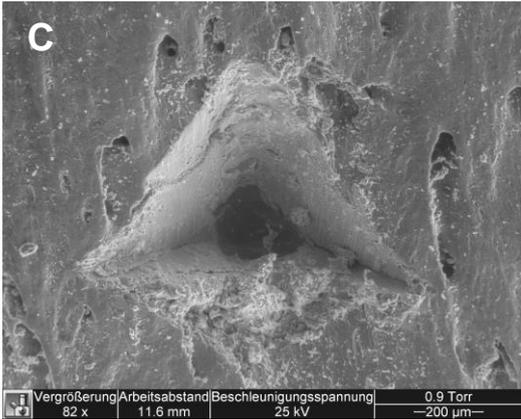
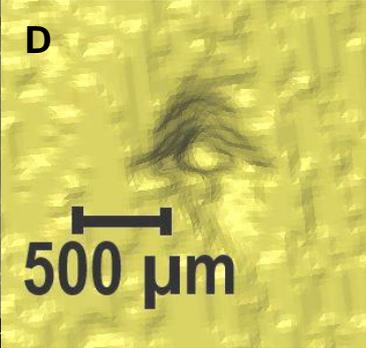
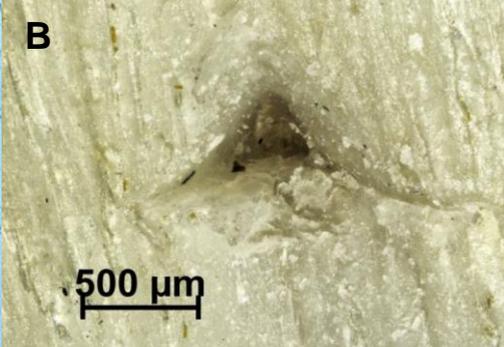
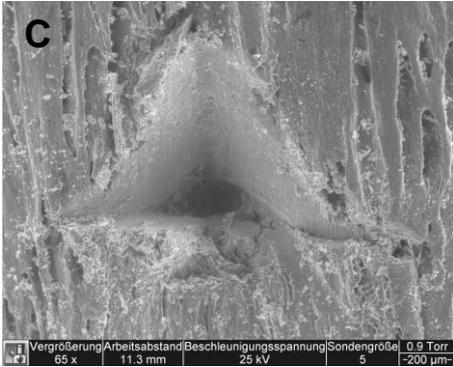
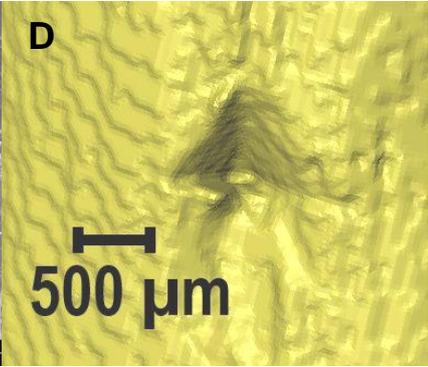
WZ	Kerbmarke	
		
Mehrzweckmesser – Cut 1	<p>A</p> 	<p>B</p> 
<p>C</p> 		<p>D</p> 
<p>Der obere Rand zeigt eine leichte Aufrauung, der untere Rand ist nicht einheitlich verlaufend. Innenseiten und Grund sind glatt.</p>		

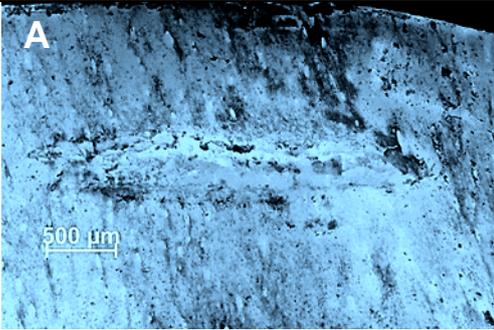
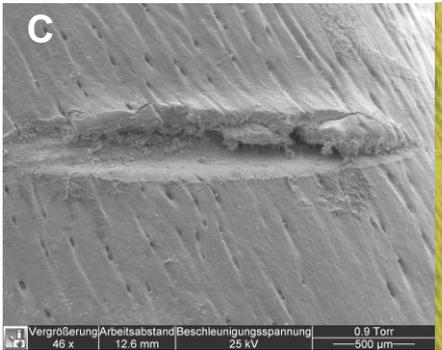
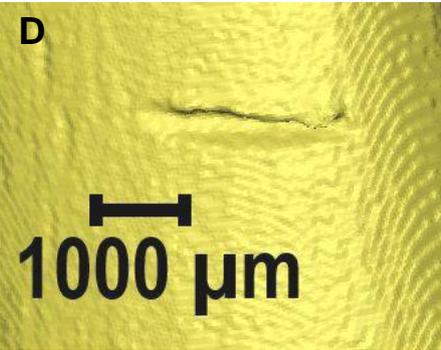
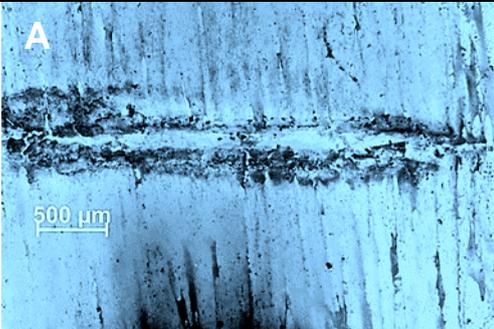
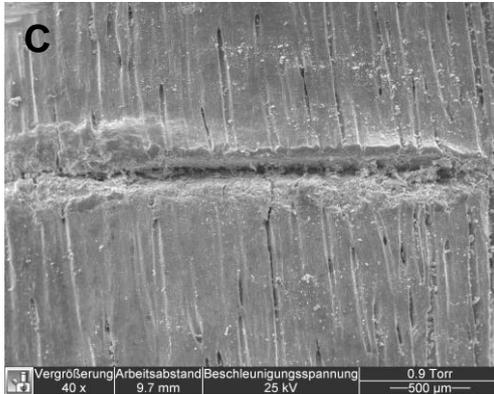
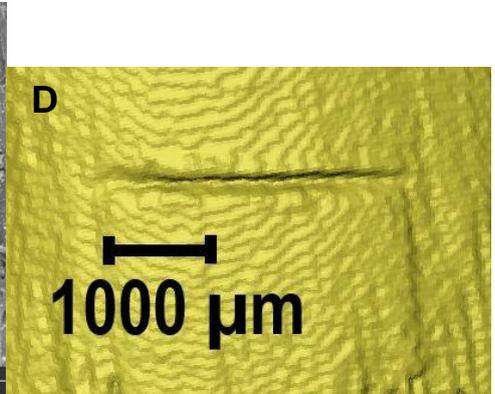
<p>Mehrweckmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Obere und untere Kante geringgradig aufgeraut. Innenseiten und Grund sind glatt.</p>
<p>Mehrweckmesser – Cut 3</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Obere und untere Kante zeigen geschwungenen Verlauf. Innenseiten und Grund sind glatt.</p>

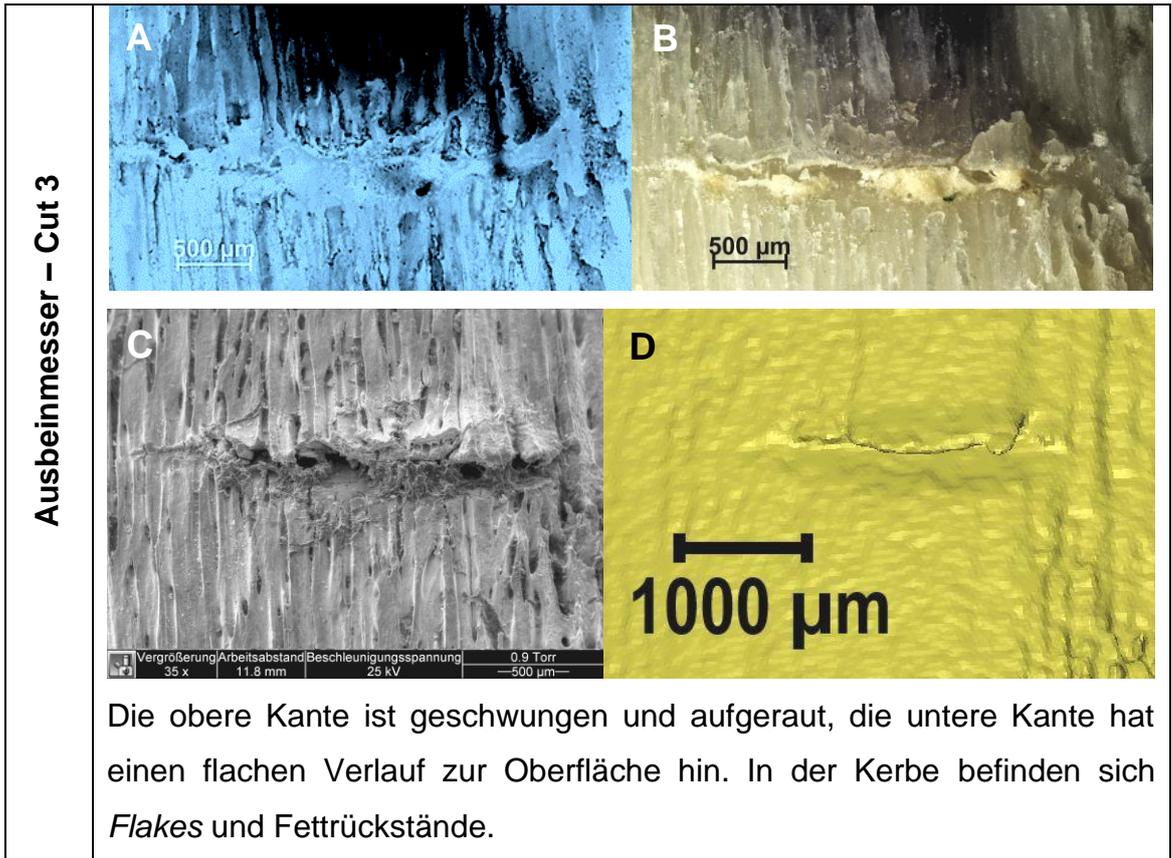
	
<p>Filiermesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Die obere Kante zeigt einen geschwungenen Verlauf, der vom Schliff des Messers herrührt. Die untere Kante ist aufgeraut, ebenso die Innenseiten.</p>

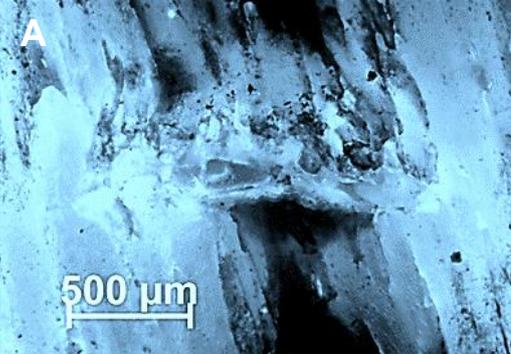
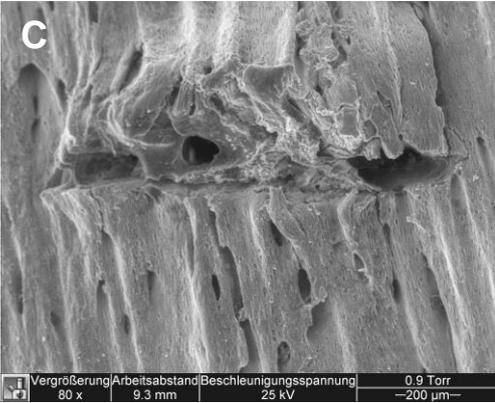
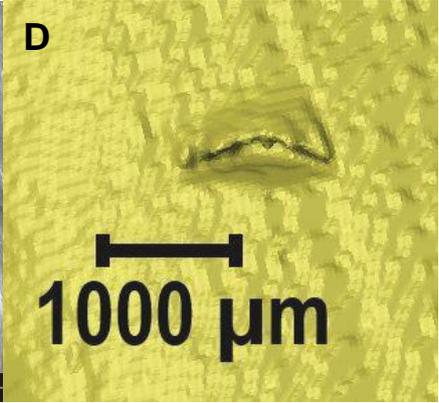
<p>Filirmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>A</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>B</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>C</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>D</p> <p>1000 µm</p> </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;"> Vergrößerung Arbeitsabstand Beschleunigungsspannung 0.9 Torr 47 x 12.2 mm 25 kV 500 µm </p> <p>Die obere Kante hat einen geschwungenen Verlauf. Die untere Kante ist porös, was auf die dortige Struktur des Knochens zurückzuführen sein dürfte. Die Innenseite ist aufgeraut.</p>
<p>Filirmesser – Cut 3</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>A</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>B</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>C</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>D</p> <p>1000 µm</p> </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;"> Vergrößerung Arbeitsabstand Beschleunigungsspannung 0.9 Torr 51 x 11.9 mm 25 kV 500 µm </p> <p>Die obere Kante ist geschwungen, die untere Kante ist porös, die Innenseite ist grob.</p>

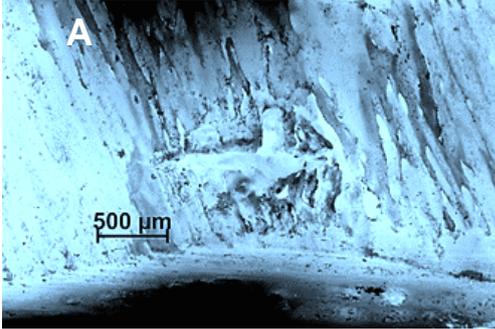
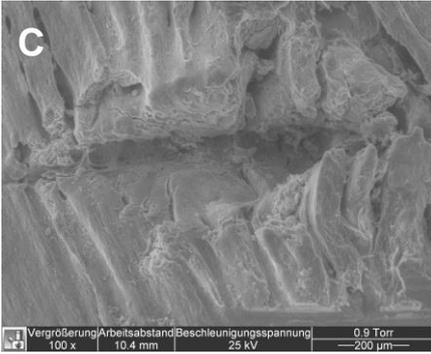
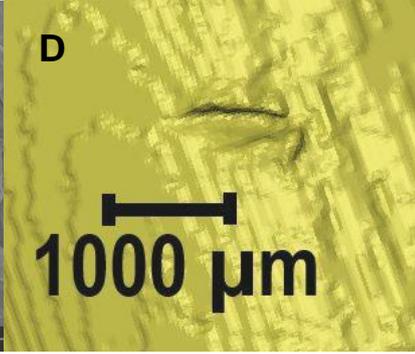
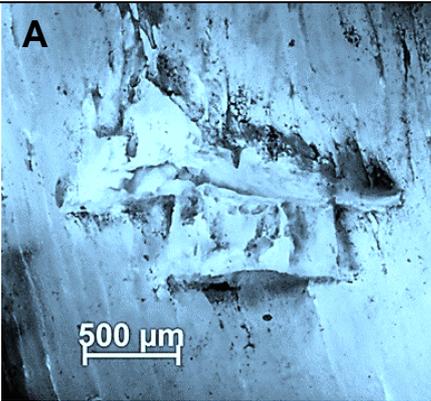
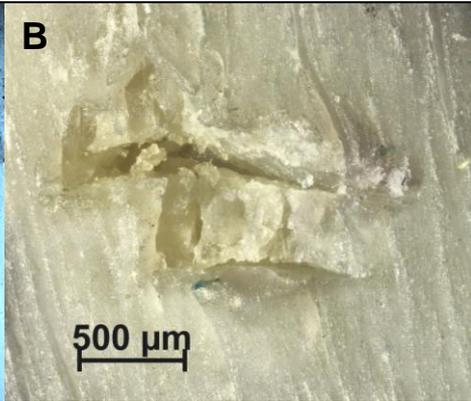
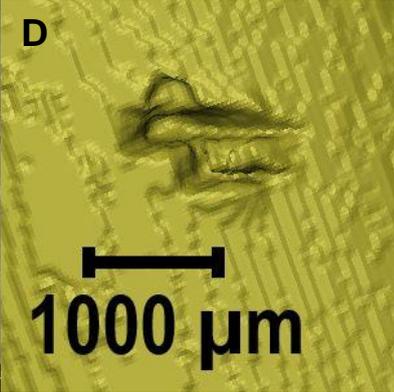
	
<p>Steakmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Dreieckige Form, die auf die Zacken des Messers zurückzuführen ist. Kanten klar abgegrenzt. Vereinzelt <i>Flakes</i>.</p>

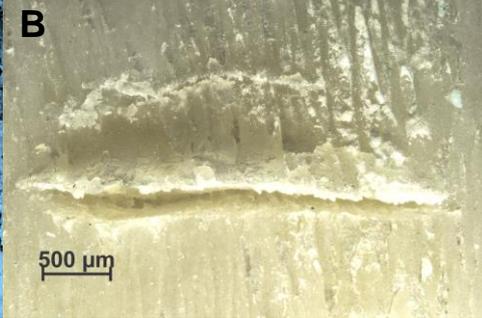
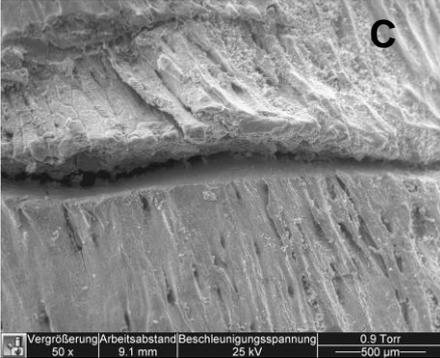
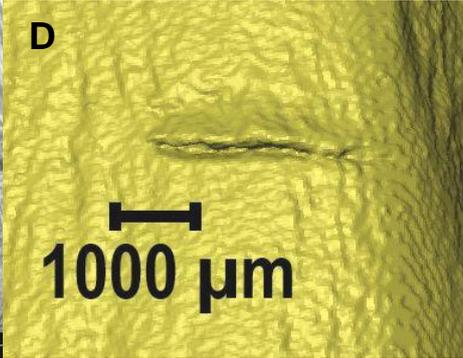
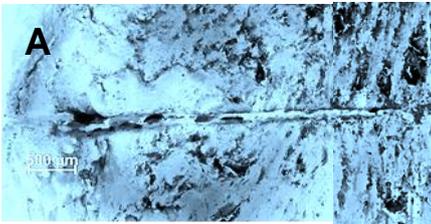
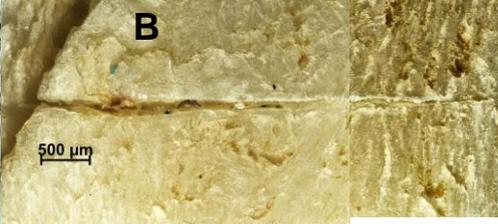
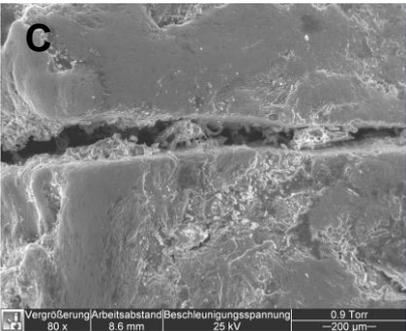
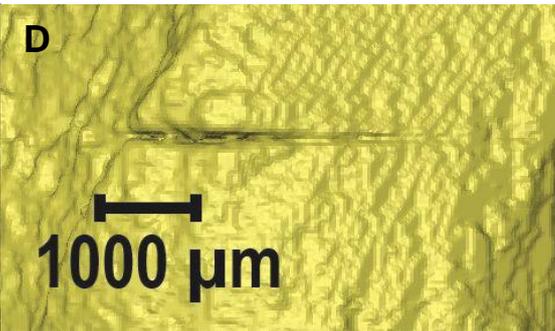
<p>Steakmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <p>Dreieckige Form, Kanten klar abgrenzbar. Vereinzelt <i>Flakes</i>.</p>
<p>Steakmesser – Cut 3</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <p>Dreieckige Form, die Kanten nicht klar abgrenzbar. Die untere Kante weist eine Absplitterung des Knochens auf.</p>

	
<p>Ausbeinmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Die obere Kante ist aufgeraut und hebt sich von der Oberfläche ab. Die untere Kante ist abgeflacht, die Innenseite und der Grund sind glatt.</p>
<p>Ausbeinmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Die obere Kante ist glatt und gut abgrenzbar. Die untere Kante ist aufgeraut und hebt sich von der Oberfläche ab.</p>



	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Brotmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Die obere Kante hebt sich von der Oberfläche ab und hat eine Aufrauung. Die Form der Abhebung dürfte vom Schliff des Messers stammen. Die untere Kante geht flach in die Oberfläche über. In der Kerbe sind Fettreste.</p>

<p>Brotmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <p>Die obere Kante ist aufgeraut und hebt sich von der Oberfläche ab. Die untere Kante geht flach in die Oberfläche über und ist glatt.</p>
<p>Brotmesser – Cut 3</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>D</p> </div> </div> <p>Die obere Kante zeigt eine Knochenabsplitterung, ebenso die untere Kante. Die obere Kante hebt sich leicht von der Oberfläche ab, die untere Kante ist gut abgrenzbar.</p>

	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Konditormesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Die obere Kante ist aufgewölbt und von der Oberfläche abgehoben. Die untere Kante und die Innenseiten sind glatt.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Konditormesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p>Obere und untere Kante glatt und leicht geschwungen. Die Innenseiten sind glatt.</p>

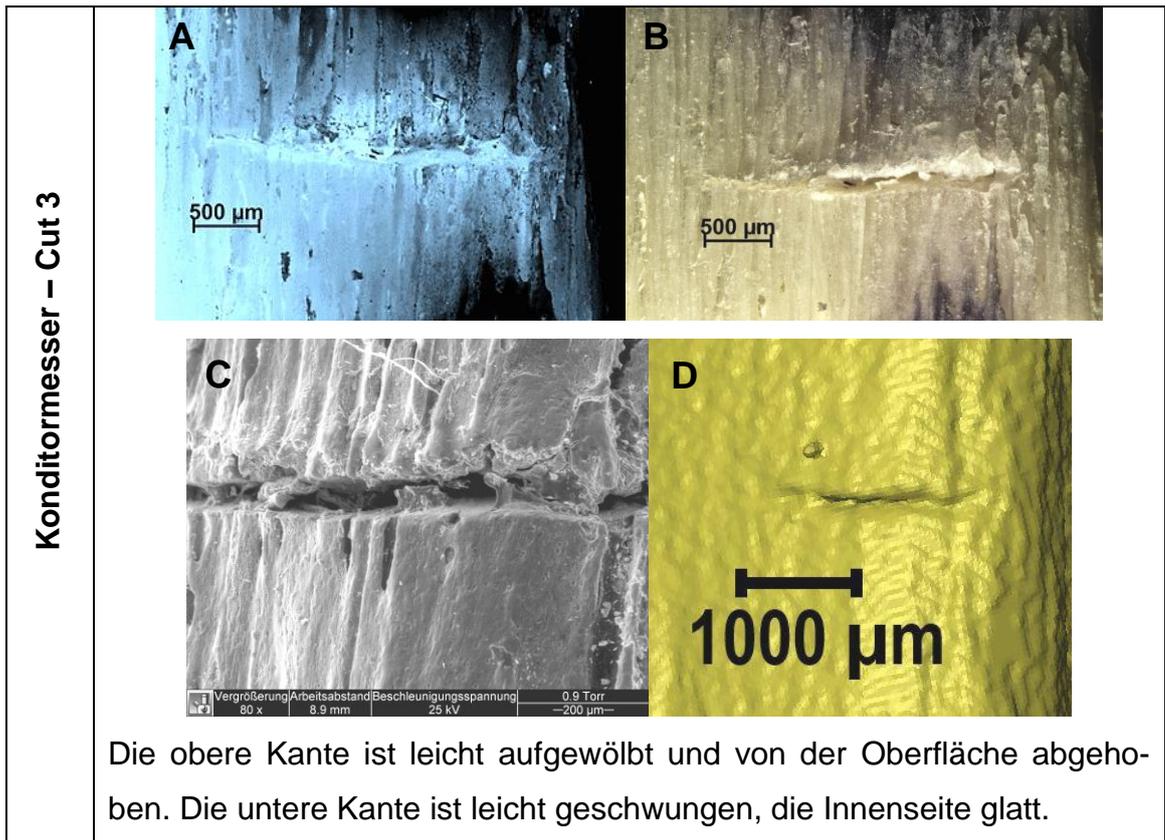
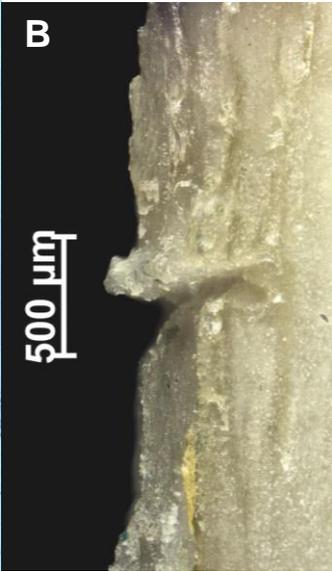
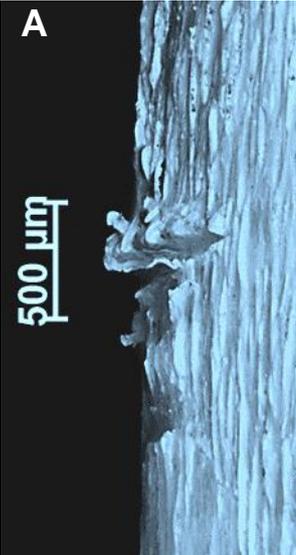
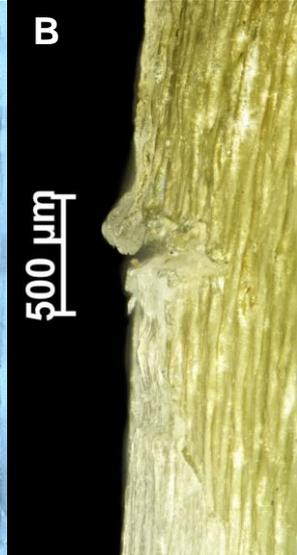


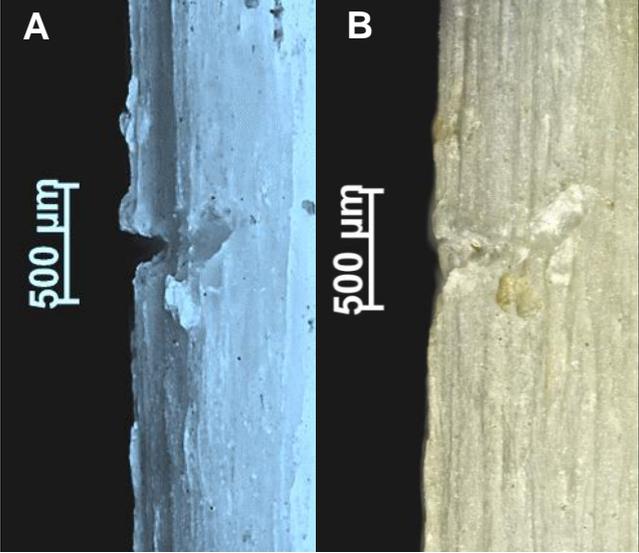
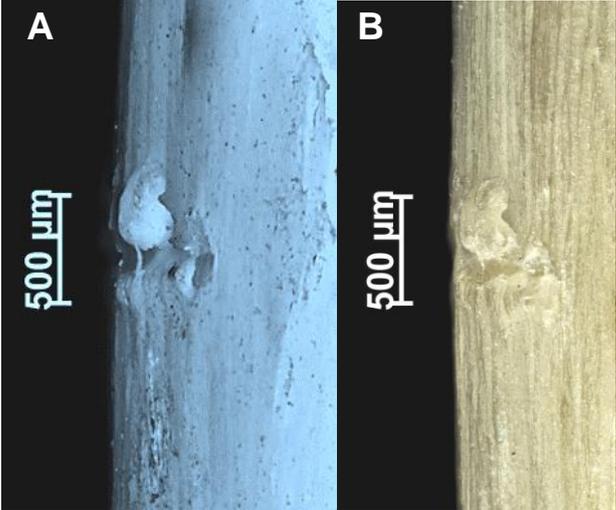
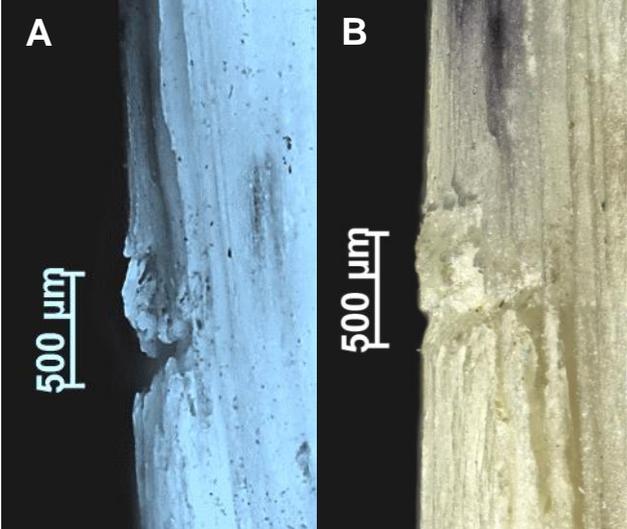
Abb. 27: Verschiedene Aufnahmen der Rippen mit Hack-Marken 1-6.

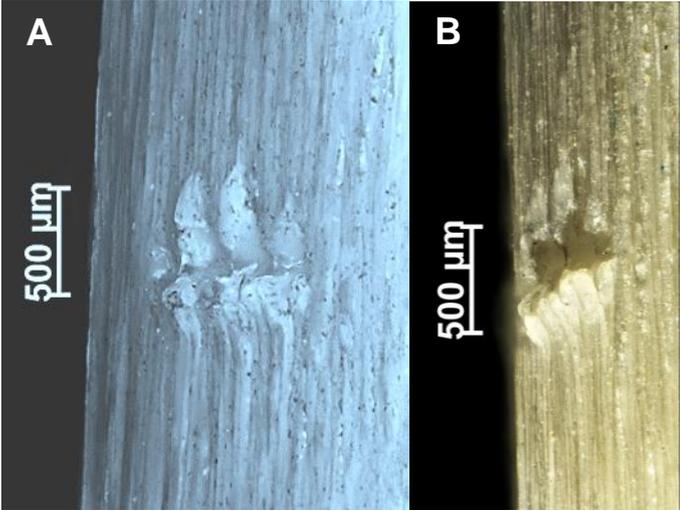
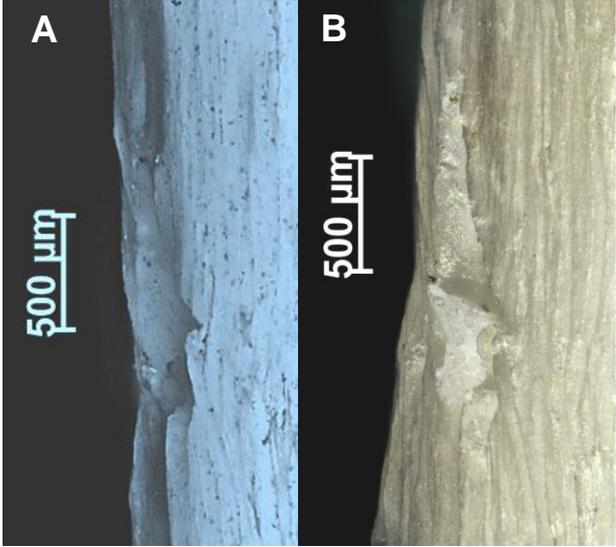
Aufnahme der Hackmarken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie. Die Fluoreszenzbilder werden in Falschfarbe dargestellt.

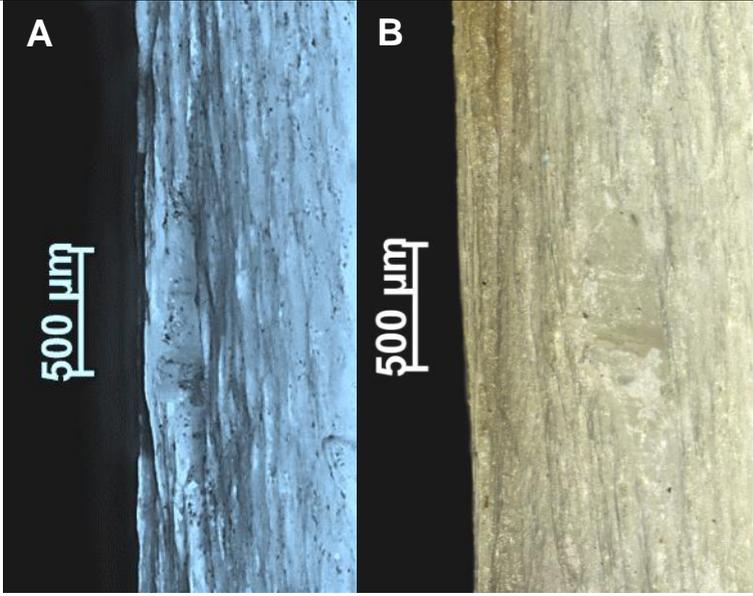
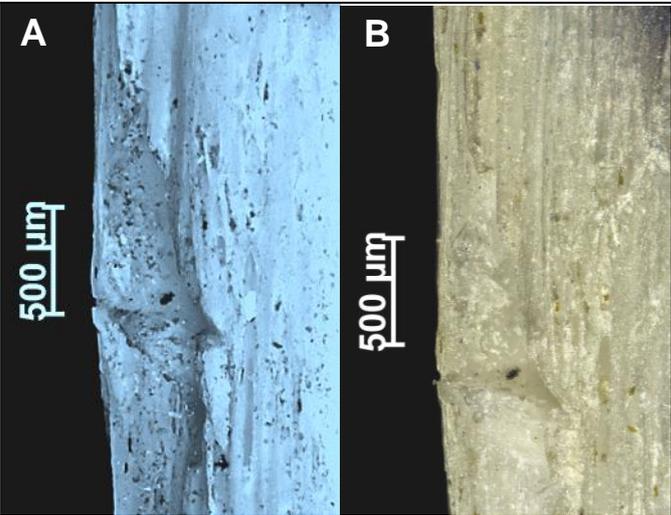
Ergebnisse

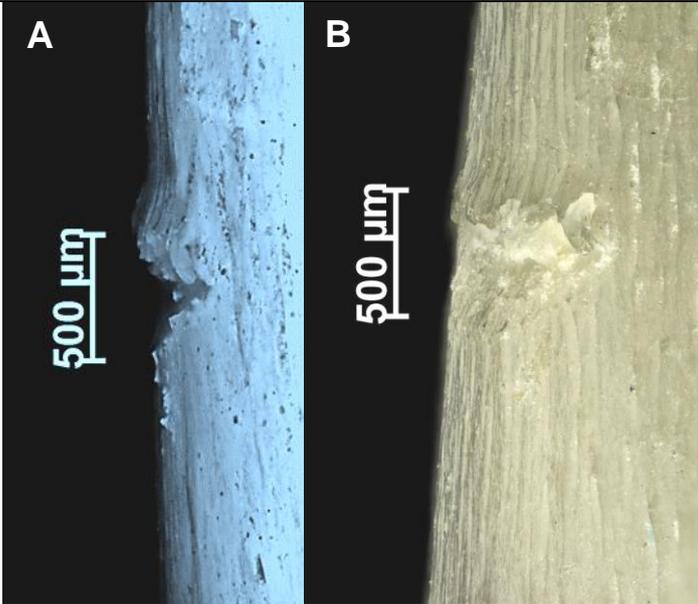
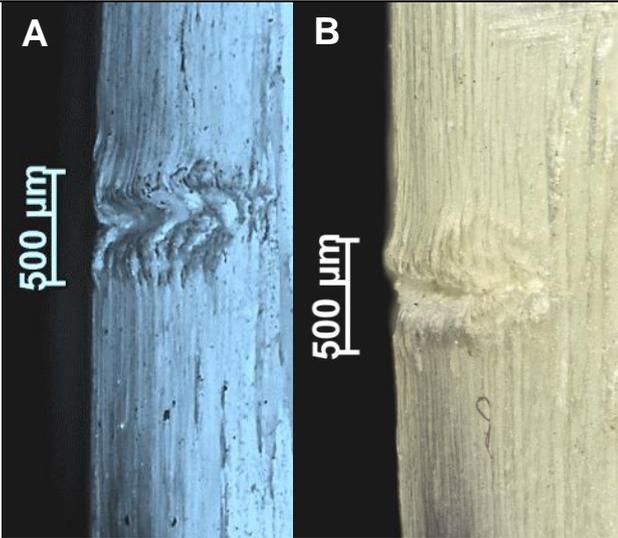
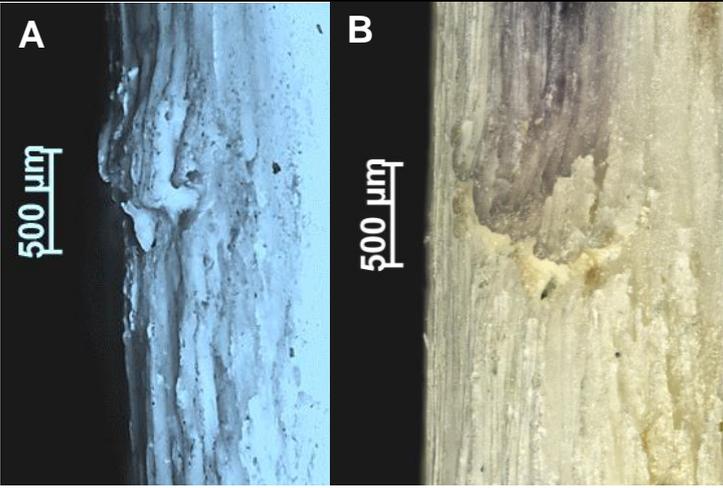
Die Marken wurden in seitlicher Position im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen (Abb. 28). Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

WZ	Kerbmarke	Beschreibung
		
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Mehrzweckmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> </div>	<p>Die Kerbe weist eine U-Form auf. Der obere Rand ist abgehoben, der untere Rand geht flach zur Oberfläche.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Mehrzweckmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> </div>	<p>Der obere Rand hebt sich von der Oberfläche ab, der untere Rand ist gut abgrenzbar. Die Kerbe weist eine V-Form auf.</p>

<p>Mehrzweckmesser – Cut 3</p>		<p>Der obere Rand weist eine leichte Abhebung von der Oberfläche auf. Der Schnitt hat eine V-Form.</p>
		
<p>Filiermesser – Cut 1</p>		<p>Oberer und unterer Rand sind aufgewölbt und heben sich von der Oberfläche ab.</p>
<p>Filiermesser – Cut 2</p>		<p>Der obere Rand ist leicht aufgewölbt. Der untere Rand geht flach in die Oberfläche über.</p>

<p>Filirmesser – Cut 3</p>		<p>Der obere Rand hat eine Wellenform, der untere Rand hebt sich von der Oberfläche ab.</p>
		
<p>Steakmesser – Cut 1</p>		<p>Die Kerbmarke ist in einer Ebene mit der Oberfläche. Es ist ein Loch erkennbar, aber keine Form. Im Fluoreszenzbild sieht man an der Seitenwand Streifen, die vom Messer verursacht wurden.</p>

<p>Steakmesser – Cut 2</p>		<p>Die Kerbmarke befindet sich in einer Ebene mit der Oberfläche. Form ist keine erkennbar.</p>
<p>Steakmesser – Cut 3</p>		<p>Die Kerbmarke befindet sich in einer Ebene mit der Oberfläche. Form ist keine erkennbar.</p>

		
<p>Ausbeinmesser – Cut 1</p>		<p>Die obere Kante hebt sich von der Oberfläche ab. Die untere Kante geht flach in die Oberfläche über. Kerbmarke hat eine V-Form.</p>
<p>Ausbeinmesser – Cut 2</p>		<p>Obere und untere Kante heben sich dezent von der Oberfläche ab. Schnitt hat eine V-Form.</p>
<p>Ausbeinmesser – Cut 3</p>		<p>Obere Kante hebt sich von der Oberfläche ab. Untere Kante geht flach in die Oberfläche über.</p>

		
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Brotmesser – Cut 1</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  <p>500 µm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  <p>500 µm</p> </div> </div>	<p>Die obere Kante hebt sich von der Oberfläche ab. Untere Kante zeigt eine dezentere Aufwölbung, die sich von der Oberfläche abhebt.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Brotmesser – Cut 2</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  <p>500 µm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  <p>500 µm</p> </div> </div>	<p>Oberer und unterer Rand heben sich von der Oberfläche ab.</p>

<p>Brotmesser – Cut 3</p>		<p>Oberer und unterer Rand heben sich leicht von der Oberfläche ab.</p>
<p>Konditormesser – Cut 1</p>		<p>Der obere Rand ist aufgewölbt und hebt sich von der Oberfläche ab. Der untere Rand ist gut abgrenzbar.</p>
<p>Konditormesser – Cut 2</p>		<p>Der obere Rand hebt sich dezent von der Oberfläche ab. Der untere Rand gut abgrenzbar.</p>

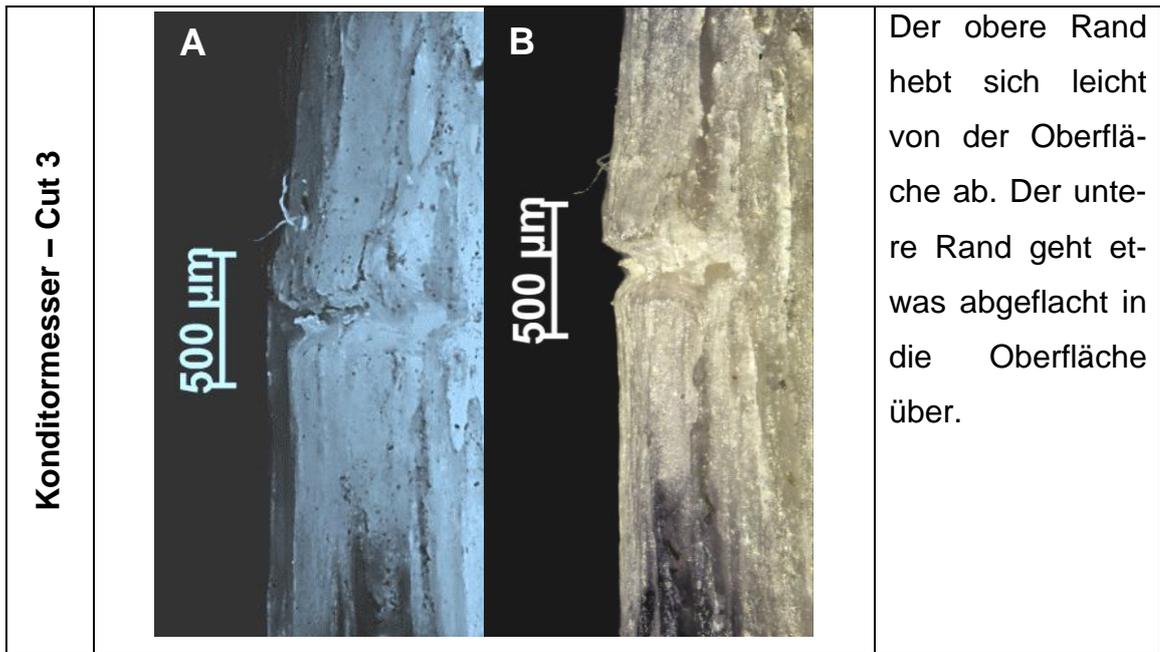


Abb. 28: Licht und Fluoreszenzmikroskopie der Rippen von der Seite mit Hackmarken 1-6.
 Aufnahme der Cutmarken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie von der Seite. Die Fluoreszenzbilder werden in Falschfarbe dargestellt.

4.2.2.1 Beschreibung der Hackmarken

Mittels spezieller Software wurden die Hackmarken, welche mit Fluoreszenz und Mikro-CT aufgenommen wurden, vermessen. Tab. 8 zeigt die Mittelwerte der Parameter. Mit dem anschließenden Scheffé-Test (Tab. 9) konnte dargestellt werden, wo die Unterschiede zwischen den Gruppen sind. Dabei musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden.

Tab. 8: Werte der Messparameter der Hackmarken.
Mittelwerte der Messparameter der Hackmarken der jeweiligen Werkzeuge

Kerbmarke	Mges Fluor [µm]	HHS Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
Mehrzweckmesser	195,98	209,31	86,92	75,84	281,47
Filiermesser	160,82	456,02	103,61	101,57	286,21
Steakmesser	467,09	861,86	63,91	105,68	609,13
Ausbeinmesser	315,36	355,64	56,72	99,48	374,41
Brotmesser	243,62	397,32	57,32	101,43	366,50
Konditormesser	150,89	244,18	32,93	72,11	254,00

Tab. 9: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.

Für den Unterschied zwischen den Hackmarken der Werkzeuge musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden. Die erhöhten Fs-Werte sind rot unterlegt.

Werkzeug	Werkzeug	Mges Fluor [Fs]	HKP Fluor [Fs]	KMW μ-CT [Fs]	HTS μ-CT [Fs]	HHS μ-CT [Fs]
1	2	0,38	4,13	5,02	5,24	2,39
1	3	22,62	28,89	7,15	5,29	17,52
1	4	4,39	1,45	12,32	3,32	1,41
1	5	0,70	2,40	11,84	3,89	1,18
1	6	0,63	0,08	39,38	0,08	0,12
2	3	28,87	11,18	28,40	0,13	10,81
2	4	7,35	0,68	39,62	0,03	0,03
2	5	2,11	0,23	38,61	1,50e-04	0,08
2	6	0,03	3,04	90,00	6,87	3,80
3	4	7,09	17,39	0,70	0,23	8,99
3	5	15,37	14,64	0,59	0,11	9,61
3	6	30,77	25,89	12,97	6,70	20,59
4	5	1,58	0,12	4,58e-03	0,02	0,01
4	6	8,33	0,84	7,64	4,45	2,37
5	6	2,65	1,59	8,03	5,11	2,07

Fluoreszenz

Bei den Mges wies das Werkzeug 3 die größte Spannweite auf, das Werkzeug 4 die kleinste. Bei der seitlichen Aufnahme wiesen die Werkzeuge 2 und 5 die größte Spannweite zwischen den Werten auf, Werkzeug 6 die kleinste.

Die Werte der Hackmarken wiesen laut Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$). Werkzeug 4 zeigt einen Ausreißer im unteren Bereich. Bei Werkzeug 3 ist die Spannweite zwischen den Werten am größten. Die Varianzanalyse ergab eine Prüfgröße F von 2,52 und einen p-Wert von 0,03 (Abb. 29). Der Scheffé-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werten der Werkzeuge. Die Werte der HKP wiesen laut Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse ergab eine Prüfgröße F von 7,50 und einen p-Wert von $2,09e-03$.

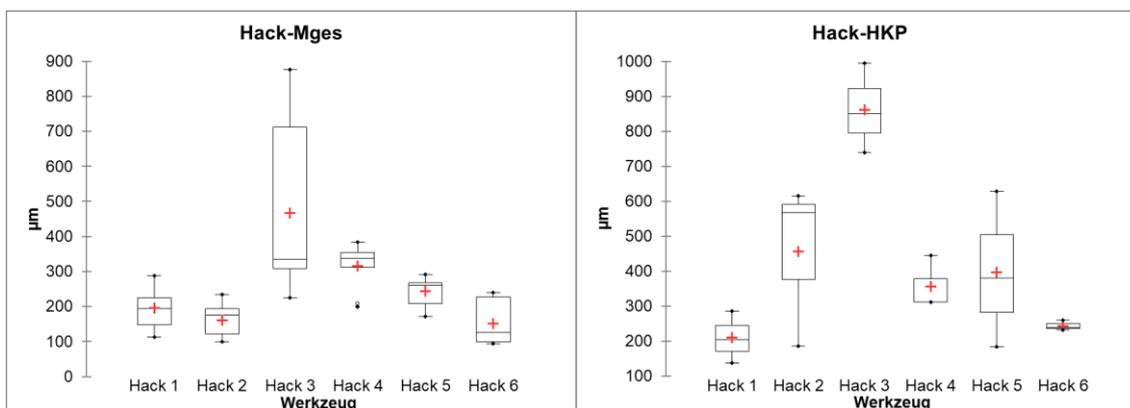


Abb. 29: Werte der Hackmarken Mges und HKP.

Die Werte der jeweiligen Hackmarken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Der Stern markiert einen Ausreißer. Die Boxplots bei Mges weisen bei Hack 3 die größte Spannweite bei den Werten aus, bei HKP ist die größte Differenz zwischen größtem und kleinstem Wert bei den Werkzeugen 2 und 5 zu finden.

Laut Scheffé-Test gab es bei der HHS signifikante Unterschiede zwischen Hack 1 – Hack 3, Hack 3 – Hack 4 und Hack 3 – Hack 6. Bei Mges gab es Unterschiede zwischen Hack 1 – Hack 3, Hack 2 – Hack 3, Hack 3 – Hack 5 und Hack 3 – Hack 6. Hack 3 wies bei Mges und HHS die meisten signifikanten Unterschiede zu anderen Werkzeugen auf.

Mikro-CT

Aufgrund der Glättungsfunktion des Programms Amira gehen feine Strukturen/Merkmale verloren.

Die Werte der Hackmarken HTS und HHS wiesen laut Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$), die Daten des KMW wiesen eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). Die Varianzanalyse zeigte Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Parameter KMW, HTS und HHS (KMW: $F 23,03$, $p 1,42e-12$; HTS: $F 2,72$, $p 0,03$; HHS: $F 5,12$, $p 6,05e-04$).

Bei der grafischen Darstellung mittels Boxplots zeigten sich beim Vergleich der Marken teils erhebliche Unterschiede (Abb. 30). Die Sterne markieren Ausreißer.

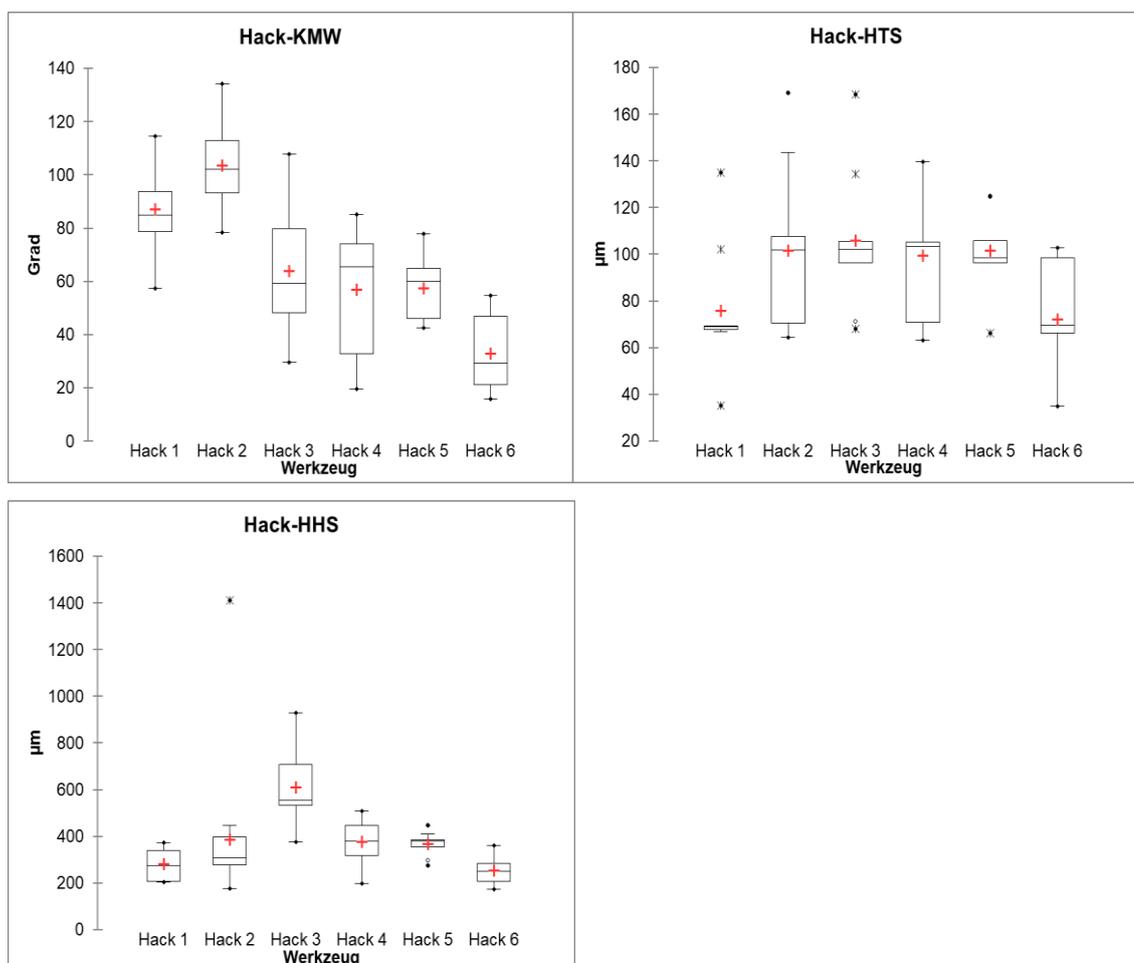


Abb. 30: Boxplots der Werte der KMW, HTS und HHS.

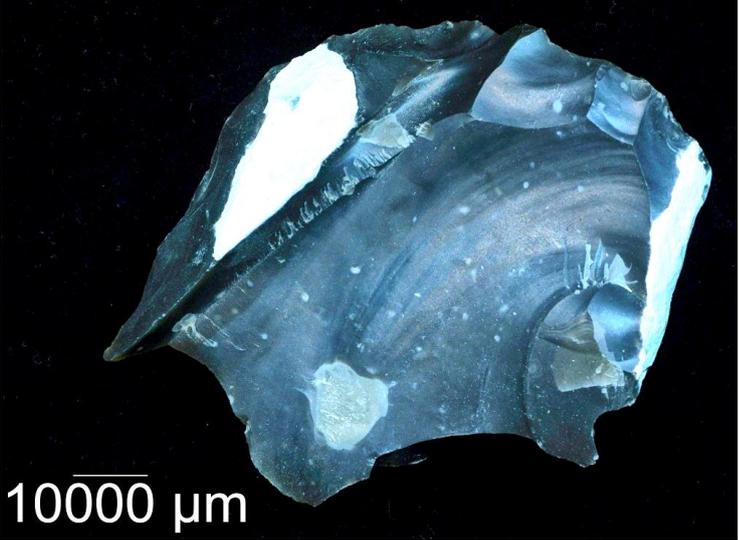
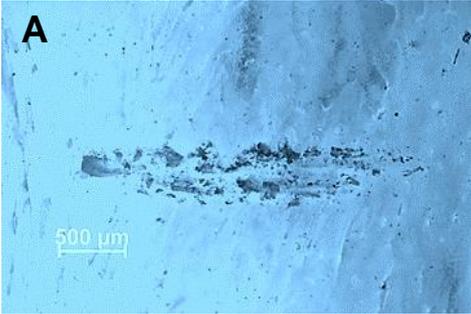
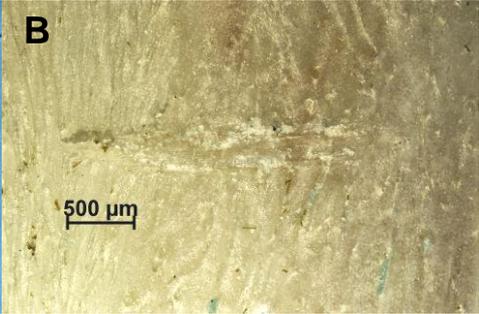
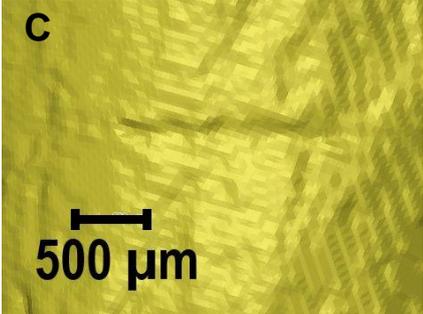
Die Werte der jeweiligen Hackmarken gesamt wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Die Sterne markieren Ausreißer, die größte Spannweite beim KMW hat Hack 3, den kleinsten Hack 5. Bei HTS hat Hack 2 die größte und Hack 1 die kleinste Spannweite. HTS weist die meisten Ausreißer auf. Bei HHS hat Hack 3 die größte und Hack 5 die kleinste Spannweite.

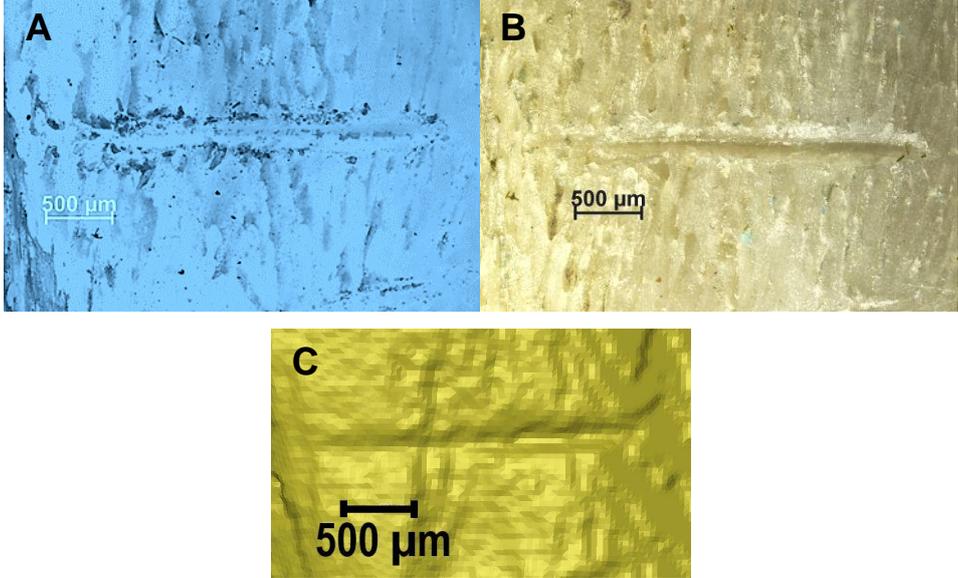
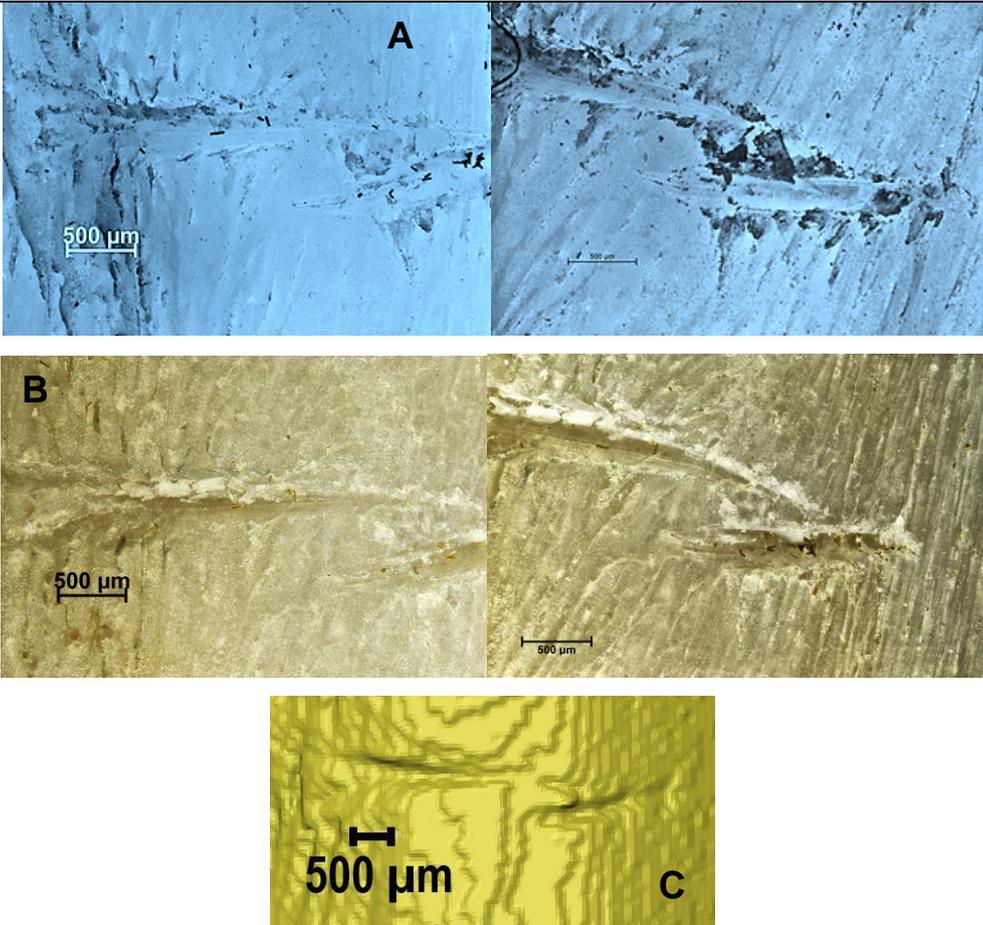
Beim KMW hat die größte Spannweite Hack 1, den kleinsten Hack 6. Bei HTS zeigt Hack 2 die größte und Hack 3 die kleinste Spannweite. Bei HHS hat Hack 4 die größte und Hack 5 die kleinste Spannweite. Hack 2 zeigt einen Ausreisser, der durch den Wellenschliff des Messers erklärt werden kann. Die Hackmarken zeigen einen geschwungenen Verlauf.

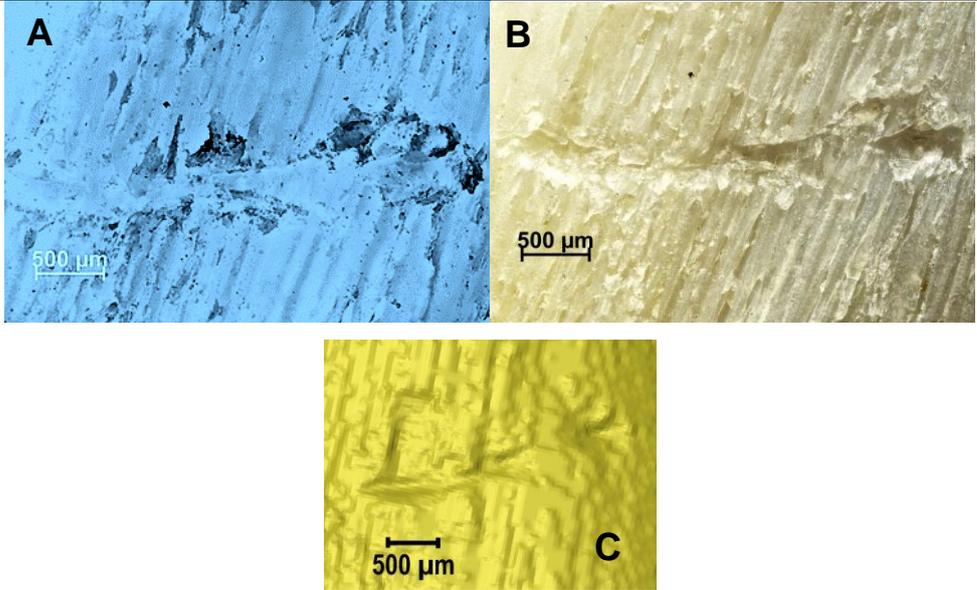
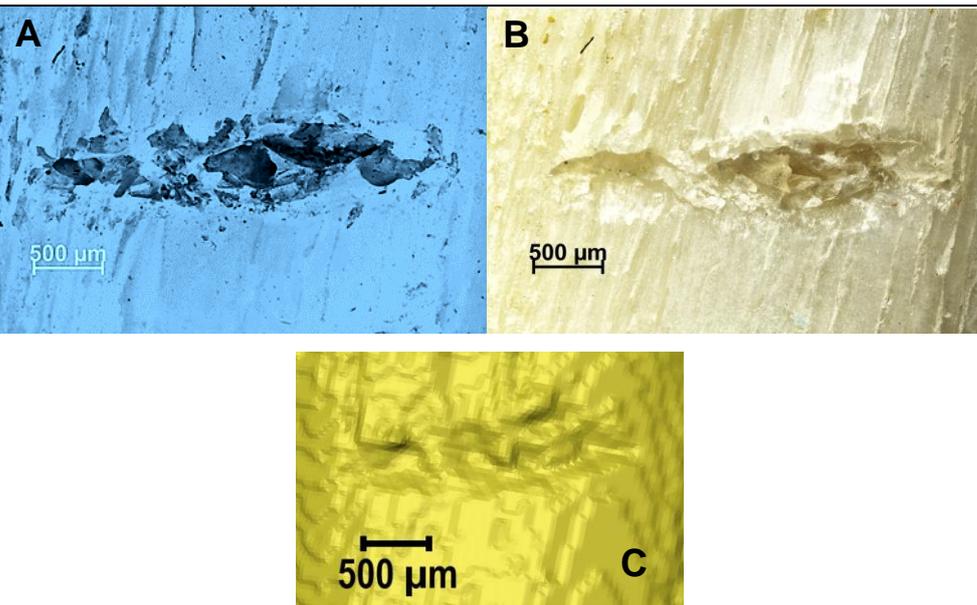
Laut Scheffé-Test fanden sich beim KMW die meisten signifikanten Unterschiede bei Werkzeug 2 (4 Unterschiede) und 1 (2 Unterschiede). Bei HTS und HHS gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werkzeugen. Obwohl die Varianzanalyse bei HTS Unterschiede angezeigt hatte, waren statistisch keine eruierbar. Die Prüfgröße F war nur minimal über dem kritischen F-Wert.

4.2.2.2 Silexmarken an frischen Schweineknochen

Den frischen Schweineknochen wurden mit verschiedenen Werkzeugen (WZ) Kerbmarken zugefügt und anschließend im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. Um einen Vergleich zu anderen Techniken zu haben, wurden die Knochen auch mittels und Mikro-CT (C) untersucht (Abb. 31). Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

Silex	Marken
	 <p>10000 µm</p>
Cut 1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="464 1305 935 1619"> <p>A</p>  <p>500 µm</p> </div> <div data-bbox="935 1305 1414 1619"> <p>B</p>  <p>500 µm</p> </div> </div> <div data-bbox="727 1637 1150 1951" style="text-align: center;"> <p>C</p>  <p>500 µm</p> </div> <p>Die Ränder sind aufgeraut, der Schnitt weist eine Kurve auf. Die Ränder und der Grund sind rau.</p>

<p>Cut 2</p>	 <p>Die Ränder sind ein wenig aufgeborsten, die Innenseiten und der Grund sind glatt.</p>
<p>Cut 3</p>	 <p>Die Ränder sind zur Knochenoberfläche hingedrückt, die Innenseiten und der Grund sind glatt.</p>

<p>Hack 1</p>	 <p>Der Schnitt weist eine Wölbung auf, die Furche geht nicht einheitlich durch. Die Ränder sind geborsten.</p>
<p>Hack 2</p>	 <p>Die Marke ist an einer Stelle breiter, der obere Rand zur Oberfläche hingedrückt. In der Fluoreszenz sind Reste des Silex zu erkennen (schwarze Stellen).</p>

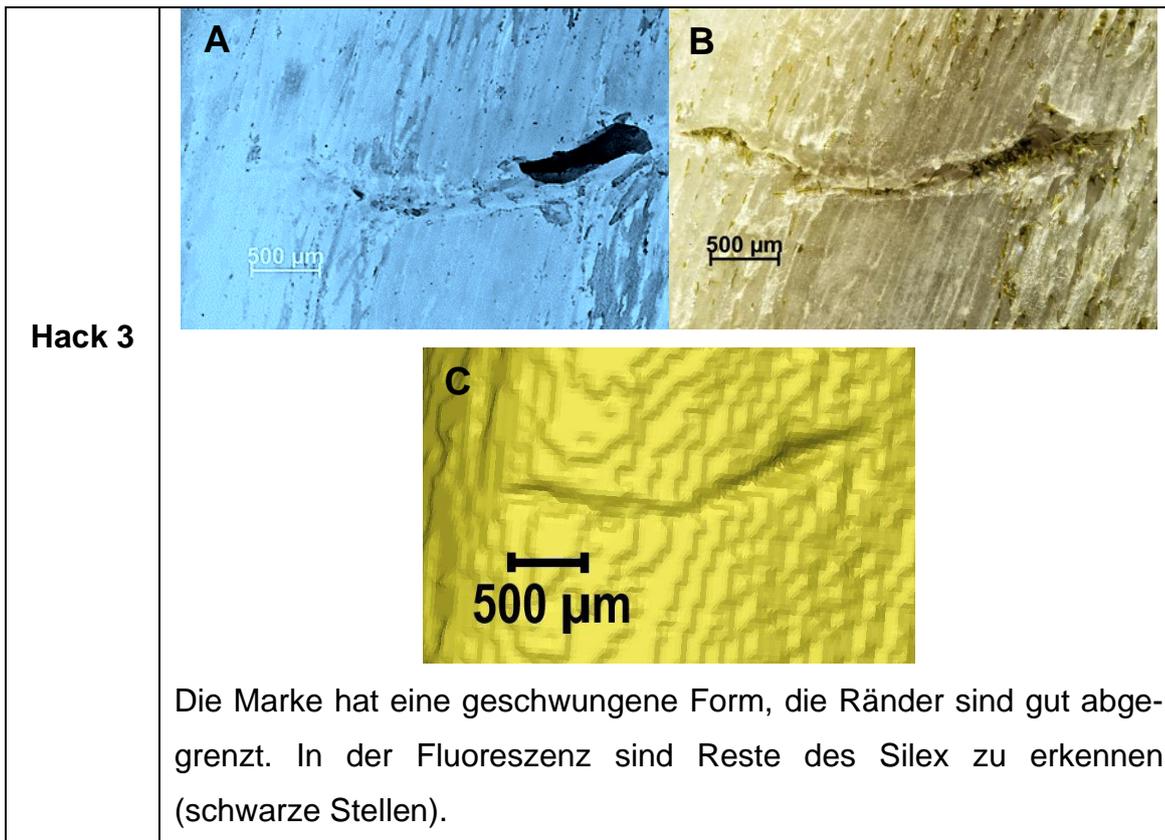


Abb. 31: Aufnahmen mittels Licht-, Fluoreszenzmikroskopie und Mikro-CT der Rippen mit Silex-Marken.

Aufnahme der Silex-Marken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie. Die Fluoreszenzbilder werden in Falschfarbe dargestellt.

Aufgrund der *Smoothing*-Funktion gehen beim Mikro-CT Details verloren. Bei Vergrößerung der Bilder des Mikro-CT kommt man in die leere Vergrößerung. Die Bilder erscheinen unscharf.

4.2.3 Beschreibung der Silexmarken

Mittels spezieller Software wurden die Silexmarken, welche mit Fluoreszenz und Mikro-CT aufgenommen wurden, vermessen. Tab. 10 zeigt die Mittelwerte der Parameter. Mit dem anschließenden Scheffé-Test (Tab. 11) konnte dargestellt werden, wo die Unterschiede zwischen den Gruppen sind. Dabei musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden.

Tab. 10: Werte der Silexmarken.

Mittelwerte der Messparameter der Silexmarken der jeweiligen Werkzeuge

Silex	Mges Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
Cut 1	250,00	87,45	66,86	278,77
Cut 2	246,83	89,31	100,31	286,10
Cut 3	232,77	87,48	181,36	278,88
Hack 1	473,11	84,36	92,50	214,87
Hack 2	552,69	106,37	142,22	434,39
Hack 3	424,35	53,51	72,41	263,48

Tab. 11: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.

Für den Unterschied zwischen den Silexmarken der Werkzeuge musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden. Die erhöhten Fs-Werte sind rot unterlegt.

Marke	Marke	KMW Cut µ-CT [Fs]	KMW Hack µ-CT [Fs]	HTS Cut µ-CT [Fs]	HTS Hack µ-CT [Fs]	HHS Cut Fluor [Fs]	HHS Cut µ-CT [Fs]	HHS Hack Fluor [Fs]	HHS Hack µ-CT [Fs]
Silex 1	Silex 2	0,08	3,47	0,31	7,25	0,01	0,01	0,31	12,51
Silex 1	Silex 3	1,29e-05	6,81	3,60	1,18	0,36	2,03e-06	0,11	0,61
Silex 2	Silex 3	0,08	20,00	1,80	14,30	0,24	0,01	0,80	7,59

Die Auswertung des Scheffé-Tests hat ergeben, daß es bei Sillex Cut keinerlei signifikante Unterschiede gab. Bei Sillex Hack konnten zwischen Cut 1 und 2 bei HHS ein und zwischen Cut 2 und Cut 3 jeweils ein signifikanter Unterschied beim KMW und bei HTS beobachtet werden.

Fluoreszenz

Die Werte der Sillex Cut- und Hackmarken wiesen laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen (Cut: $F 0,20$, $p 0,82$; Hack: $F 0,41$, $p 0,68$).

Bei Sillex Cut hatte Cut 2 die größte Spannweite und Cut 3 die geringste. Bei Sillex Hack hatte die größte Spannweite Hack 1 und die geringste Hack 3. Die Boxplots zeigen, dass die Maße zwischen den einzelnen Kerbmarken stark variieren können.

Die Daten wurden mittels Boxplots dargestellt (Abb. 32).

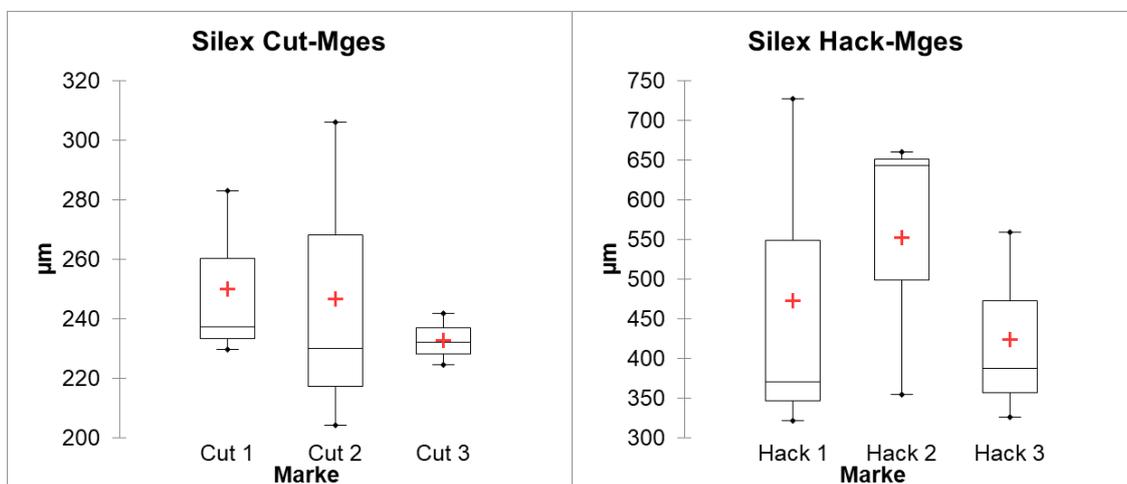


Abb. 32: Boxplots der Werte Mges und HKP von Sillex Cut und Sillex Hack.

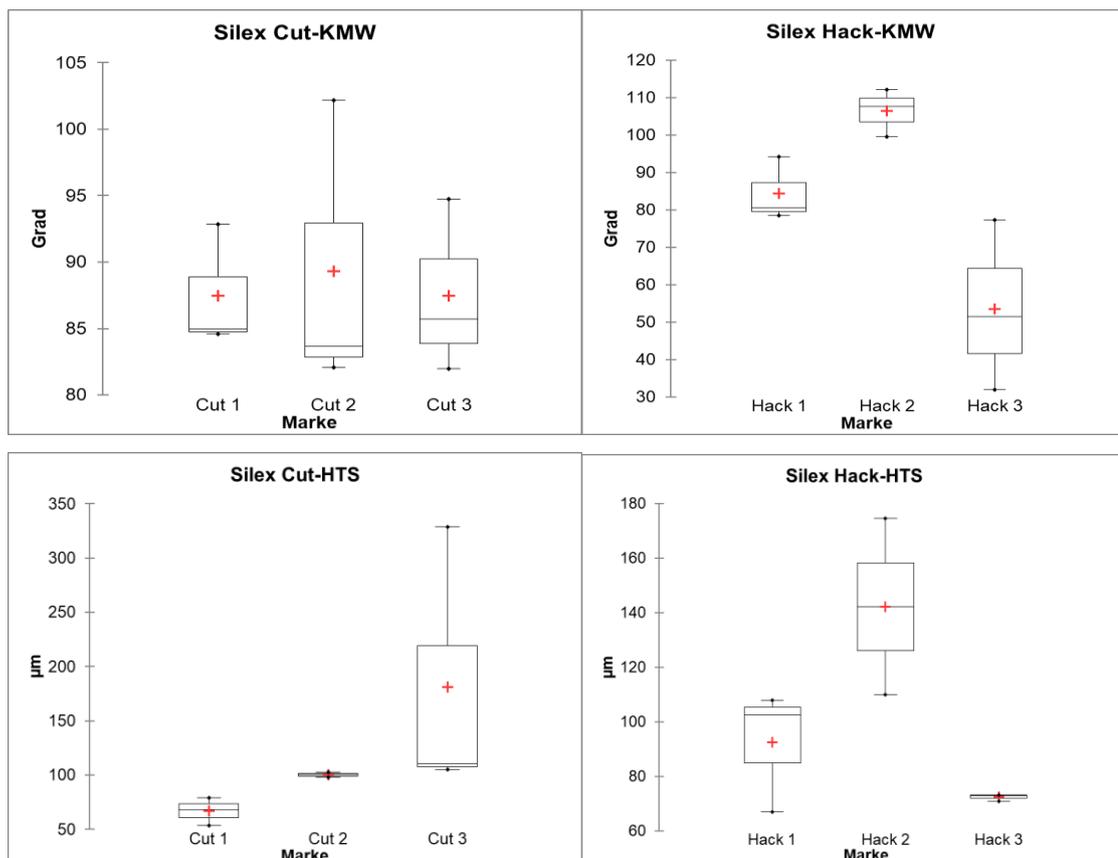
Die Werte der jeweiligen Cut- und Hackmarks wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Die größte Spannweite bei Sillex Cut zeigt Cut 2 und bei Sillex Hack zeigt Hack 1 die größte Spannweite.

Mikro-CT

Die Werte von Silex Cut wiesen bei HHS laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten auf ($F 0,01, p 9,94e-01$). KMW und HTS zeigten keine Normalverteilung ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppe KMW ($F 0,05, p 9,48e-01$) und HTS ($F 1,90, p 2,29e-01$) auf.

Die Werte von Silex Hack wiesen bei KMW, HTS und HHS laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte Unterschiede zwischen den Werten der 3 Parameter auf (KMW: $F 10,09, p 1,20e-02$; HTS: $F 7,58, p 2,28e-02$; HHS $F 6,90, p 2,78e-02$)

Die Daten wurden mittels Boxplots dargestellt (Abb. 33).



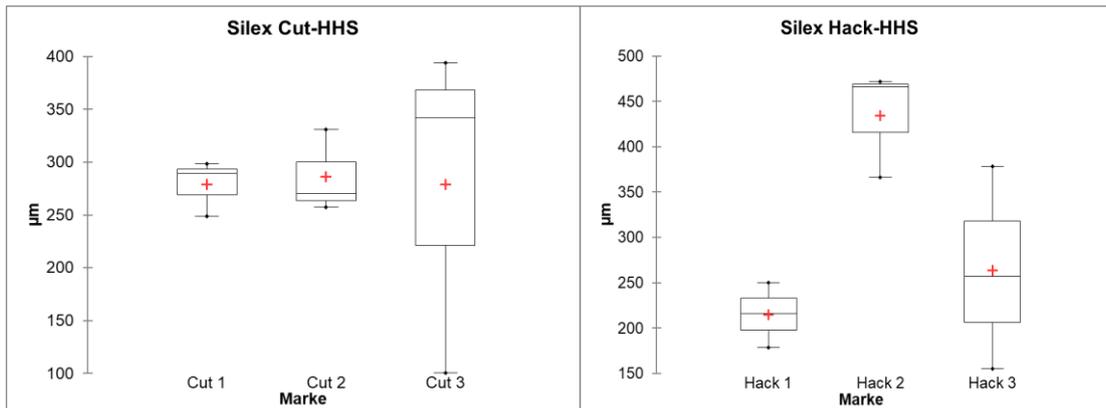


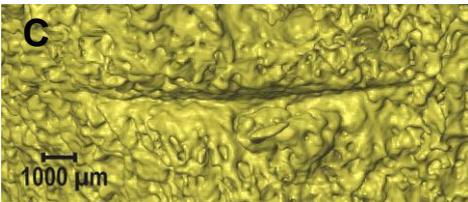
Abb. 33: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS von Silex Cut und Silex Hack.

Die Werte der jeweiligen Cut- und Hackmarken wurden zusammengefasst und mittels Boxplots dargestellt. Die größte Spannweite bei Silex Cut KMW zeigt Cut 2, bei Silex Hack KMW hat die größte Spanne Hack 3. Bei Silex Cut hat die größte Spannweite Cut 3 und bei Hack HTS hat die größte Spannweite Cut 2, bei Silex Cut und Hack HHS hat die größte Spannweite Cut 3.

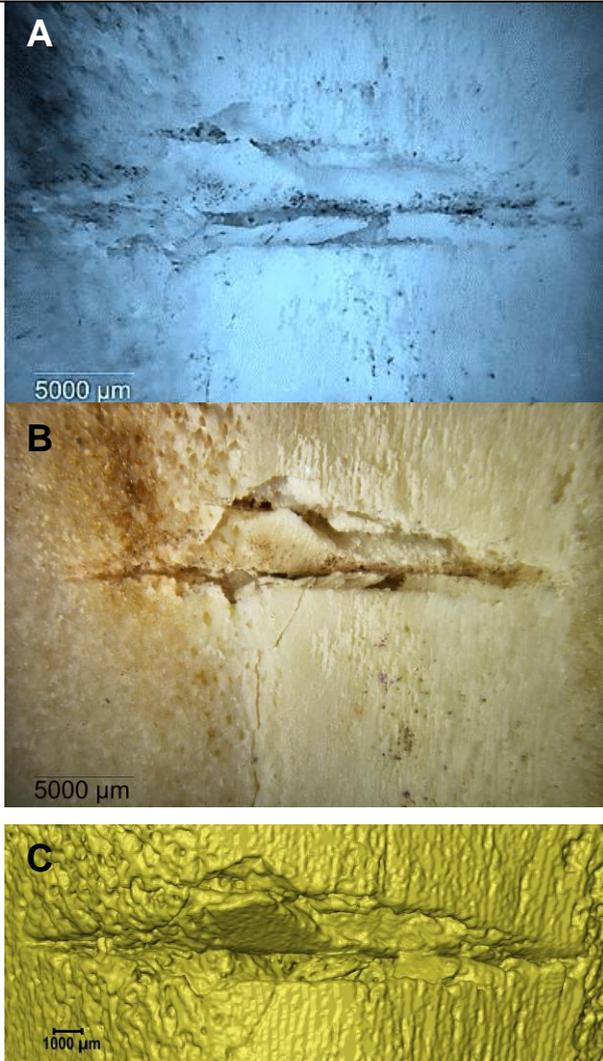
Beim KMW von Silex Cut hatte die größte Spannweite Cut 2, bei Silex Hack hatte die größte Spanne Hack 3. Bei Silex Cut hat die größte Spannweite Cut 3 und bei Hack HTS hat die größte Spannweite Cut 2, bei Silex Cut und Hack HHS hat die größte Spannweite Cut 3.

4.3 Zerstückelung von frischen Schweineknochen

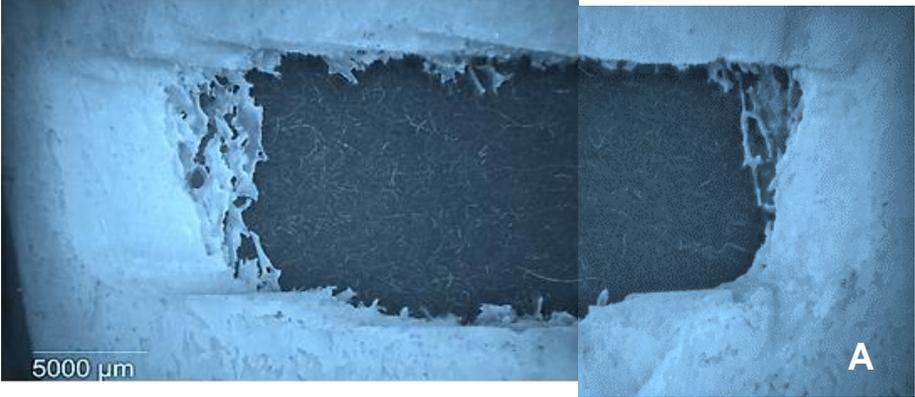
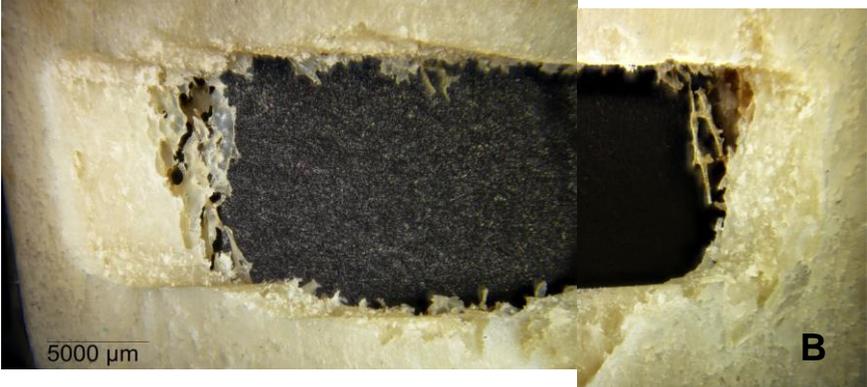
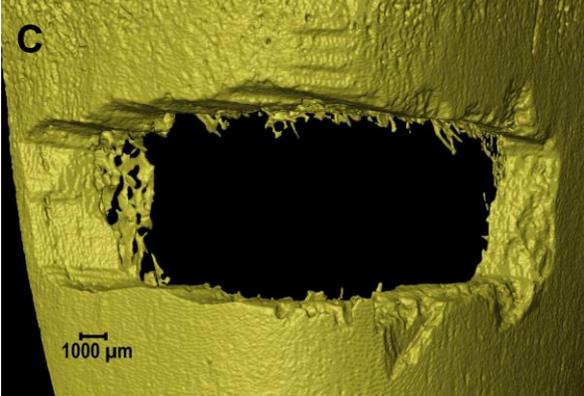
Den frischen Schweineknochen wurden mit verschiedenen Werkzeugen (WZ) Kerbmarken zugefügt und anschließend im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. Um einen Vergleich zu anderen Techniken zu haben, wurden die Knochen auch mittels Mikro-CT (C) untersucht (Abb. 34). Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

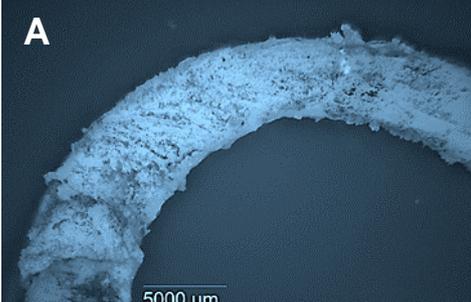
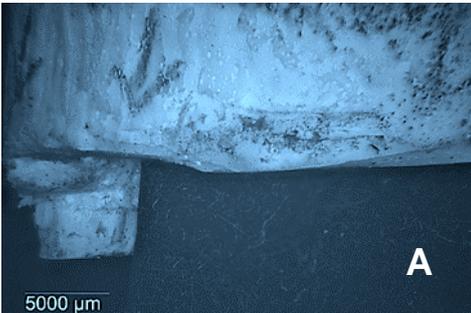
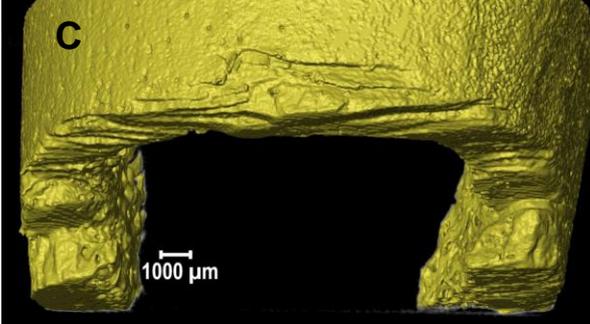
WZ	Marken	
		
Axt – Cut 1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="427 1144 895 1458"> <p>A</p>  </div> <div data-bbox="895 1144 1369 1458">  <p>B</p> </div> </div> <div data-bbox="427 1473 895 1675"> <p>C</p>  <p>1000 µm</p> </div> <p data-bbox="427 1697 1430 1787">Die Marke zeigt eine gerade Furche, die Ränder sind aufgrund der Knochenbeschaffenheit porös.</p>	

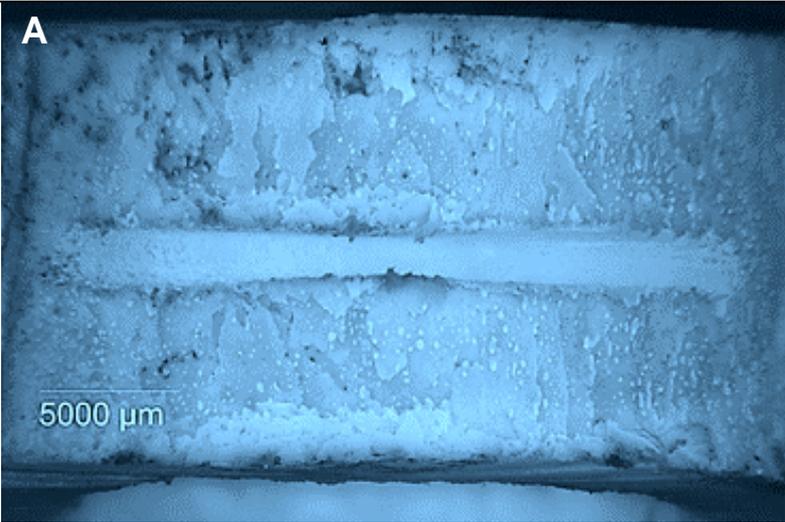
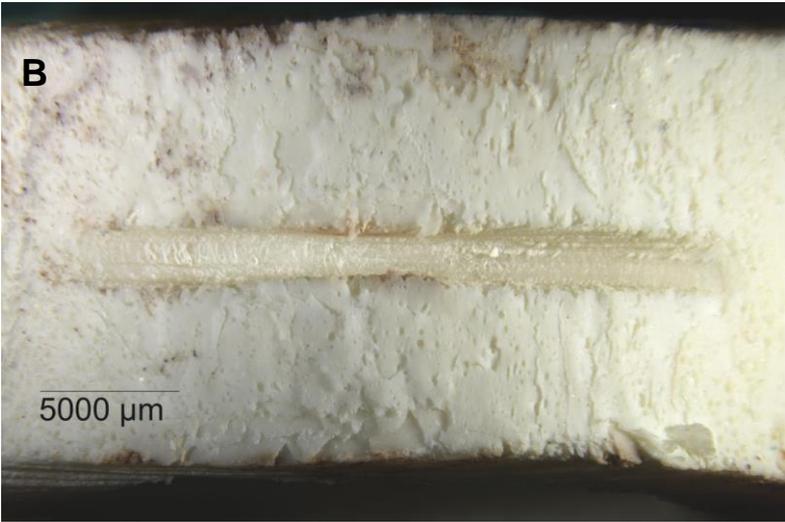
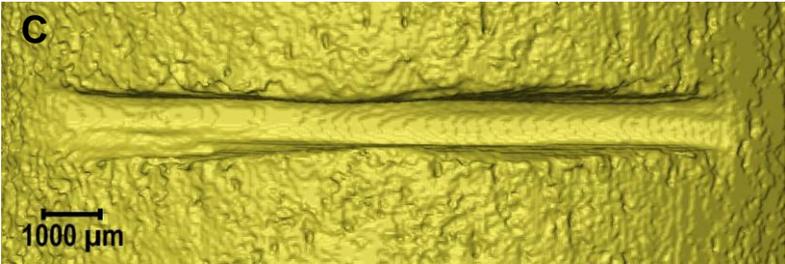
Axt – Cut 2



Die Ränder sind uneben. Der obere Rand ist aufgrund der Energieübertragung der Axt eingedrückt.

	
<p>Kettensäge</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">    </div> <p>Die Ränder zeigen ein Muster, das von den Zähnen der Kettensäge verursacht wurde. Es sind parallele Streifen, die schräg zur Marke stehen. Oberhalb des Schnittes sind <i>False start</i>-Spuren zu sehen. Die Innenseiten sind aufgeraut.</p>

	
<p>Bügelsäge</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div data-bbox="279 515 750 817"> <p>A</p>  <p>5000 µm</p> </div> <div data-bbox="758 515 1228 817"> <p>B</p>  <p>5000 µm</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="279 840 750 1153">  <p>5000 µm</p> <p style="text-align: right;">A</p> </div> <div data-bbox="758 840 1228 1153">  <p>5000 µm</p> <p style="text-align: right;">B</p> </div> </div> <div data-bbox="279 1176 869 1500" style="margin-top: 10px;"> <p>C</p>  <p>1000 µm</p> </div> </div> <p data-bbox="279 1523 1276 1668">Die Ränder zeigen multiple Muster, die von den Zähnen der Säge herrühren. Die Innenseite zeigt Einkerbungen, die von einer Kante zur anderen reichen.</p>

	
<p>Baumsäge</p>	<p>A</p>  <p>5000 µm</p> <p>B</p>  <p>5000 µm</p> <p>C</p>  <p>1000 µm</p> <p>Glatte, gleichförmige Marke, die am Grund feine Linien zeigt.</p>

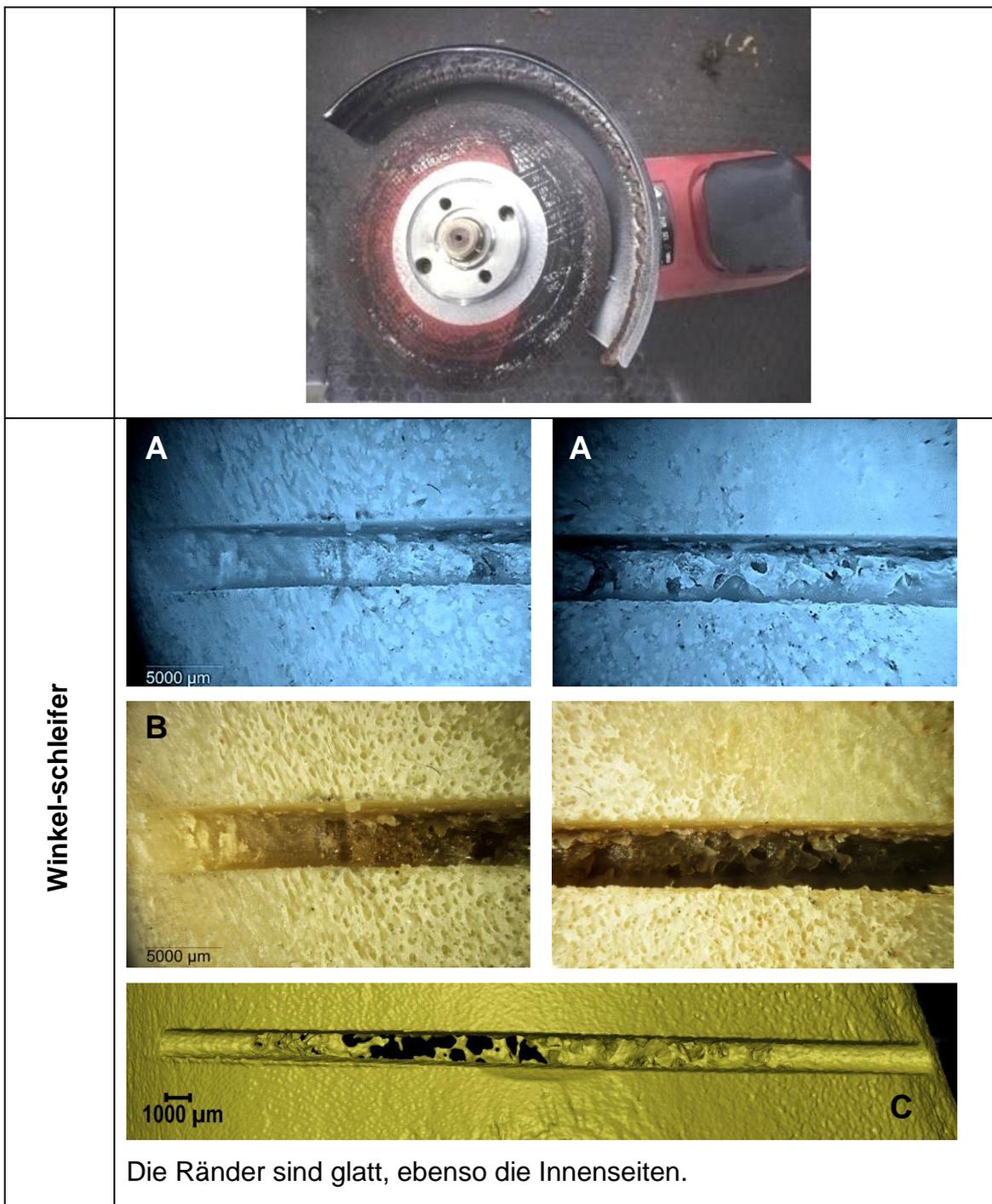


Abb. 34: Aufnahmen mittels Licht-, Fluoreszenzmikroskopie und Mikro-CT der Knochen mit den Zerstückelungsmarken.

Aufnahme der Zerstückelungsmarken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie. Die Fluoreszenzbilder werden in Falschfarbe dargestellt.

4.3.1 Beschreibung der Zerstückelungsmarken

Mittels spezieller Software wurden die Cutmarken, welche mit Fluoreszenz und Mikro-CT aufgenommen wurden, vermessen. Tab. 12 zeigt die Mittelwerte der Parameter. Mit dem anschließenden Scheffé-Test (Tab. 13) konnte dargestellt werden, wo die Unterschiede zwischen den Gruppen sind. Dabei musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden.

Tab. 12: Abmessungen der Zerstückelungsmarken.
HHS wurde an mindestens 3 Stellen vermessen und miteinander verglichen.

Werkzeug	HHS Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
Axt 1	425,28	61,51	146,48	988,49
Axt 2	2195,72	44,10	645,01	1863,93
Kettensäge	8312,07	66,51	6557,49	7008,63
Baumsäge	1184,53	27,51	515,61	1003,78
Winkelschleifer	1196,45	14,16	900,09	964,94

Tab. 13: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.

Für den Unterschied zwischen den Zerstückelungsmarken der Werkzeuge musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden. Die erhöhten Fs-Werte sind rot unterlegt.

Werkzeug	Werkzeug	HHS Fluor [Fs]	KMW μ-CT [Fs]	HTS μ-CT [Fs]	HHS μ-CT [Fs]
Axt 1	Axt 2	20,92	5,75	1,05	9,15
Axt 1	Kettensäge	415,09	0,48	173,34	432,51
Axt 1	Baumsäge	3,85	21,93	0,57	2,79e-03
Axt 1	Winkelschleifer	3,97	42,55	2,40	0,01
Axt 2	Kettensäge	249,65	9,53	147,43	315,87
Axt 2	Baumsäge	6,82	5,22	0,07	8,83
Axt 2	Winkelschleifer	6,66	17,01	0,27	9,64
Kettensäge	Baumsäge	339,01	28,86	153,95	430,32
Kettensäge	Winkelschleifer	337,88	52,01	134,98	435,90
Baumsäge	Winkelschleifer	9,48e-04	3,38	0,62	0,02

Fluoreszenz

Die Werte der HHS der Axt wiesen laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). Bei den restlichen Werkzeugen gab es nur eine Marke, weswegen nicht auf Normalverteilung und signifikante Unterschiede untersucht wurde. Die Varianzanalyse zeigte bei der Axt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (F 49,97, p 2,11e-03).

Vergleicht man die Werte miteinander, zeigte der Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung ($p < 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (F 140,36, p 3,72e-13).

In Abb. 35 wurden die Messungen mittels Boxplots grafisch dargestellt.

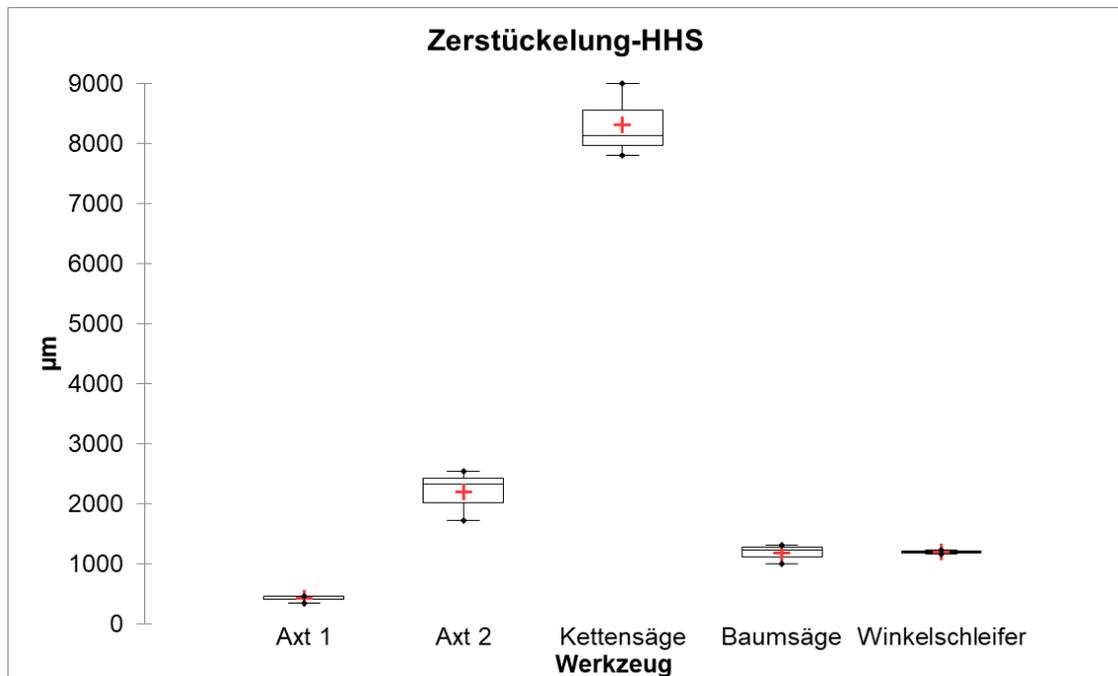


Abb. 35: Boxplots der Werte HHS der Zerstückelungsmarken.

Die Werte der jeweiligen Marken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Von allen Werkzeugen zeigen Winkelschleifer und Axt 1 die geringsten Spannweiten, während die Kettensäge die größte Spannweite zeigt.

Laut Scheffé-Test besteht nur bei der Kettensäge ein signifikanter Unterschied zu den anderen Werkzeugen.

Mikro-CT

Die Werte der Axt wiesen laut Shapiro-Wilk-Test bei KMW und HHS eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$), bei HTS nicht ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse zeigte Unterschiede zwischen den Mittelwerten der HTS und der HHS auf (HTS: F 325,63, p 5,54e-05; HHS: F 14,38, p 1,92e-02), jedoch nicht beim KMW (F 3,48, p 1,36e-01). Bei den restlichen Werkzeugen gab es nur eine Marke, weswegen nicht auf Normalverteilung und signifikante Unterschiede untersucht wurde.

Vergleicht man die Daten untereinander, weisen HTS und HHS keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$), der KMW schon ($p > 0,05$). Statistisch signifikante Unterschiede weisen alle 3 Parameter auf (KMW: F 18,67, p 1,24e-04; HTS: F 61,47, p 5,29e-07; HHS: F 164,22, p 4,49e-09).

Bei der grafischen Darstellung mittels Boxplots zeigten sich beim Vergleich der Marken teils erhebliche Unterschiede (Abb. 36).

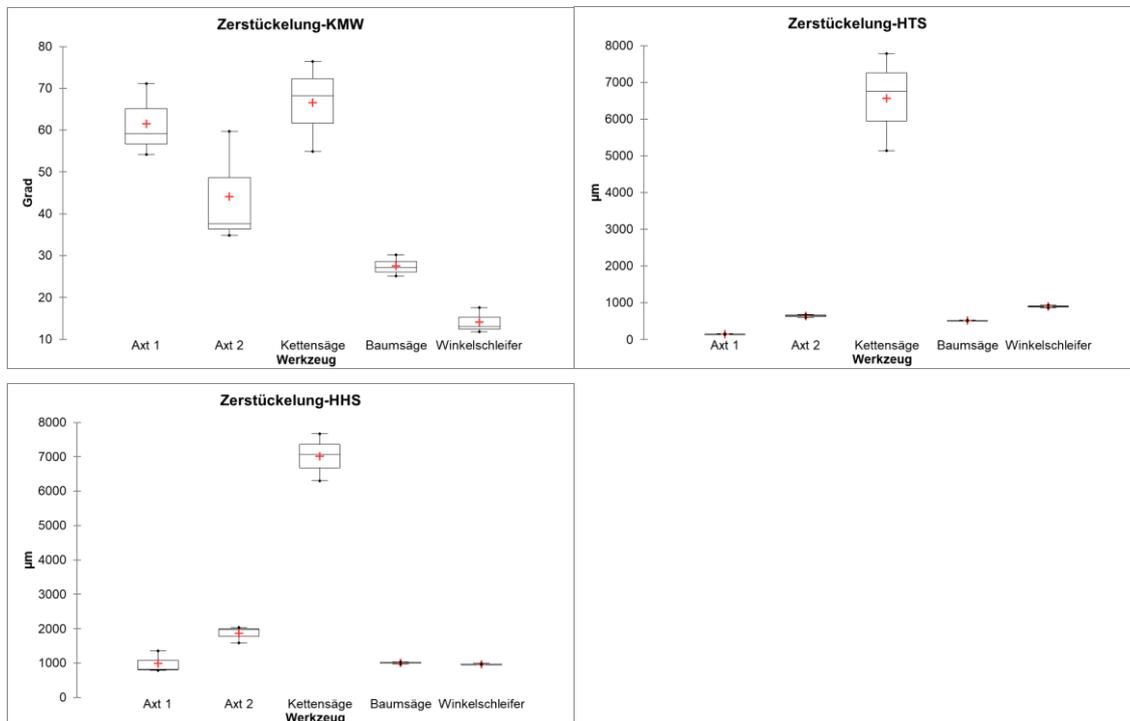


Abb. 36: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS der Zerstückelungsmarken.

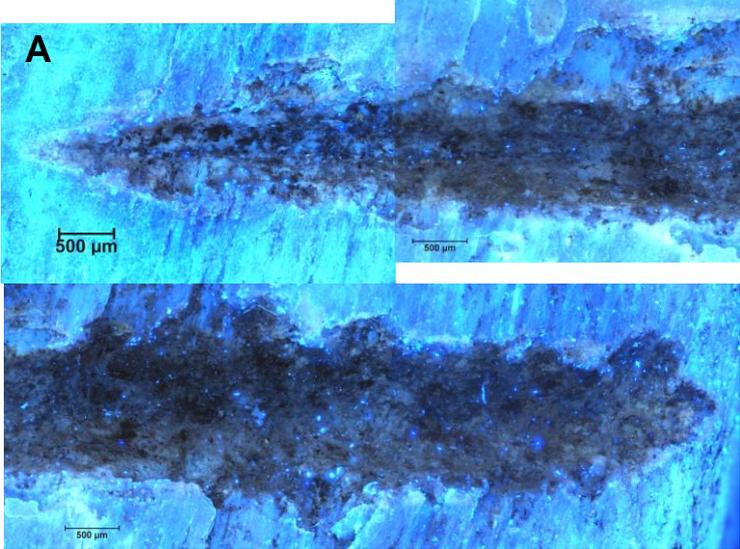
Die Werte der jeweiligen Marken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Von allen Werkzeugen zeigt die Axt die geringste Spannweite bei den Messungen, während die Baumsäge die größte Spannweite zeigt.

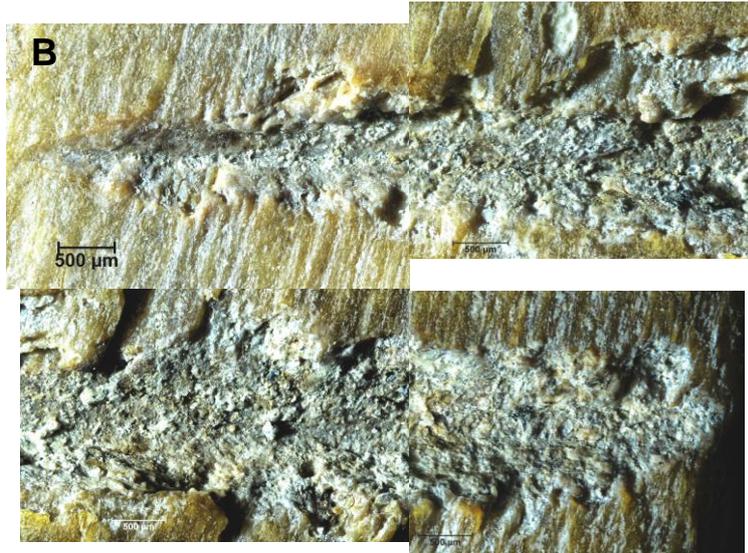
Die geringste Spannweite bei den Werten zeigen die HTS. Bei der Messung der KMW zeigten sich die größten Spannweitenunterschiede.

Insgesamt gesehen wies die Kettensäge laut Scheffé-Test die meisten signifikanten Unterschiede zu den anderen Werkzeugen auf, bis auf die Winkelmessungen in Vergleich zu Axt 1 und Axt 2. Axt 1 und Axt 2 wiesen die zweitgrößten Unterschiede auf. Gar keinen signifikanten Unterschied gab es zwischen Baumsäge und Winkelschleifer.

4.4 Analyse von prähistorischen Tierknochen

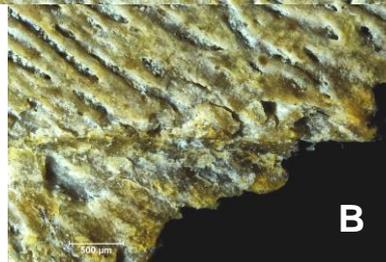
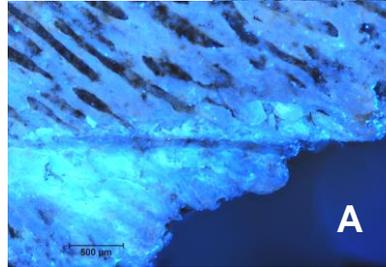
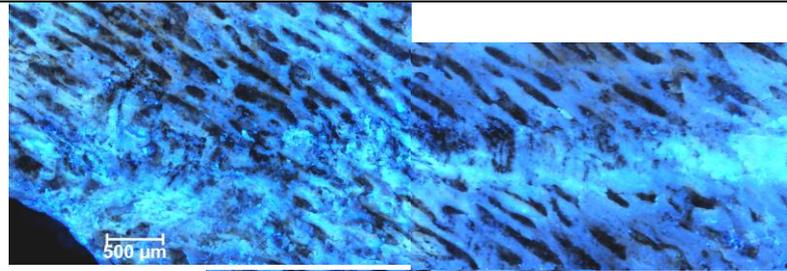
Die Marken wurden im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. (Abb. 37).

Marke	Knochen
Übersicht	
Cut 1	<p style="text-align: center;">Rippe 1</p> 

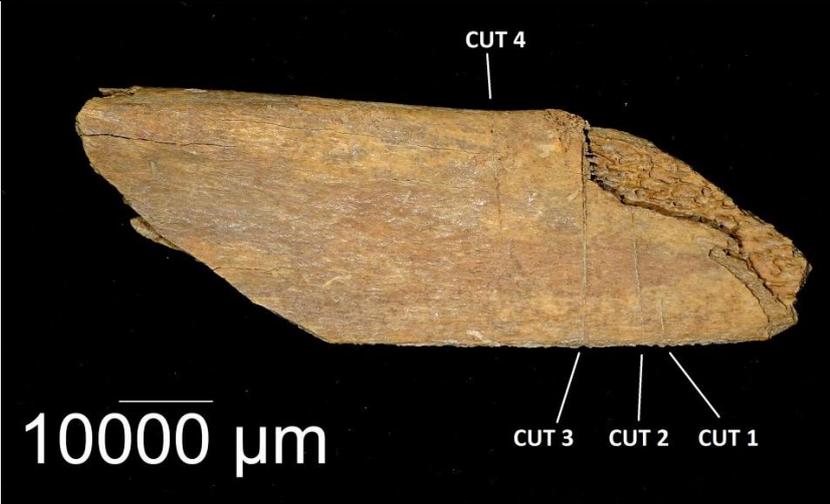
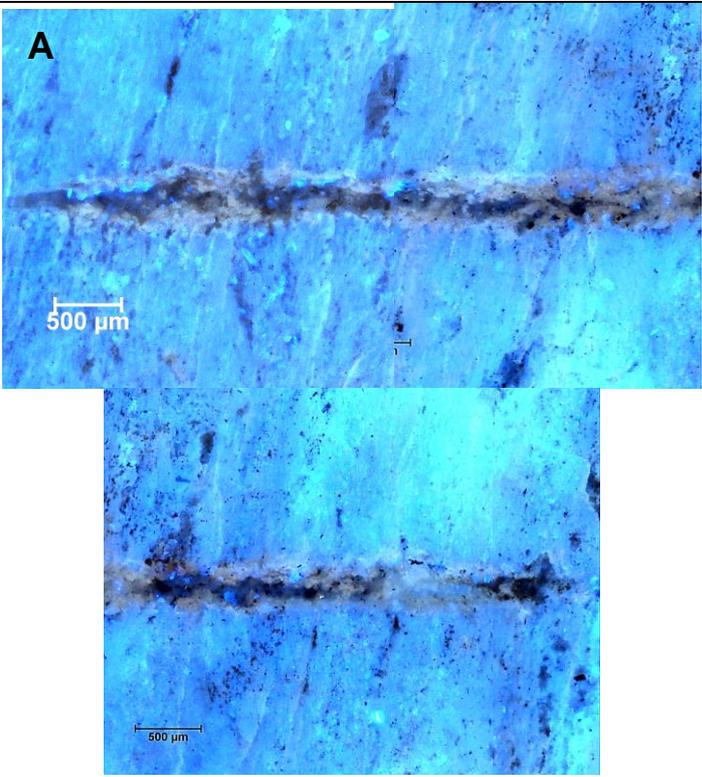


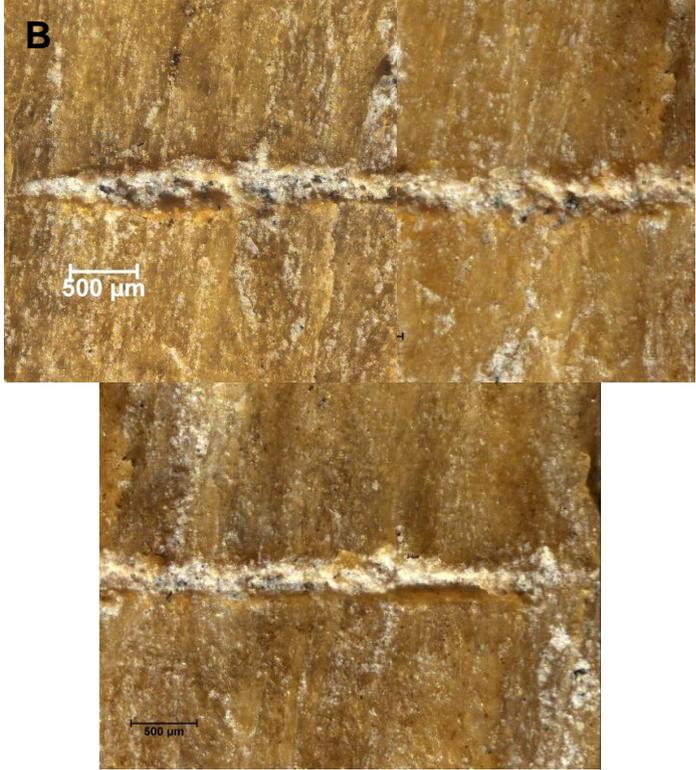
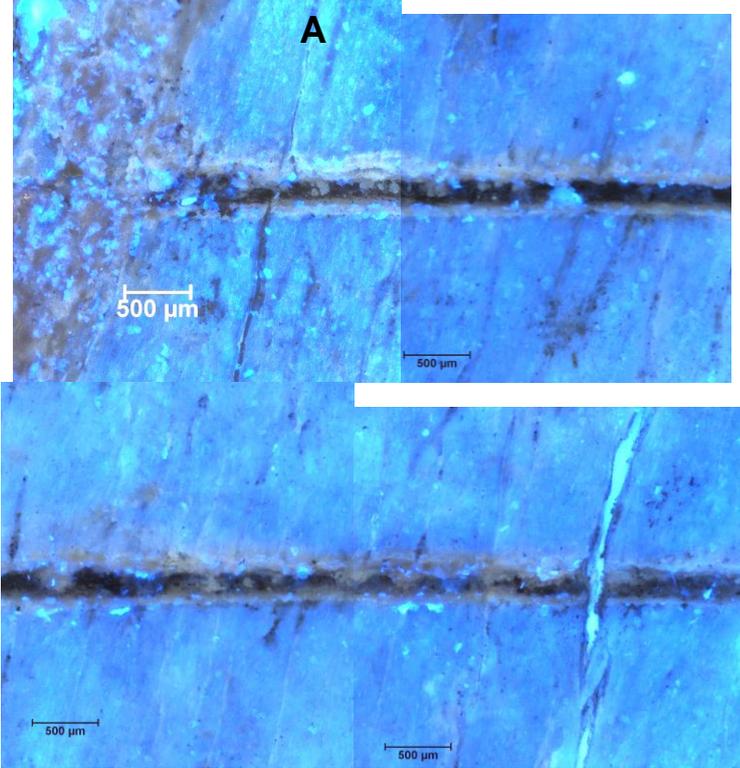
Die Enden laufen Spitz zu, die Ränder sind grob und uneben. Der Grund ist aufgeraut.

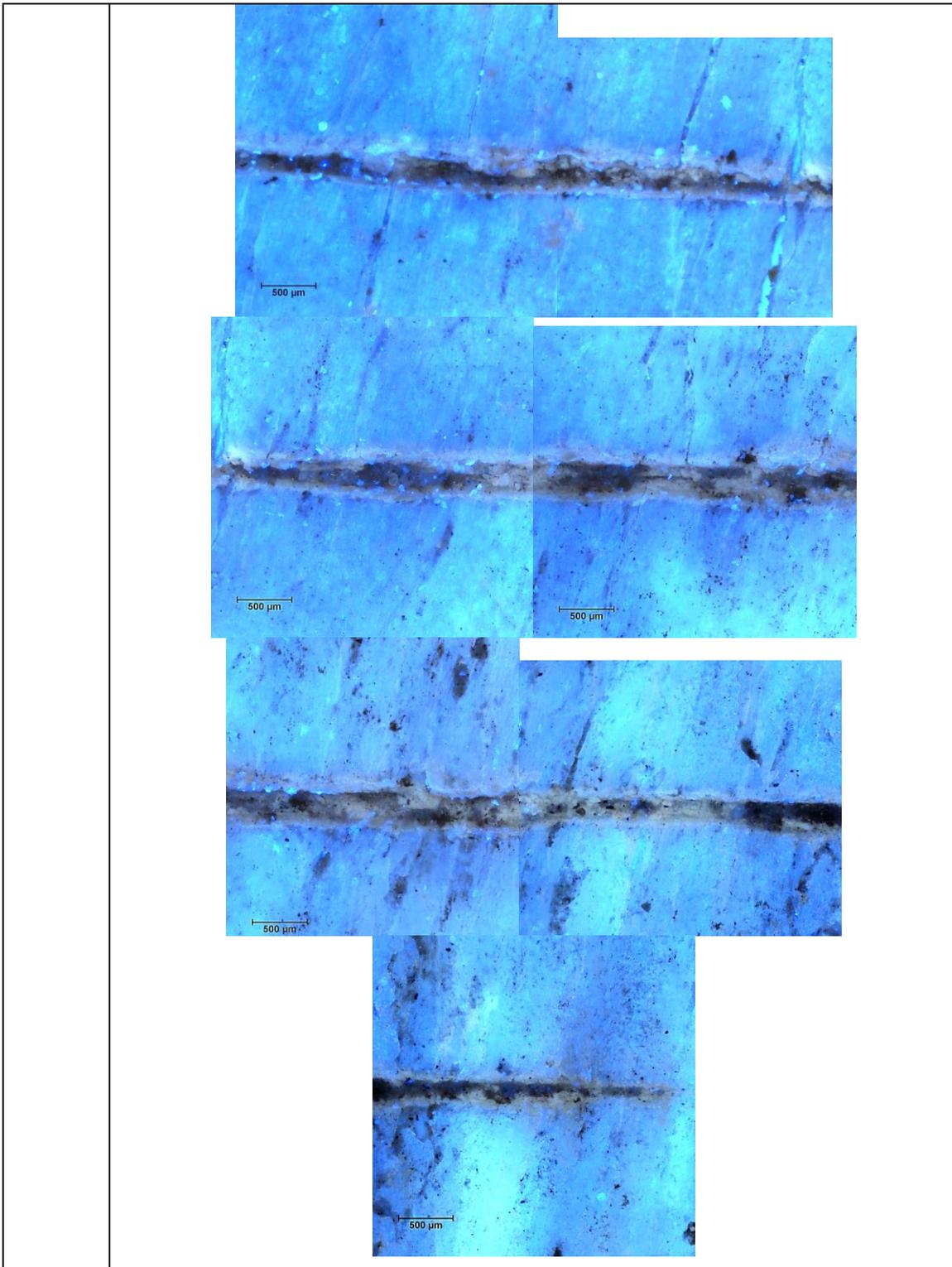
Cut 2



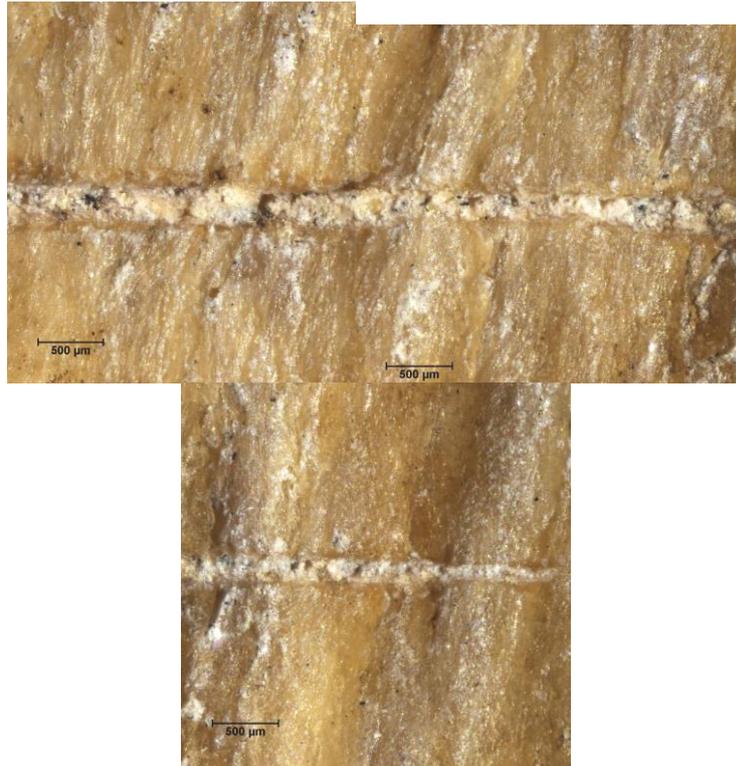
Ein oberflächiger Kratzer, der an einem Ende in einen dünnen Schnitt übergeht. Die Ränder des Schnittes sind uneben, der Grund glatt. Die Helligkeit des Kratzers hebt sich in der Fluoreszenz deutlich von der Umgebung ab, was auf ein rezentes Ereignis schließen lässt.

Rippe 2	
Übersicht	 <p>10000 µm</p> <p>CUT 4</p> <p>CUT 3 CUT 2 CUT 1</p>
Cut 1	 <p>A</p> <p>500 µm</p> <p>500 µm</p>

	 <p data-bbox="427 985 1423 1131">Ein dünner Schnitt mit groben und unebenen Rändern. Der Grund ist aufgeraut. In der Fluoreszenzaufnahme grenzen sich die Ränder durch fehlen der Fluoreszenz vom Rest ab.</p>
<p data-bbox="306 1512 391 1545">Cut 2</p>	

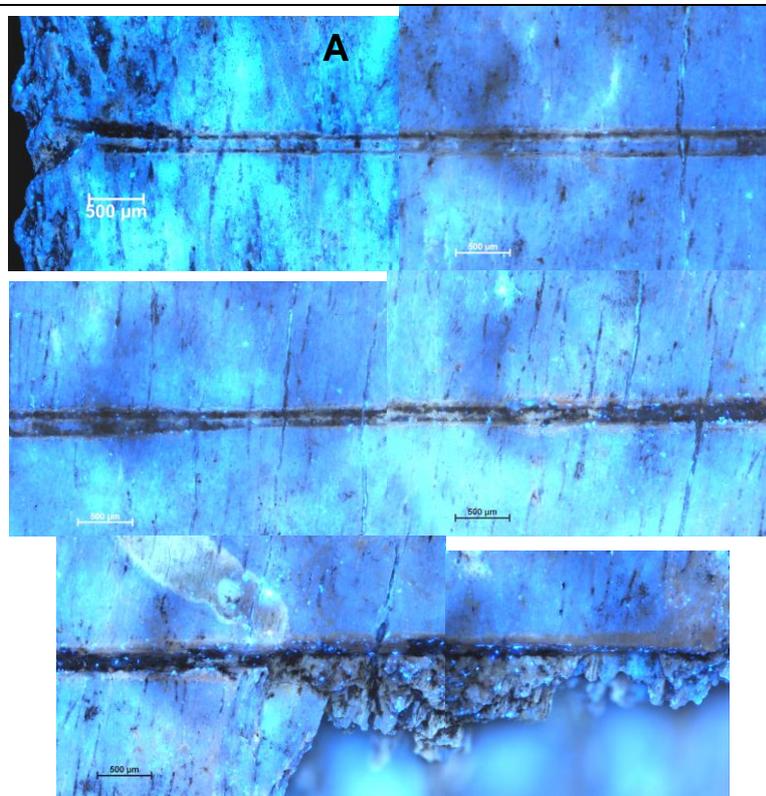


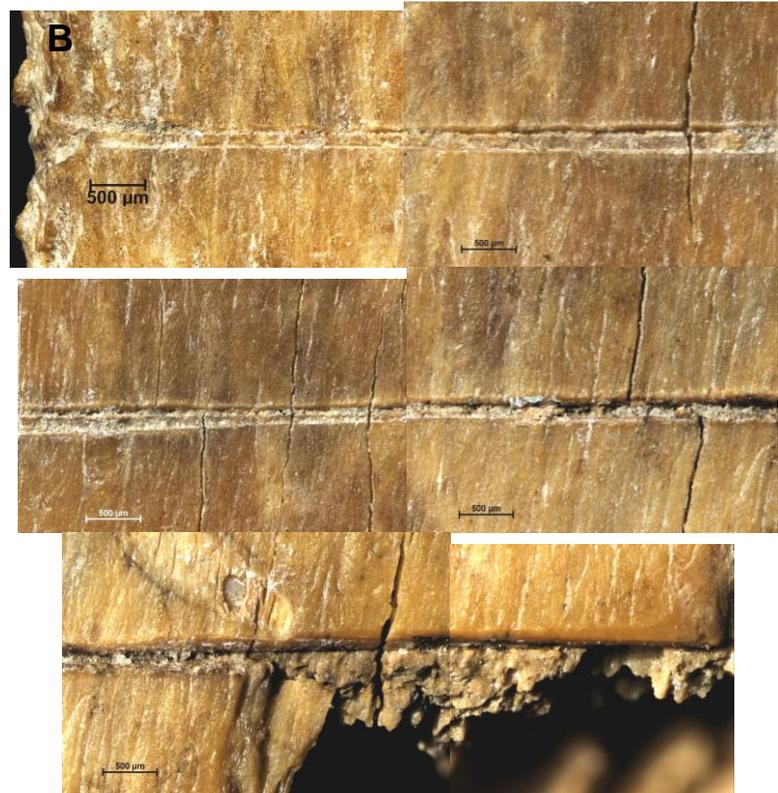




Ein dünner Schnitt mit groben und unebenen Rändern. Der Grund ist aufgeraut. In der Fluoreszenzaufnahme grenzen sich die Ränder größtenteils durch fehlen der Fluoreszenz vom Rest ab.

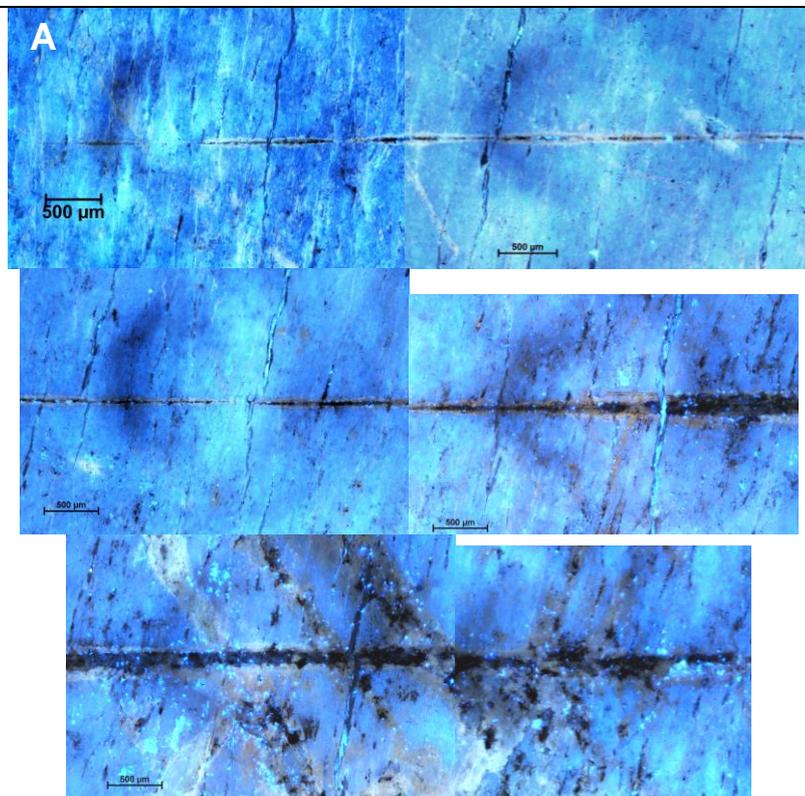
Cut 3

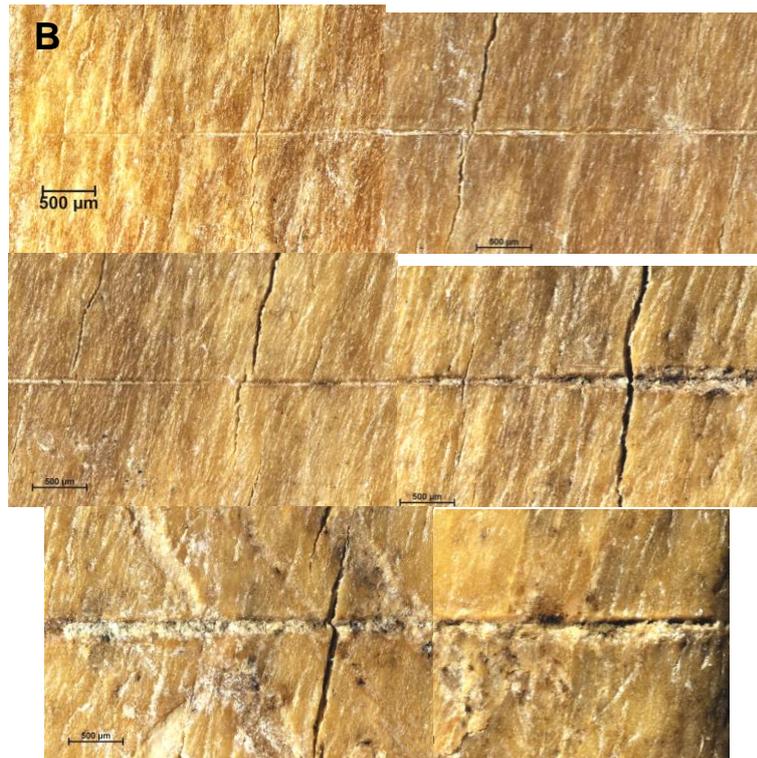




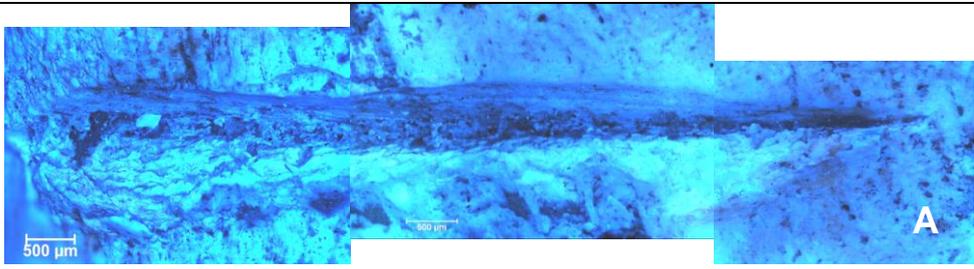
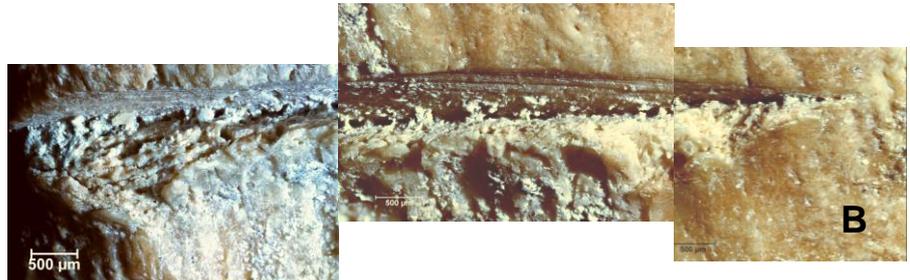
Dünner Schnitt mit parallelen, nahezu abgeschliffenen Rändern, die sich stellenweise durch Fehlen der Fluoreszenz abheben. An einem Ende ist der untere Rand weggebrochen.

Cut 4





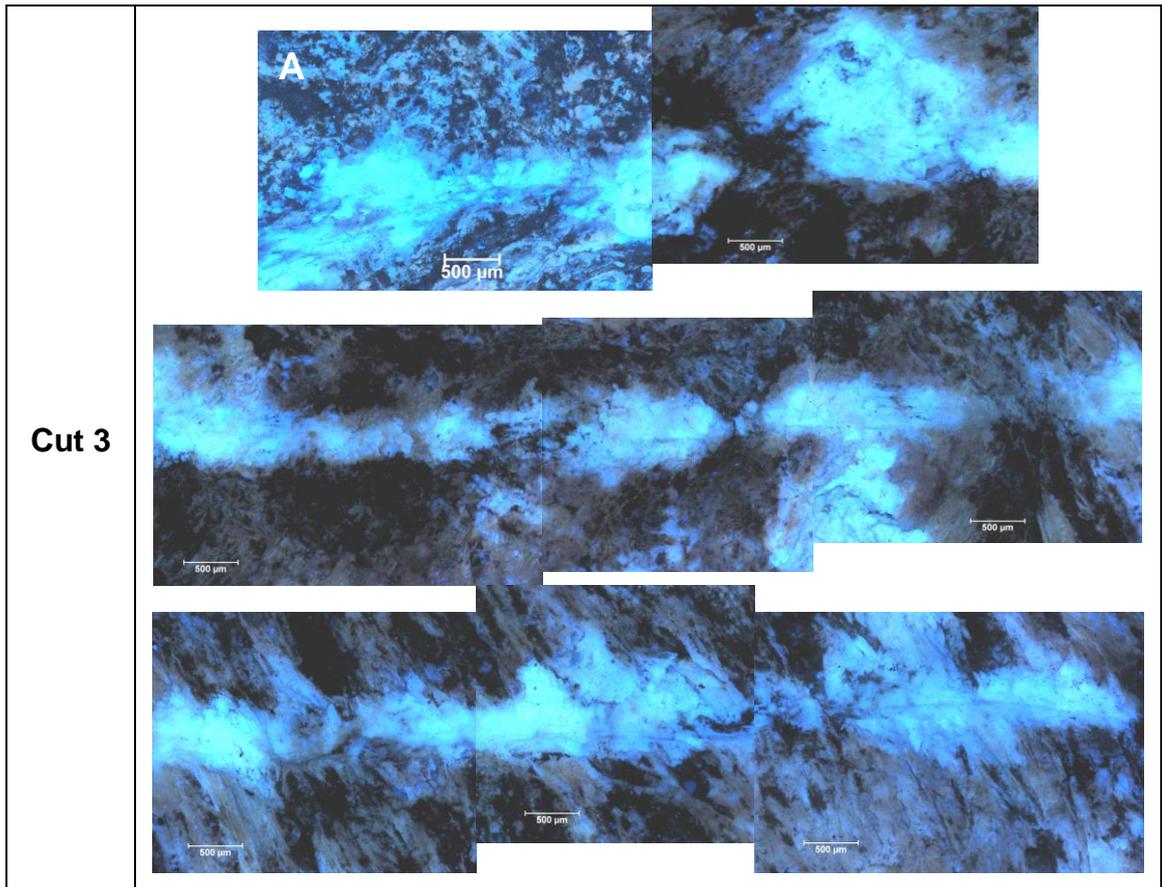
Der Schnitt zeigt an einem Ende einen sehr dünnen und oberflächlichen Verlauf, am anderen Ende wird der Schnitt tiefer und breiter. Beim dünnen Verlauf fehlt die Fluoreszenz größtenteils bei den Rändern, beim breiten Teil fehlt die Fluoreszenz fast nicht.

Distale Ulna	
Übersicht	
Cut 1	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div> <p>Der obere Rand ist glatt und gut begrenzt, der untere Rand ist aufgeraut und uneben. An der Innenseite des oberen Rands sind Linien erkennbar, die vermutlich von Unebenheiten des Werkzeugs stammen und auf die Bewegungsrichtung schließen lassen können.</p>

Cut 2

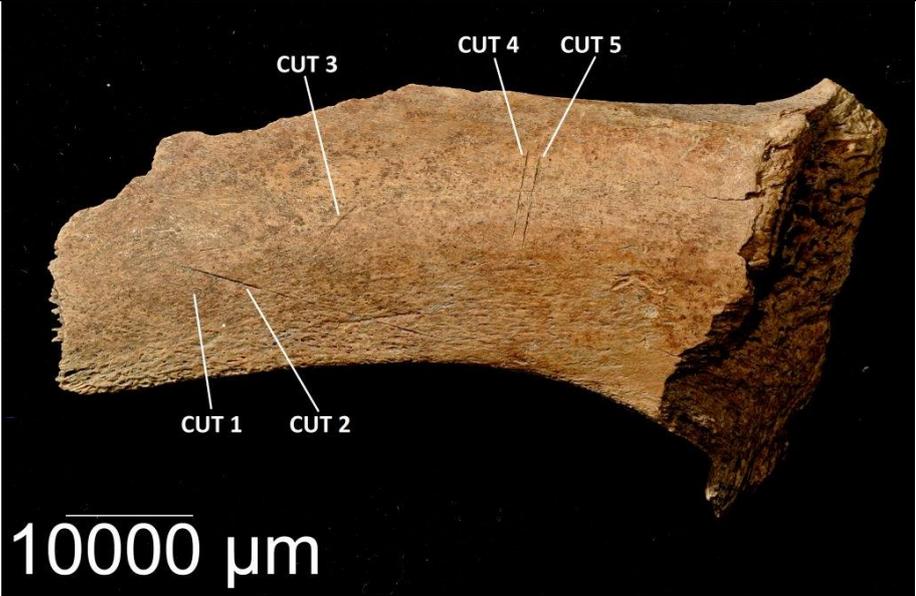
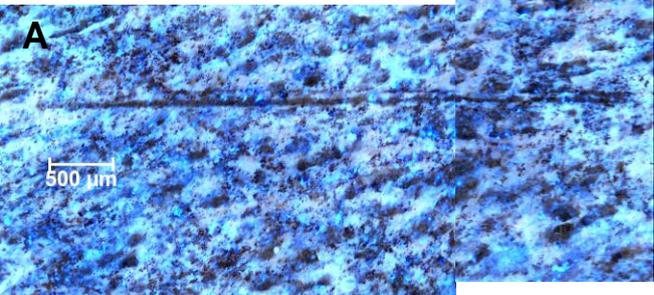
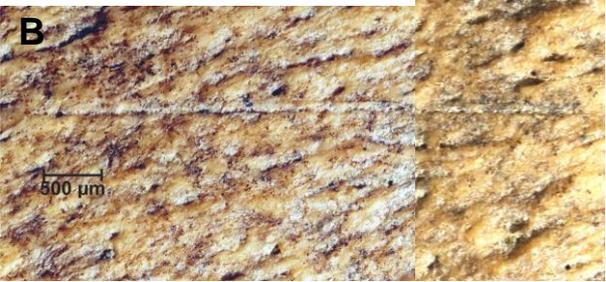
The image displays two rows of photographs, labeled A and B, showing a wide, irregular notch mark on a rock surface. Row A consists of five fluorescence images showing a bright blue glow along the edges and within the notch, with a 500 µm scale bar in the bottom left of the first image. Row B consists of five natural light photographs showing the same area, highlighting the rough, jagged edges and the uneven surface of the notch, with a 500 µm scale bar in the bottom left of the first image.

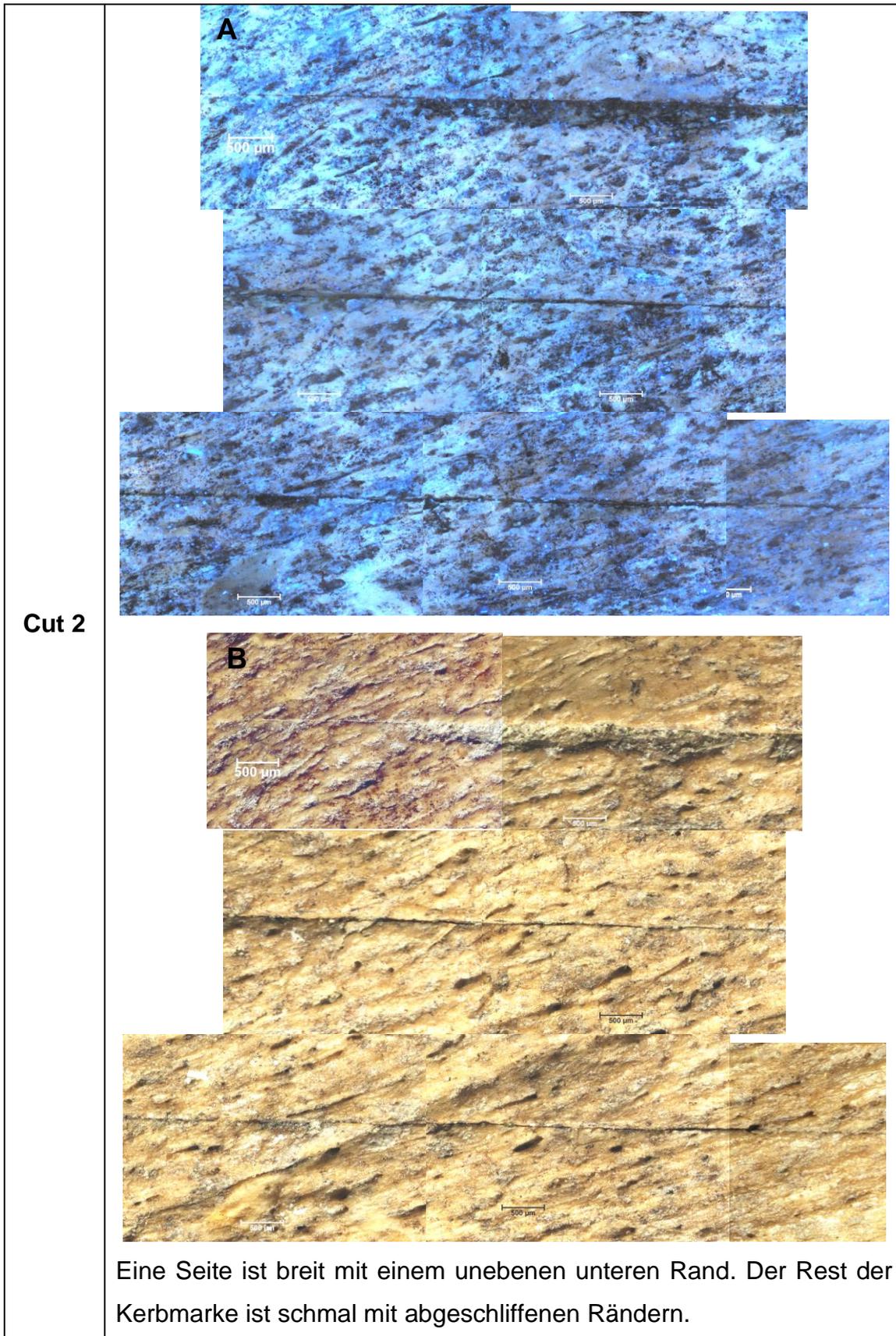
Sehr breite und unregelmäßige Kerbmarke. Die Ränder sind aufgeraut und uneben, am Grund wechseln sich glatte und raue Stellen ab. Die Helligkeit des Kratzers hebt sich in der Fluoreszenz deutlich von der Umgebung ab, was auf ein rezentes Ereignis schließen lässt.

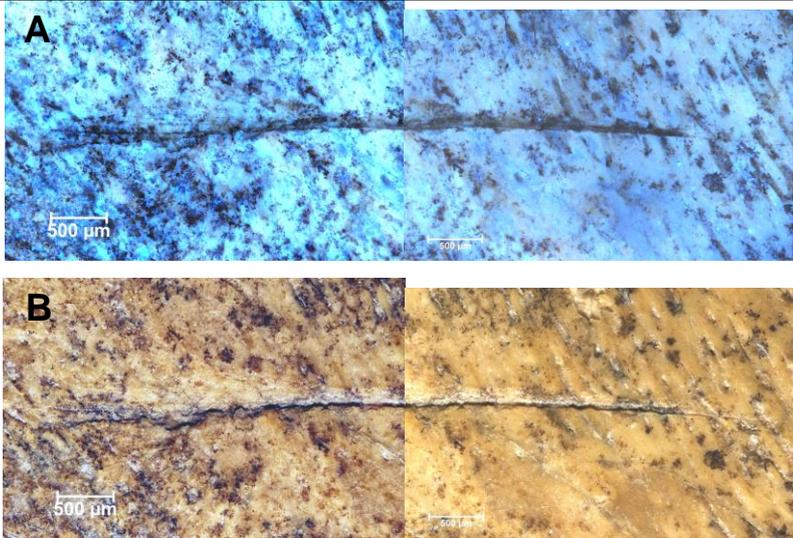
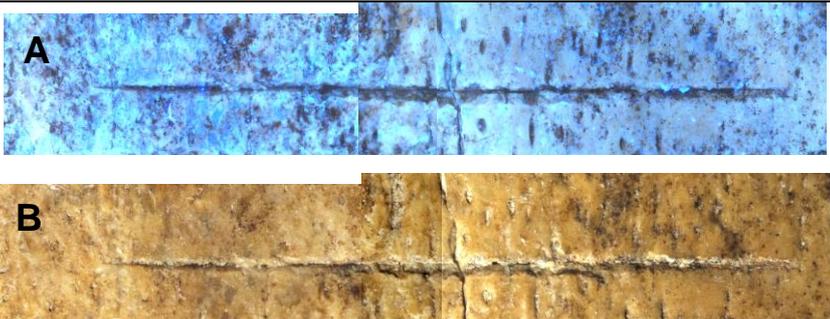
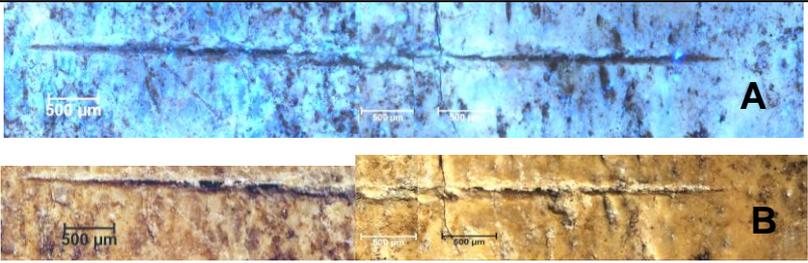


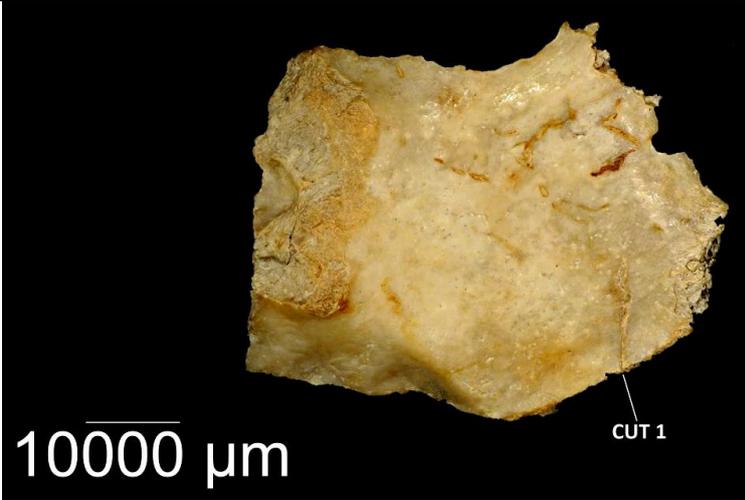
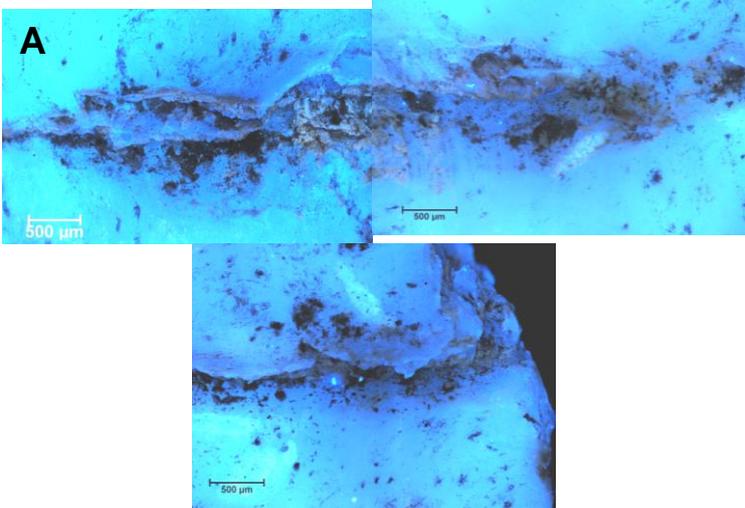
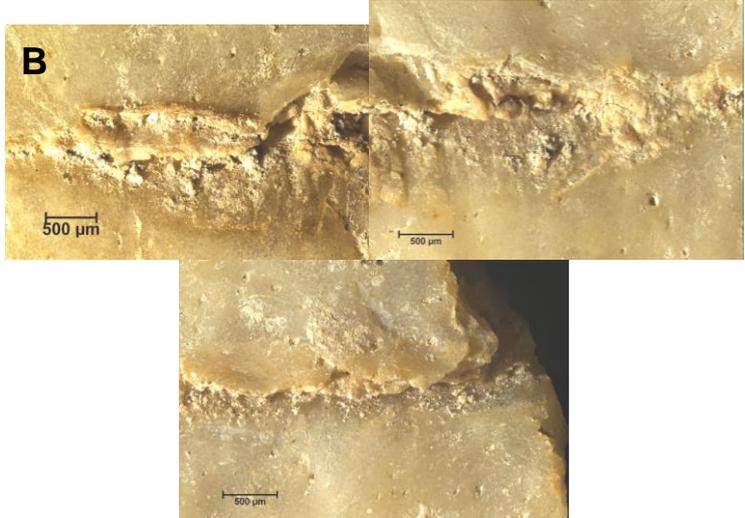


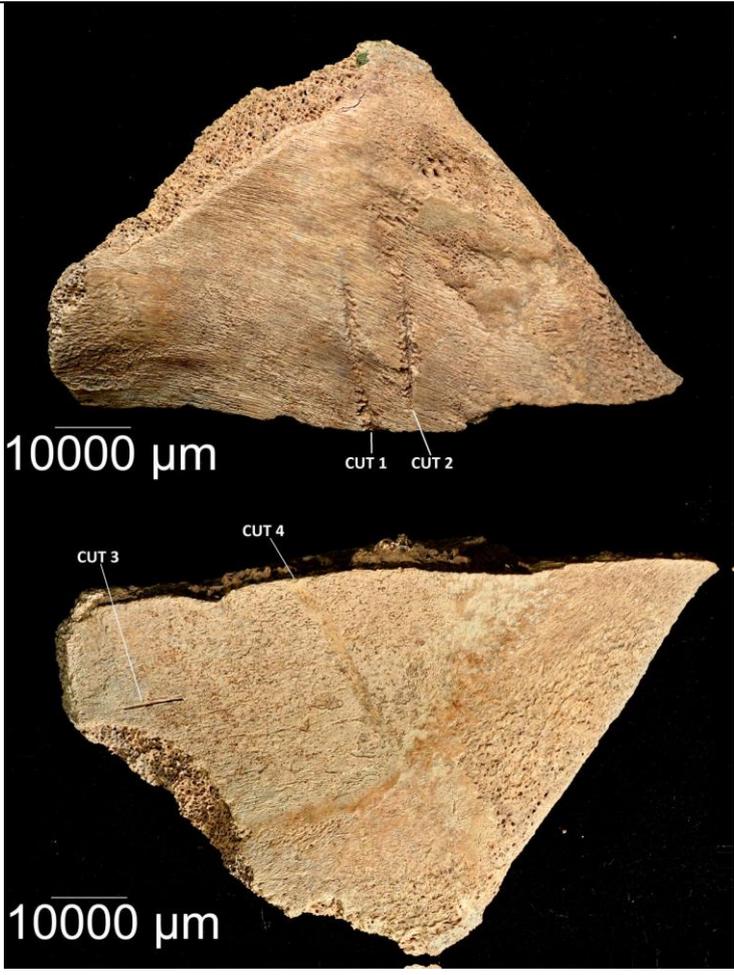
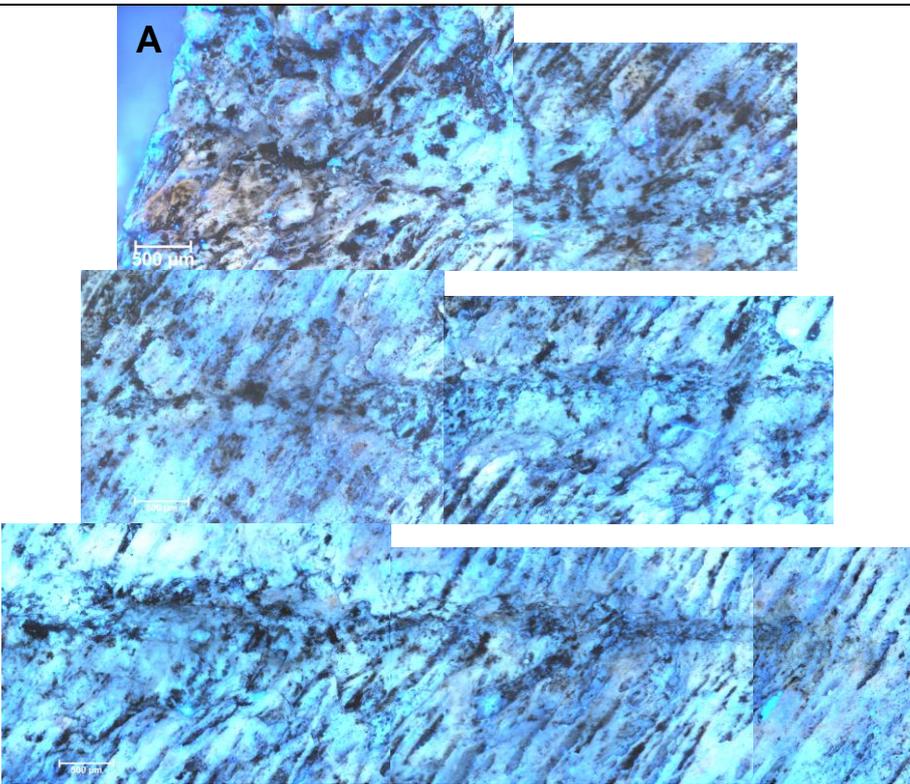
Oberflächliche Kerbmarke mit nicht durchgehenden, unebenen Rändern. Der Grund ist glatt mit feinen Linien, die vermutlich durch Unebenheiten des Werkzeugs hervorgerufen wurden. Die Helligkeit des Kratzers hebt sich in der Fluoreszenz deutlich von der Umgebung ab, was auf ein rezentes Ereignis schließen lässt.

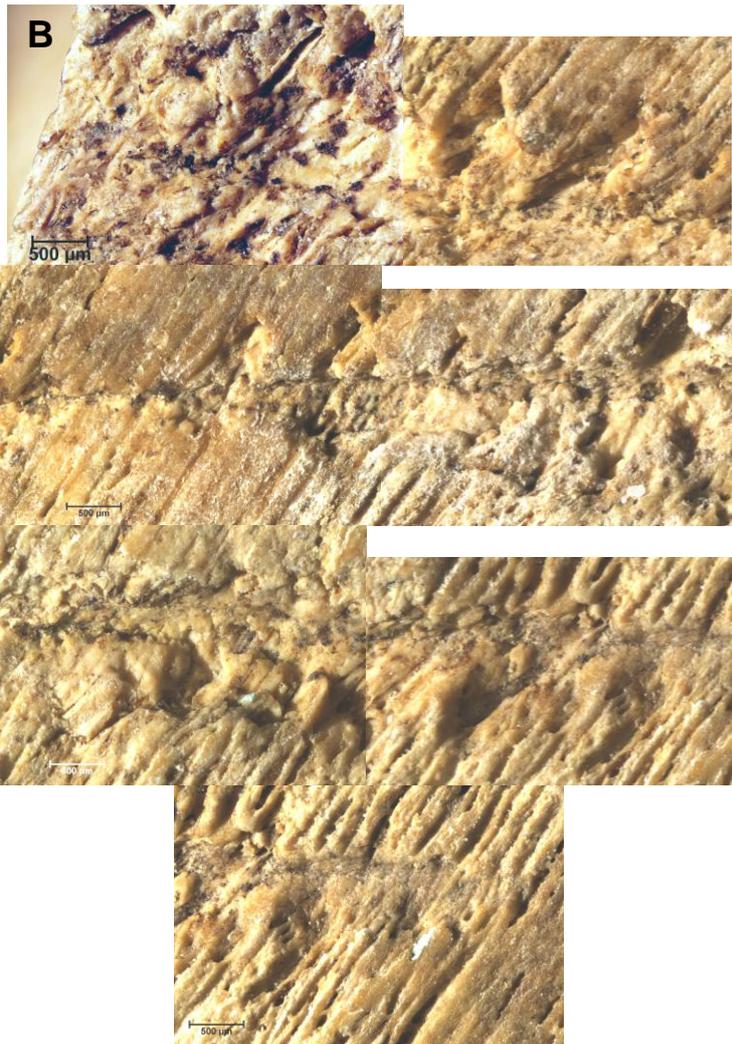
Lendenwirbelquerfortsatz	
Übersicht	 <p style="text-align: center;">10000 µm</p>
Cut 1	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> A  </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> B  </div> </div> <p>Schmale Kerbmarke mit parallelen, abgeschliffenen und unebenen Rändern.</p>



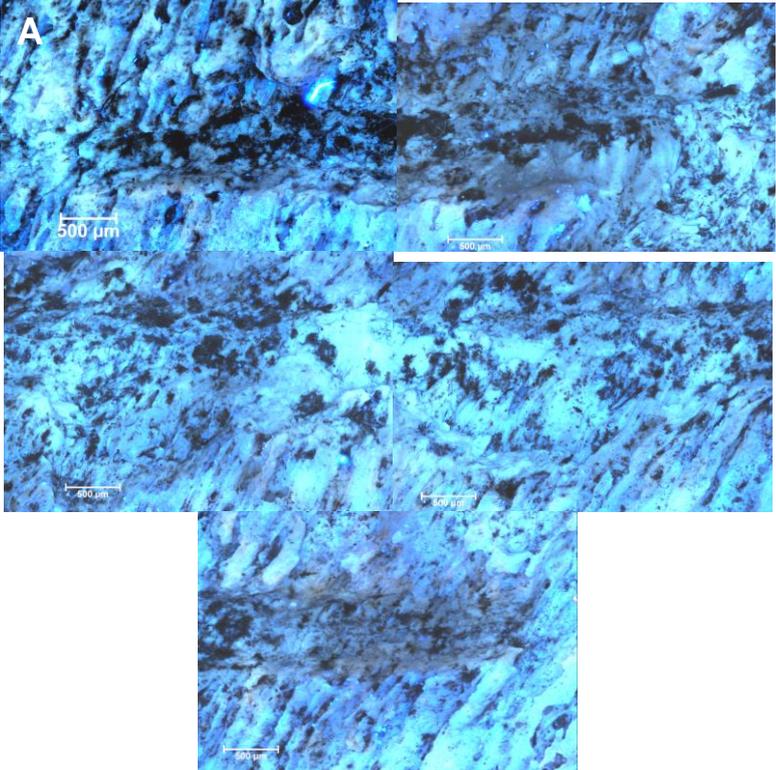
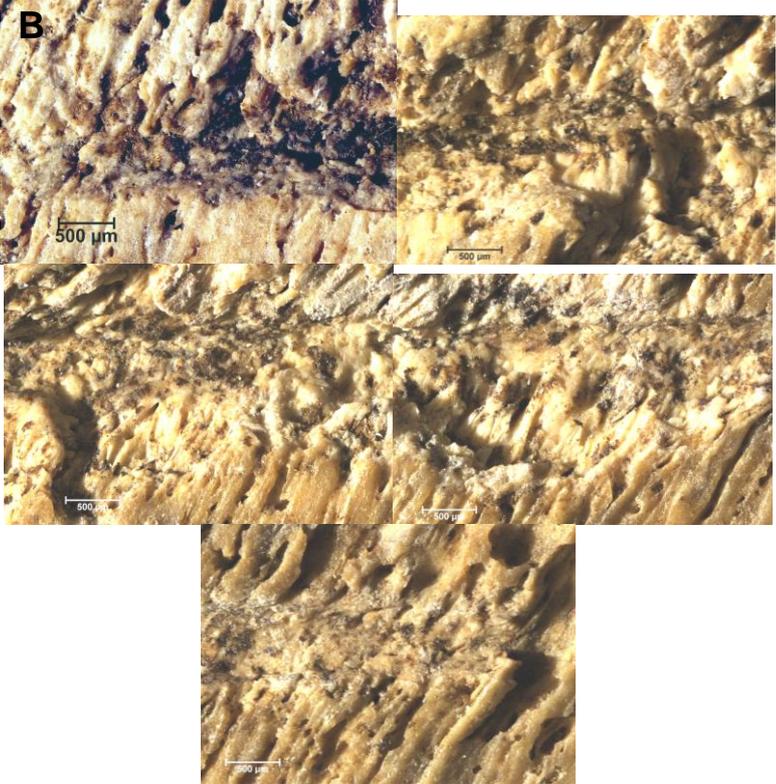
<p>Cut 3</p>	 <p>Schmale Kerbmarke mit abgeschliffenen Rändern. Das Werkzeug drang in Schiefelage in den Knochen ein. An der linken Seite sind feine Linien erkennbar, die vermutlich entweder vom Abrutschen des Werkzeugs stammen oder vom Auf- und Absenken des Werkzeugs.</p>
<p>Cut 4</p>	 <p>Parallele Kerbmarke mit unebenen Rändern. Der Spalt ist an den Seiten schmaler und in der Mitte breiter. Der Grund ist aufgeraut.</p>
<p>Cut 5</p>	 <p>Parallele Kerbmarke mit unebenen Rändern. Der Spalt ist an den Seiten schmaler und in der Mitte breiter. Der Grund ist aufgeraut.</p>

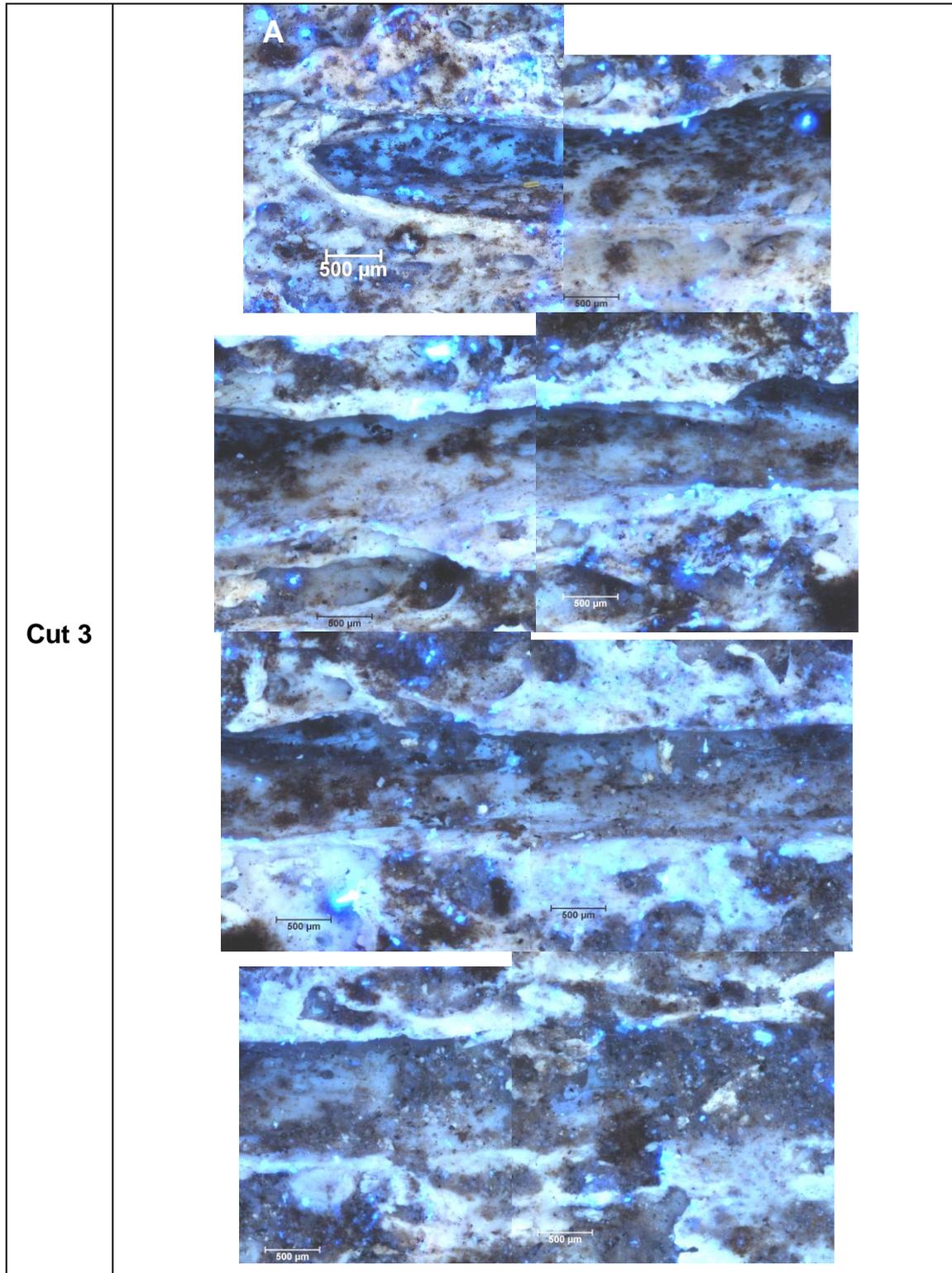
Schafschädel	
Übersicht	
Cut 1	<p>A</p>  <p>B</p>  <p>Das Werkzeug drang in Schiefelage in den Knochen ein. Die obere Kante ist aufgetrieben und zerfurcht. Die untere Kante geht schräg in die Oberfläche über und zeigt feine Linien, die vermutlich vom Werkzeug stammten.</p>

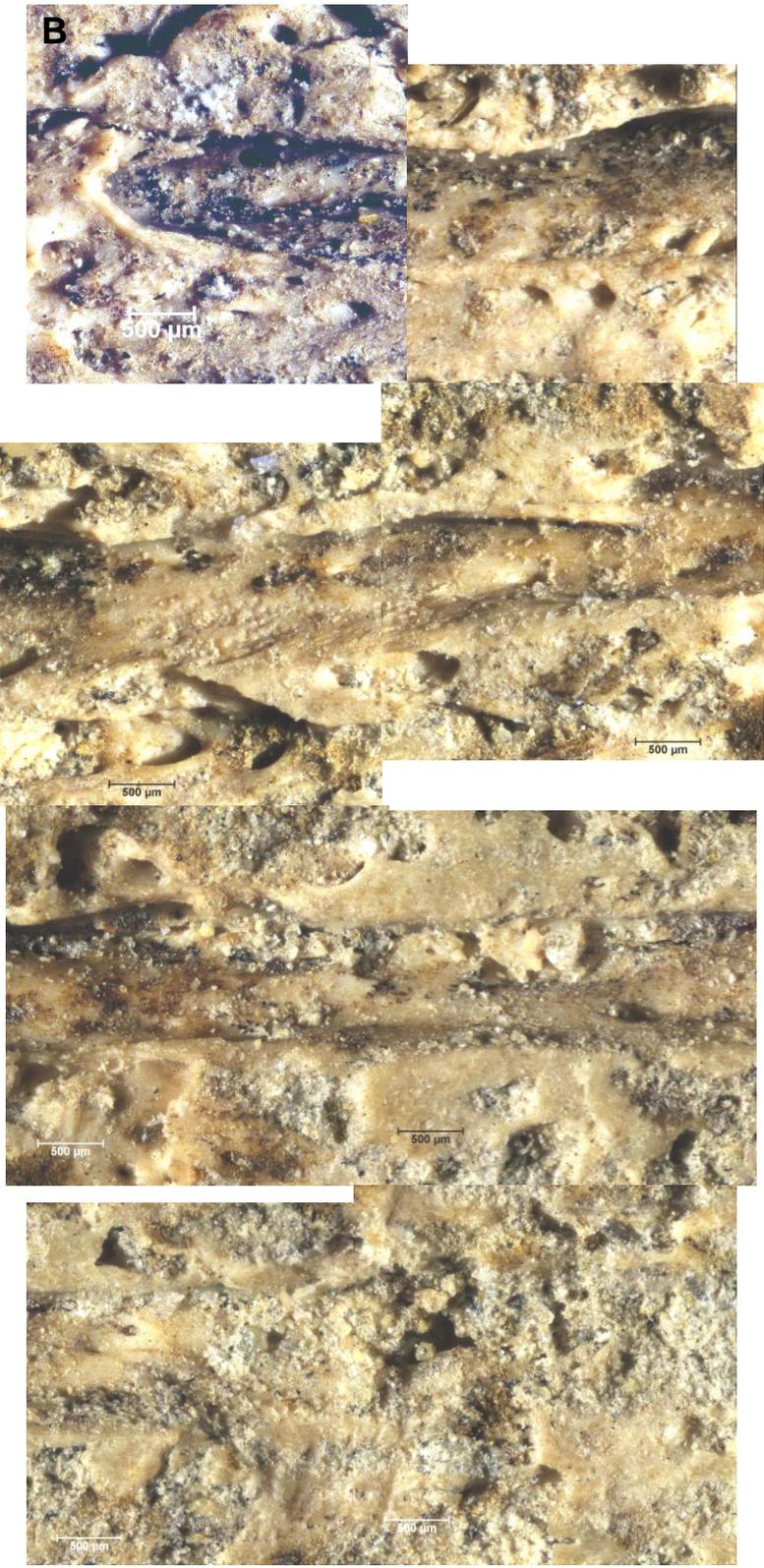
Unterkiefer	
Übersicht	 <p>10000 µm</p> <p>CUT 1 CUT 2</p> <p>CUT 3 CUT 4</p> <p>10000 µm</p>
Cut 1	 <p>A</p> <p>500 µm</p>



Oberflächliche Kerbmarke mit zerfurchtem Grund und unebenen, geborstenen Kanten.

<p>Cut 2</p>	
	 <p>Oberflächliche Kerbmarke mit zerfurchtem Grund und unebenen, geborstenen Kanten. An einem Ende ist die Kerbmarke tiefer und flacht gegen das andere Ende ab.</p>



	
	<p>Die Kanten verlaufen parallel und geschwungen und sind scharf begrenzt. An einem Ende verbreitert sich die Kerbe und flacht ab. Der Grund ist körnig mit vereinzelt glatten Stellen. Die Struktur könnte auch angeboren sein.</p>

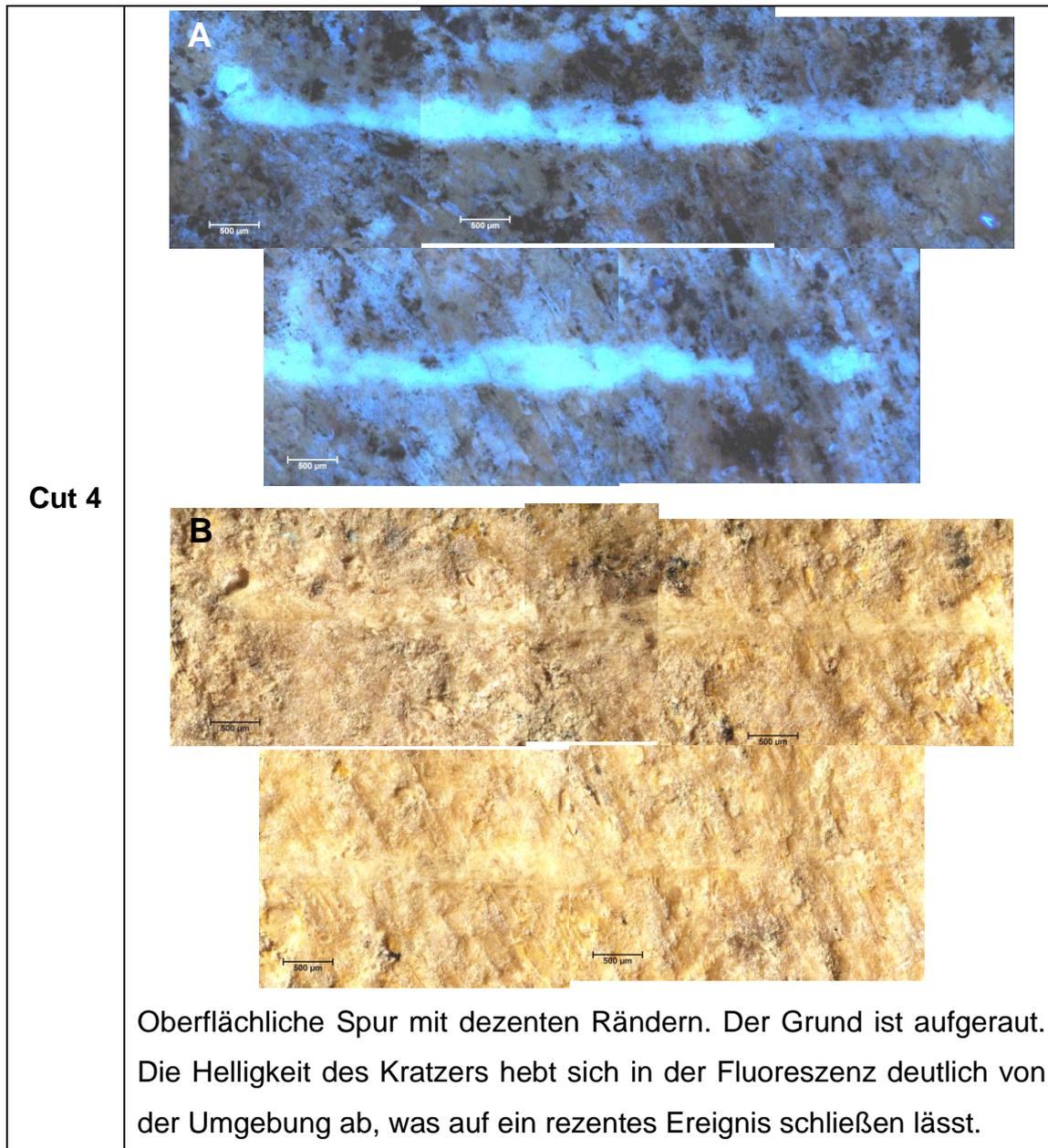
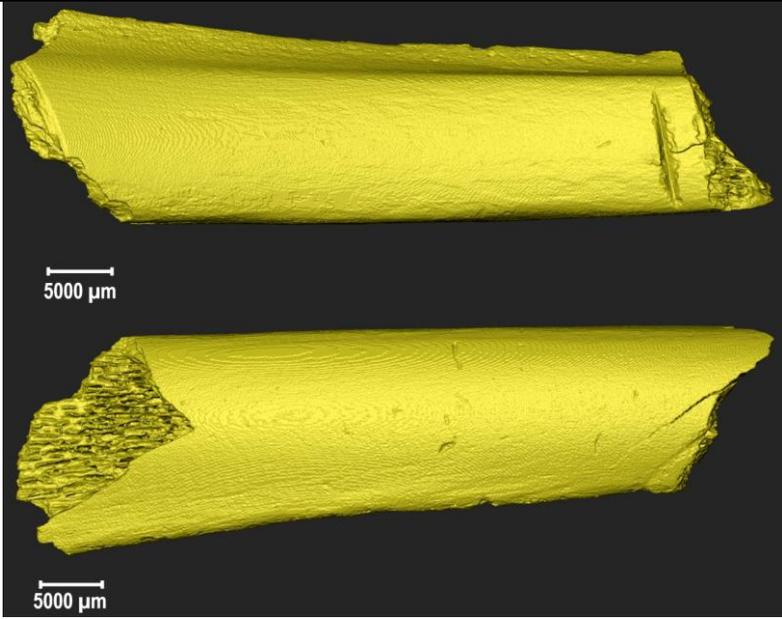
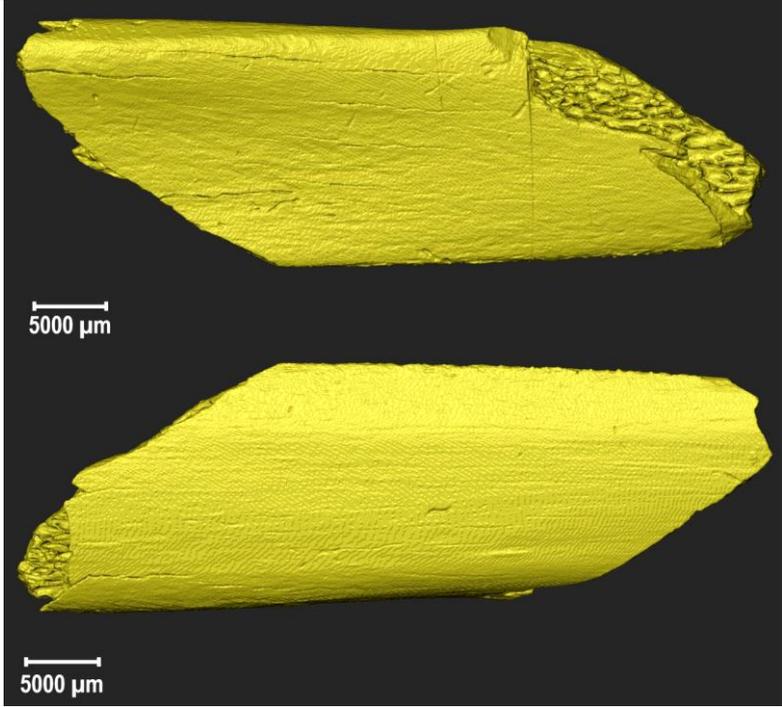
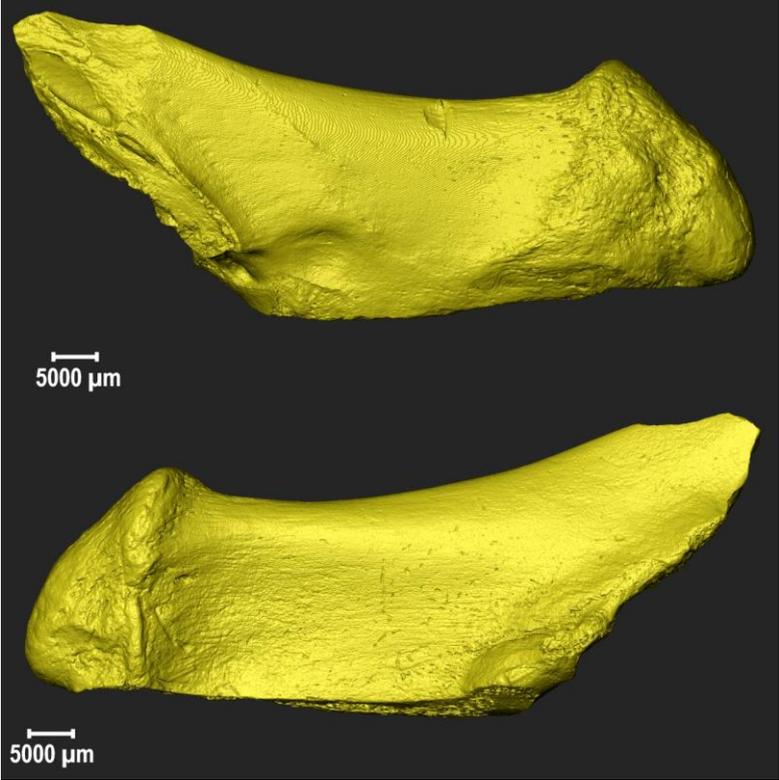
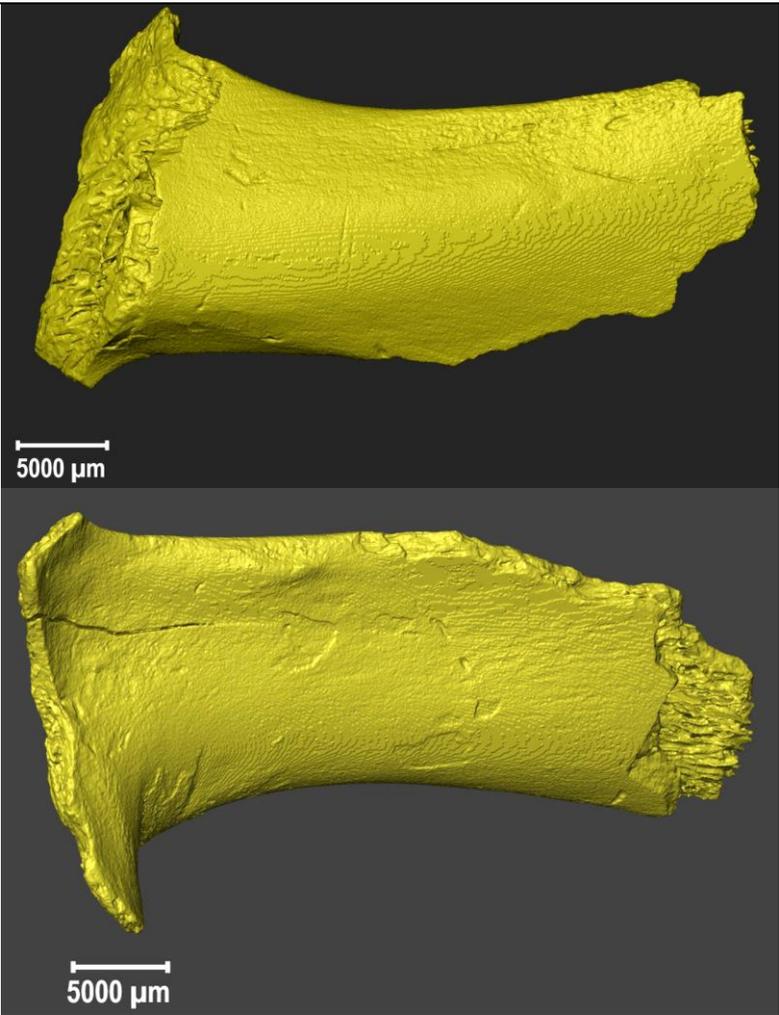


Abb. 37: Licht- und Fluoreszenzmikroskopie der Marken der Tierknochen.
Aufnahme der Marken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie.

Anhand von Aufnahmen des Mikro-CT (Abb. 38) wurden die Kerbmarken miteinander verglichen. Da nicht alle Marken in der 3D-Rekonstruktion dargestellt werden können, werden die Knochen in der Übersicht dargestellt.

Knochen	
Rippe 1	
Rippe 2	

<p>Distale Ulna</p>	
<p>Lendenwirbelquerfortsatz</p>	

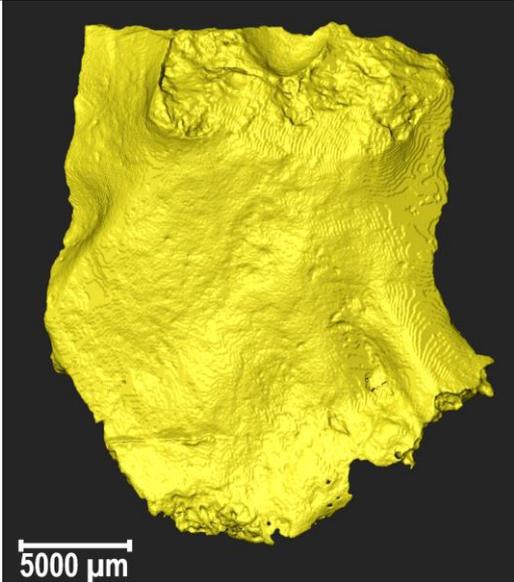
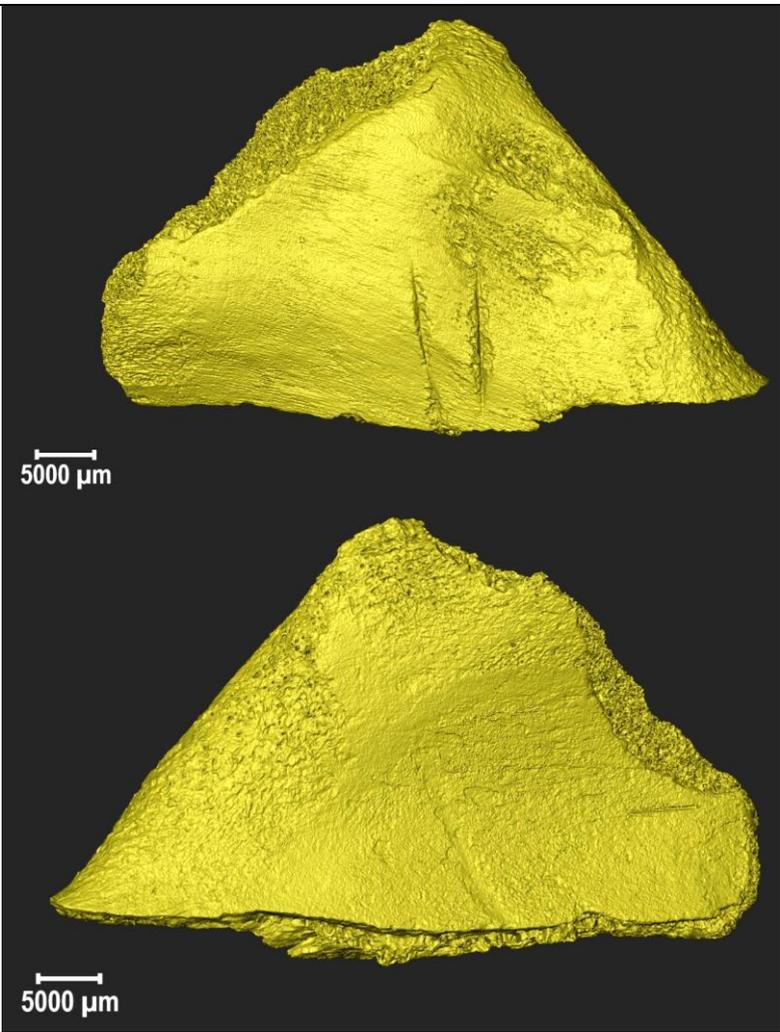
<p>Schafschädel</p>	
<p>Unterkiefer</p>	

Abb. 38: Mikro-CT-Aufnahmen der Knochen der Archäozoologie mit den Marken.
 Aufnahme der Marken mittels Mikro-CT.

4.4.1.1 Beschreibung der Marken - Archäozoologie

Mittels spezieller Software wurden die Marken, welche mit Fluoreszenz und Mikro-CT aufgenommen wurden, vermessen. Tab. 14 zeigt die Mittelwerte der Parameter. Mit dem anschließenden Scheffé-Test (Tab. 15) konnte dargestellt werden, wo die Unterschiede zwischen den Gruppen sind. Dabei musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden.

Tab. 14: Abmessungen der Marken der Tierknochen.

Die Abmessungen wurden an mindestens 3 Stellen durchgeführt und miteinander verglichen. Unterkiefer Cut 4 scheint in der Tabelle nicht auf, da eine Aufnahme der Marke nicht möglich war. Bei den leeren Feldern war eine Auswertung der Mikro-CT-Daten nicht möglich.

Knochen	HHS Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
Rippe 1 – Cut 1	1130,32	91,42	196,01	997,60
Rippe 1 – Cut 2	468,95			
Rippe 2 – Cut 1	366,53	88,16	47,73	175,15
Rippe 2 – Cut 2	311,26	83,47	72,97	195,44
Rippe 2 – Cut 3	242,14	79,51	85,31	204,53
Rippe 2 – Cut 4	114,22	70,50	72,53	160,02
Distale Ulna – Cut 1	936,67	24,79	106,75	693,89
Distale Ulna – Cut 2	1458,07			
Distale Ulna – Cut 3	664,74			
Lendenwirbelquerfortsatz – Cut 1	55,92			
Lendenwirbelquerfortsatz – Cut 2	123,43	92,12	105,34	355,75
Lendenwirbelquerfortsatz – Cut 3	114,20			
Lendenwirbelquerfortsatz – Cut 4	66,87	72,48	128,65	41,07
Lendenwirbelquerfortsatz – Cut 5	110,18	92,35	150,77	58,76
Schafschädel – Cut 1	745,55	72,19	94,07	424,67
Unterkiefer – Cut 1	974,47	95,98	202,09	816,73
Unterkiefer – Cut 2	1213,20	79,37	155,37	888,73
Unterkiefer – Cut 3	1049,86	56,65	128,11	376,47
Unterkiefer – Cut 4	409,24			

Tab. 15: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.

Für den Unterschied zwischen den Marken musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden. Die erhöhten Fs-Werte sind rot unterlegt. Bei leeren Feldern war die Untersuchung aufgrund fehlender Daten nicht möglich.

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Rippe 1 - Cut 1	Rippe 1 - Cut 2	12,74			
Rippe 1 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 1	19,83	0,80	28,63	35,92
Rippe 1 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 2	33,44	0,02	19,72	34,17
Rippe 1 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 3	29,79	1,92	15,96	33,40
Rippe 1 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 4	42,11	9,92	19,86	37,25
Rippe 1 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 1	1,05	0,30	0,05	1,74
Rippe 1 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 2	0,26	2,10	2,15	0,63
Rippe 1 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 3	0,29	17,49	6,00	20,49
Rippe 1 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 4	19,63			
Rippe 1 - Cut 1	LWQ - Cut 1	47,08			
Rippe 1 - Cut 1	LWQ - Cut 2	49,22	0,01	10,71	21,88
Rippe 1 - Cut 1	LWQ - Cut 3	42,11			
Rippe 1 - Cut 1	LWQ - Cut 4	46,12	5,19	5,91	48,58
Rippe 1 - Cut 1	LWQ - Cut 5	42,44	0,01	2,66	46,80
Rippe 1 - Cut 1	Distale Ulna - Cut 1	1,09	64,24	10,38	4,90
Rippe 1 - Cut 1	Distale Ulna - Cut 2	4,06			
Rippe 1 - Cut 1	Distale Ulna - Cut 3	9,82			
Rippe 1 - Cut 1	Schafschädel - Cut 1	6,04	5,35	13,53	17,43

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Rippe 1 - Cut 2	Rippe 2 - Cut 1	0,31			
Rippe 1 - Cut 2	Rippe 2 - Cut 2	1,00			
Rippe 1 - Cut 2	Rippe 2 - Cut 3	1,64			
Rippe 1 - Cut 2	Rippe 2 - Cut 4	4,28			
Rippe 1 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 1	9,12			
Rippe 1 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 2	17,65			
Rippe 1 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 3	12,51			
Rippe 1 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 4	0,11			
Rippe 1 - Cut 2	LWQ - Cut 1	5,80			
Rippe 1 - Cut 2	LWQ - Cut 2	4,68			
Rippe 1 - Cut 2	LWQ - Cut 3	4,28			
Rippe 1 - Cut 2	LWQ - Cut 4	5,49			
Rippe 1 - Cut 2	LWQ - Cut 5	4,37			
Rippe 1 - Cut 2	Distale Ulna - Cut 1	5,58			
Rippe 1 - Cut 2	Distale Ulna - Cut 2	31,17			
Rippe 1 - Cut 2	Distale Ulna - Cut 3	1,42			
Rippe 1 - Cut 2	Schafschädel - Cut 1	2,60			

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Rippe 2 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 2	0,15	0,54	0,83	0,02
Rippe 2 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 3	0,58	5,21	1,84	0,05
Rippe 2 - Cut 1	Rippe 2 - Cut 4	2,60	16,36	0,80	0,01
Rippe 2 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 1	15,99	0,12	31,03	21,86
Rippe 2 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 2	27,07	5,49	15,09	27,04
Rippe 2 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 3	21,16	25,78	8,41	2,15
Rippe 2 - Cut 1	Unterkiefer - Cut 4	0,07			
Rippe 2 - Cut 1	LWQ - Cut 1	3,93			
Rippe 2 - Cut 1	LWQ - Cut 2	2,87	0,66	4,32	1,73
Rippe 2 - Cut 1	LWQ - Cut 3	2,60			
Rippe 2 - Cut 1	LWQ - Cut 4	3,66	10,07	8,53	0,95
Rippe 2 - Cut 1	LWQ - Cut 5	2,68	0,61	13,83	0,72
Rippe 2 - Cut 1	Distale Ulna - Cut 1	9,47	79,39	4,54	14,29
Rippe 2 - Cut 1	Distale Ulna - Cut 2	44,99			
Rippe 2 - Cut 1	Distale Ulna - Cut 3	4,03			
Rippe 2 - Cut 1	Schafschädel - Cut 1	5,86	10,29	2,80	3,31

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Rippe 2 - Cut 2	Rippe 2 - Cut 3	0,28	2,38	0,20	0,00
Rippe 2 - Cut 2	Rippe 2 - Cut 4	2,56	10,94	0,00	0,07
Rippe 2 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 1	31,97	0,15	21,71	20,50
Rippe 2 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 2	47,52	2,58	8,84	25,52
Rippe 2 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 3	42,93	18,83	3,96	1,74
Rippe 2 - Cut 2	Unterkiefer - Cut 4	0,56			
Rippe 2 - Cut 2	LWQ - Cut 1	4,30			
Rippe 2 - Cut 2	LWQ - Cut 2	3,14	0,01	1,36	1,36
Rippe 2 - Cut 2	LWQ - Cut 3	2,56			
Rippe 2 - Cut 2	LWQ - Cut 4	3,94	5,93	4,04	1,27
Rippe 2 - Cut 2	LWQ - Cut 5	2,67	0,00	7,88	0,99
Rippe 2 - Cut 2	Distale Ulna - Cut 1	15,67	66,78	1,49	13,19
Rippe 2 - Cut 2	Distale Ulna - Cut 2	76,82			
Rippe 2 - Cut 2	Distale Ulna - Cut 3	9,83			
Rippe 2 - Cut 2	Schafschädel - Cut 1	12,44	6,10	0,58	2,79

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Rippe 2 - Cut 3	Rippe 2 - Cut 4	0,76	3,11	0,21	0,11
Rippe 2 - Cut 3	Unterkiefer - Cut 1	26,58	3,75	17,76	19,90
Rippe 2 - Cut 3	Unterkiefer - Cut 2	40,06	0,00	6,39	24,86
Rippe 2 - Cut 3	Unterkiefer - Cut 3	34,11	7,81	2,39	1,57
Rippe 2 - Cut 3	Unterkiefer - Cut 4	1,19			
Rippe 2 - Cut 3	LWQ - Cut 1	1,61			
Rippe 2 - Cut 3	LWQ - Cut 2	0,80	2,17	0,52	1,21
Rippe 2 - Cut 3	LWQ - Cut 3	0,76			
Rippe 2 - Cut 3	LWQ - Cut 4	1,42	0,79	2,45	1,42
Rippe 2 - Cut 3	LWQ - Cut 5	0,81	2,25	5,58	1,13
Rippe 2 - Cut 3	Distale Ulna - Cut 1	15,37	43,93	0,60	12,72
Rippe 2 - Cut 3	Distale Ulna - Cut 2	62,81			
Rippe 2 - Cut 3	Distale Ulna - Cut 3	9,34			
Rippe 2 - Cut 3	Schafschädel - Cut 1	11,74	0,86	0,10	2,57

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ-CT [Fs]	HTS μ-CT [Fs]	HHS μ-CT [Fs]
Rippe 2 - Cut 4	Unterkiefer - Cut 1	40,63	13,68	21,86	22,90
Rippe 2 - Cut 4	Unterkiefer - Cut 2	55,97	2,89	8,94	28,20
Rippe 2 - Cut 4	Unterkiefer - Cut 3	51,00	1,07	4,02	2,49
Rippe 2 - Cut 4	Unterkiefer - Cut 4	4,03			
Rippe 2 - Cut 4	LWQ - Cut 1	0,17			
Rippe 2 - Cut 4	LWQ - Cut 2	0,01	10,46	1,40	2,03
Rippe 2 - Cut 4	LWQ - Cut 3	0,00			
Rippe 2 - Cut 4	LWQ - Cut 4	0,11	0,76	4,10	0,75
Rippe 2 - Cut 4	LWQ - Cut 5	0,00	10,65	7,97	0,54
Rippe 2 - Cut 4	Distale Ulna - Cut 1	22,99	23,67	1,53	15,13
Rippe 2 - Cut 4	Distale Ulna - Cut 2	83,69			
Rippe 2 - Cut 4	Distale Ulna - Cut 3	17,66			
Rippe 2 - Cut 4	Schafschädel - Cut 1	20,32	0,70	0,60	3,72
Unterkiefer - Cut 1	Unterkiefer - Cut 2	2,82	3,99	2,84	0,28
Unterkiefer - Cut 1	Unterkiefer - Cut 3	0,36	22,39	7,13	10,29
Unterkiefer - Cut 1	Unterkiefer - Cut 4	15,83			
Unterkiefer - Cut 1	LWQ - Cut 1	46,32			
Unterkiefer - Cut 1	LWQ - Cut 2	50,68	0,22	12,19	11,28
Unterkiefer - Cut 1	LWQ - Cut 3	40,63			
Unterkiefer - Cut 1	LWQ - Cut 4	45,22	7,99	7,02	31,95
Unterkiefer - Cut 1	LWQ - Cut 5	41,01	0,19	3,43	30,51
Unterkiefer - Cut 1	Distale Ulna - Cut 1	0,05	73,35	11,84	0,80
Unterkiefer - Cut 1	Distale Ulna - Cut 2	11,59			
Unterkiefer - Cut 1	Distale Ulna - Cut 3	6,09			
Unterkiefer - Cut 1	Schafschädel - Cut 1	2,88	8,19	15,20	8,16

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Unterkiefer - Cut 2	Unterkiefer - Cut 3	1,40	7,47	0,97	13,93
Unterkiefer - Cut 2	Unterkiefer - Cut 4	27,46			
Unterkiefer - Cut 2	LWQ - Cut 1	62,07			
Unterkiefer - Cut 2	LWQ - Cut 2	67,27	2,35	3,26	0,02
Unterkiefer - Cut 2	LWQ - Cut 3	55,97			
Unterkiefer - Cut 2	LWQ - Cut 4	60,90	0,69	0,93	5,26
Unterkiefer - Cut 2	LWQ - Cut 5	56,38	2,44	0,03	0,02
Unterkiefer - Cut 2	Distale Ulna - Cut 1	2,44	43,12	3,08	21,42
Unterkiefer - Cut 2	Distale Ulna - Cut 2	2,55			
Unterkiefer - Cut 2	Distale Ulna - Cut 3	15,73			
Unterkiefer - Cut 2	Schafschädel - Cut 1	10,14	0,75	4,89	3,85
Unterkiefer - Cut 3	Unterkiefer - Cut 4	21,46			
Unterkiefer - Cut 3	LWQ - Cut 1	57,56			
Unterkiefer - Cut 3	LWQ - Cut 2	64,82	18,21	0,68	0,02
Unterkiefer - Cut 3	LWQ - Cut 3	51,00			
Unterkiefer - Cut 3	LWQ - Cut 4	56,29	3,63	0,00	5,97
Unterkiefer - Cut 3	LWQ - Cut 5	51,44	18,45	0,67	5,36
Unterkiefer - Cut 3	Distale Ulna - Cut 1	0,47	14,69	0,59	5,35
Unterkiefer - Cut 3	Distale Ulna - Cut 2	8,71			
Unterkiefer - Cut 3	Distale Ulna - Cut 3	10,08			
Unterkiefer - Cut 3	Schafschädel - Cut 1	5,40	3,49	1,51	0,12

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Unterkiefer – Cut 4	LWQ - Cut 1	5,79			
Unterkiefer – Cut 4	LWQ - Cut 2	4,63			
Unterkiefer – Cut 4	LWQ - Cut 3	4,03			
Unterkiefer – Cut 4	LWQ - Cut 4	5,43			
Unterkiefer – Cut 4	LWQ - Cut 5	4,14			
Unterkiefer – Cut 4	Distale Ulna - Cut 1	8,68			
Unterkiefer – Cut 4	Distale Ulna - Cut 2	46,73			
Unterkiefer – Cut 4	Distale Ulna - Cut 3	3,41			
Unterkiefer – Cut 4	Schafschädel - Cut 1	5,24			
LWQ - Cut 1	LWQ - Cut 2	0,29			
LWQ - Cut 1	LWQ - Cut 3	0,17			
LWQ - Cut 1	LWQ - Cut 4	0,01			
LWQ - Cut 1	LWQ - Cut 5	0,15			
LWQ - Cut 1	Distale Ulna - Cut 1	26,36			
LWQ - Cut 1	Distale Ulna - Cut 2	91,11			
LWQ - Cut 1	Distale Ulna - Cut 3	21,59			
LWQ - Cut 1	Schafschädel - Cut 1	24,24			

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
LWQ - Cut 2	LWQ - Cut 3	0,01			
LWQ - Cut 2	LWQ - Cut 4	0,20	5,58	0,71	5,26
LWQ - Cut 2	LWQ - Cut 5	0,01	8,11e-04	2,69	4,68
LWQ - Cut 2	Distale Ulna - Cut 1	25,93	65,60	2,60-e03	6,07
LWQ - Cut 2	Distale Ulna - Cut 2	100,89			
LWQ - Cut 2	Distale Ulna - Cut 3	22,13			
LWQ - Cut 2	Schafschädel - Cut 1	24,66	5,75	0,17	0,25
LWQ - Cut 3	LWQ - Cut 4	0,11			
LWQ - Cut 3	LWQ - Cut 5	8,25e-04			
LWQ - Cut 3	Distale Ulna - Cut 1	22,99			
LWQ - Cut 3	Distale Ulna - Cut 2	83,69			
LWQ - Cut 3	Distale Ulna - Cut 3	17,66			
LWQ - Cut 3	Schafschädel - Cut 1	20,32			
LWQ - Cut 4	LWQ - Cut 5	0,10	5,72	0,64	0,02
LWQ - Cut 4	Distale Ulna - Cut 1	25,71	32,92	0,62	22,63
LWQ - Cut 4	Distale Ulna - Cut 2	89,69			
LWQ - Cut 4	Distale Ulna - Cut 3	20,82			
LWQ - Cut 4	Schafschädel - Cut 1	23,48	1,25E-03	1,56	7,81

Ergebnisse

Marke	Marke	Mges Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
LWQ - Cut 5	Distale Ulna - Cut 1	23,21	66,06	2,52	21,42
LWQ - Cut 5	Distale Ulna - Cut 2	84,20			
LWQ - Cut 5	Distale Ulna - Cut 3	17,92			
LWQ - Cut 5	Distale Ulna - Cut 4	4,14			
LWQ - Cut 5	Schafschädel - Cut 1	20,58	5,89	4,19	7,11
Distale Ulna - Cut 1	Distale Ulna - Cut 2	8,66			
Distale Ulna - Cut 1	Distale Ulna - Cut 3	2,74			
Distale Ulna - Cut 1	Schafschädel - Cut 1	1,24	32,51	0,21	3,85
Distale Ulna - Cut 2	Distale Ulna - Cut 3	32,91			
Distale Ulna - Cut 2	Schafschädel - Cut 1	23,53			
Distale Ulna - Cut 3	Distale Ulna - Cut 4	3,41			
Distale Ulna - Cut 3	Schafschädel - Cut 1	0,38			

Fluoreszenz

Bei Rippe 1, Rippe 2 und Unterkiefer wiesen die Mittelwerte laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). Die Mittelwerte von Lendenwirbelquerfortsatz (LWQ) und distaler Ulna wiesen keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$). Beim Schafschädel wurde kein Shapiro-Wilk-Test durchgeführt, da es hier nur eine Marke gab. Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der HHS bei Rippe 1, Rippe 2, Distale Ulna und Unterkiefer (Rippe 1: $F 8,43$, $p 0,03$; Rippe 2: $F 15,09$, $p 1,48e-05$; Distale Ulna: $F 14,08$, $p 5,75e-04$; Unterkiefer: $F 3,64$, $p 0,03$). Keine signifikanten Unterschiede gab es laut Varianzanalyse bei LWQ ($F 0,86$, $p 0,50$).

Beim Vergleich untereinander wiesen die Daten keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$) und die Varianzanalyse zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Marken ($F 19,91$, $p 1,21e-24$).

Bei der grafischen Darstellung mittels Boxplots zeigten sich beim Vergleich der Marken teils erhebliche Unterschiede (Abb. 39).

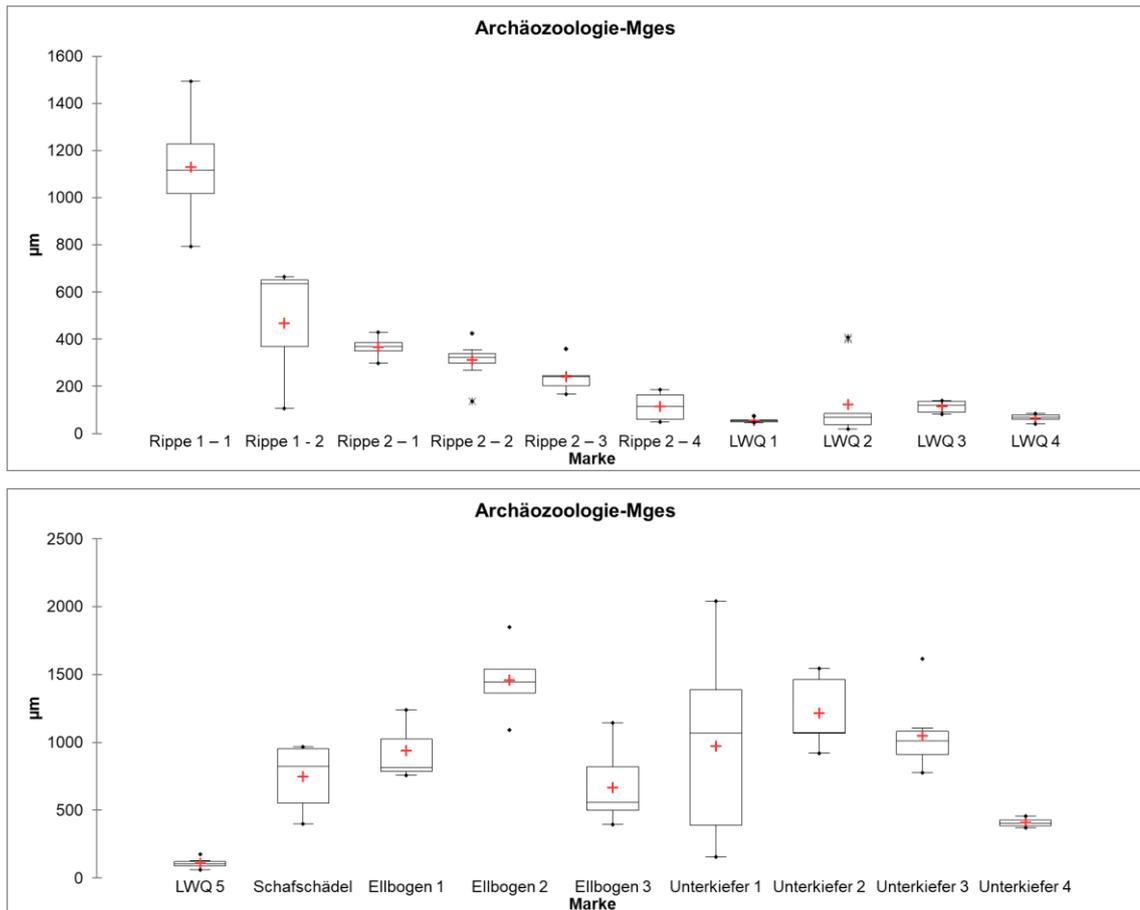


Abb. 39: Boxplots der Werte Mges der Marken der Tierknochen.

Die Werte der jeweiligen Marken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Von allen Werkzeugen zeigt LWQ die geringste Spannweite bei den Messungen, während Rippe 1 und Unterkiefer die größten Spannweiten zeigen. Die Sterne markieren Ausreißer.

Die geringsten Spannweiten zeigt LWQ, wobei sich hier 3 Ausreißer bei Cut 1, 2 und 5 finden. Bei Rippe 2 finden sich 3 Ausreißer. Zwei davon bei Cut 2, einer bei Cut 3. Bei der Ulna finden sich 2 Ausreißer bei Cut 2 und beim Unterkiefer findet sich ein Ausreißer bei Cut 3. Die größte Spannweite findet sich beim Unterkiefer bei Cut 1. Die Werte des Schafschädels weisen ebenfalls eine größere Spannweite auf. Die Varianzanalyse hat ergeben, dass es Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen gibt ($F_{19,91}$, $p_{1,21e-24}$).

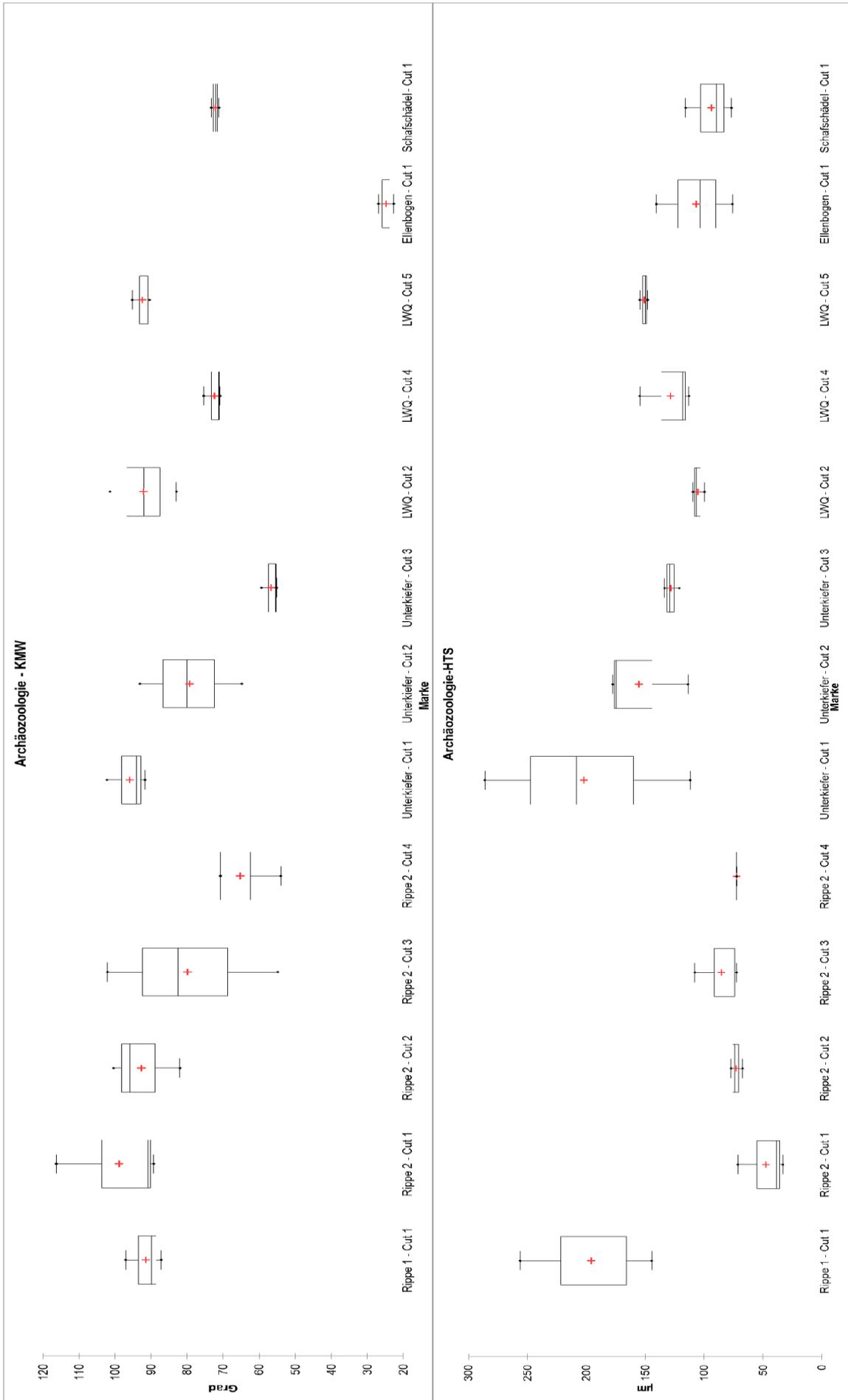
Der Scheffé-Test hat ergeben, dass die meisten signifikanten Unterschiede zu anderen Marken bei Cut 2 der distalen Ulna zu finden sind. Insgesamt sind hier 12 Unterschiede vorhanden. Der Cut vom Schafschädel und Cut 1 der distalen Ulna wiesen keine signifikanten Unterschiede zu allen anderen Marken auf. Rippe 1-1 wies 7 Unterschiede auf, Rippe 1-2: 1, Rippe 2-1: 1, Rippe 2-2: 5, Rippe 2-3: 3, Rippe 2-4: 5, LWQ 1: 5, LWQ 2: 5, LWQ 3: 5, LWQ 4: 5, LWQ 5: 5, Ulna 3: 1, Unterkiefer 1: 6, Unterkiefer 2: 8, Unterkiefer 3: 7, Unterkiefer 4: 1.

Mikro-CT

Bei Rippe 1, Ellbogen und Schafschädel konnte nur eine Kerbmarke vermessen werden. Bei Rippe 2 wiesen KMW und HHS eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$), HTS nicht ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse ergab keine signifikanten Unterschiede (KMW: $F 2,72$, $p 0,11$; HTS: $3,57$, $p 0,07$; HHS: $F 2,32$, $p 0,15$). Beim Unterkiefer waren KMW und HTS normalverteilt ($p > 0,05$), HHS war nicht normalverteilt ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede beim KMW ($F 14,79$, $4,79e-03$). HTS und HHS zeigten keine signifikanten Unterschiede (HTS: $F 1,40$, $p 0,32$; HHS: $F 2,79$, $p 0,14$). Beim LWQ waren der KMW und die HHS normalverteilt, bei der Ulna die HTS und HHS. Beim LWQ war der KMW normalverteilt ($p > 0,05$). HTS und HTS waren nicht normalverteilt ($p < 0,05$). Statistisch signifikante Unterschiede konnte bei allen 3 Messparametern gefunden werden (KMW: $F 11,96$, $p 8,07e-03$; HTS: $8,44$, $p 1,80e-02$; HHS: $F 87,73$, $p 3,62e-05$).

Beim Vergleich untereinander waren die Daten von KMW, HTS und HHS nicht normalverteilt ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse zeigte bei allen 3 Parametern signifikante Unterschiede (KMW: $F 12,25$, $p 8,05e-08$; HTS: $F 5,82$, $p 8,75e-05$; HHS $F 11,42$, $p 1,67e-07$).

Bei der grafischen Darstellung mittels Boxplots zeigten sich beim Vergleich der Marken teils erhebliche Unterschiede (Abb. 40).



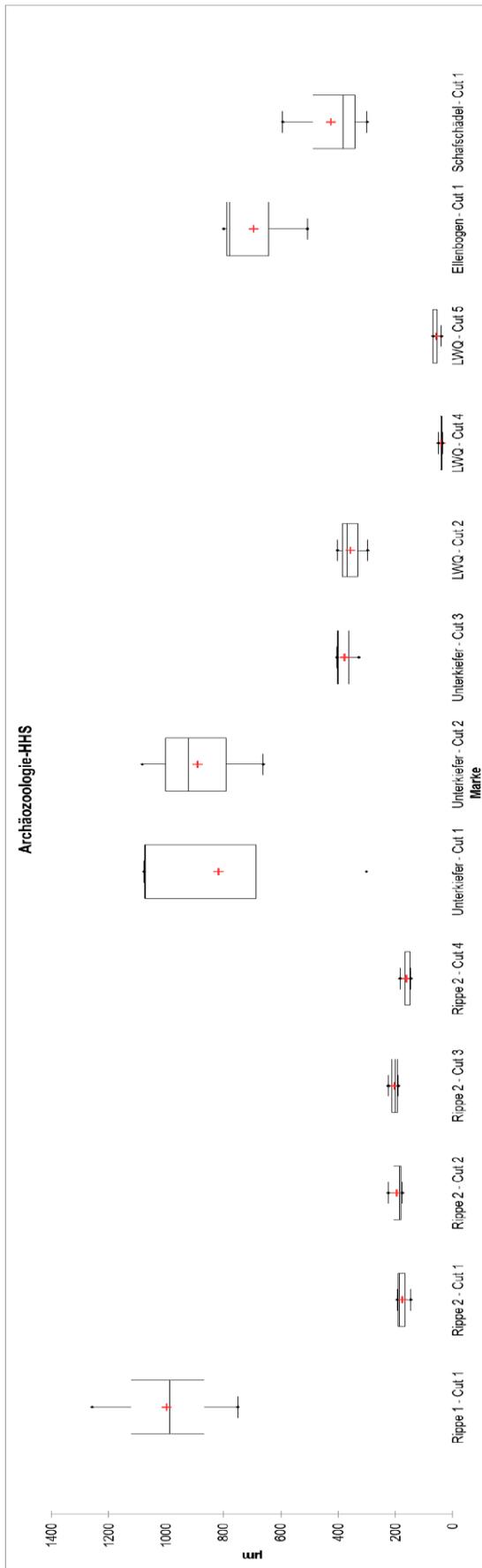


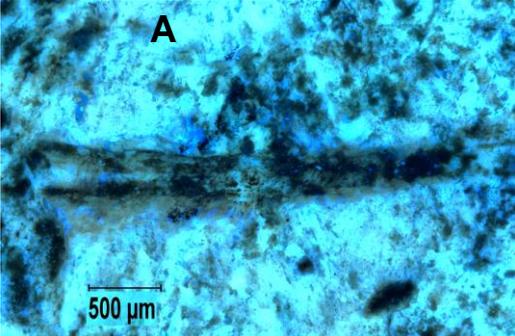
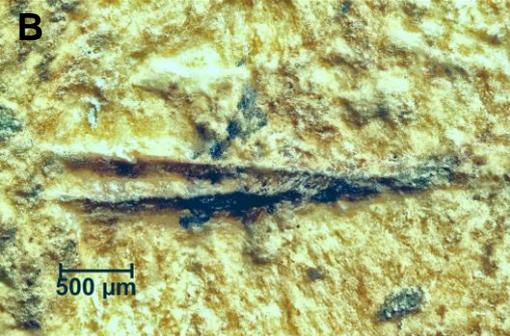
Abb. 40: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS der Marken der Tierknochen.
 Die Werte der jeweiligen Marken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt.
 Gemessen wurden die Mittelwerte der KMW, der HTS und der HHS.

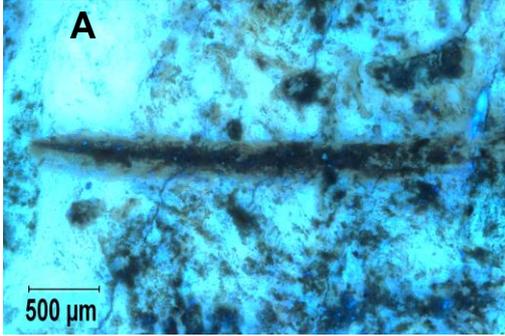
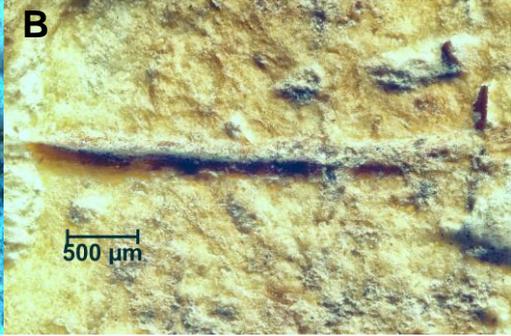
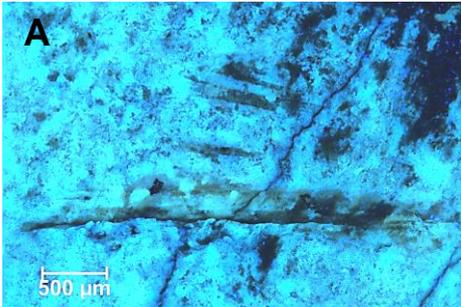
Von allen Marken zeigen bei den Winkelmessungen Rippe 2 – Cut 3 und LWQ – Cut 2 die größte Spannweite, bei HTS ist es Unterkiefer – Cut 1 und bei HHS zeigen Rippe 1 – Cut 1, Unterkiefer Cut 1 und Cut 2 die größte Spannweite. Die geringste Spannweite beim KMW hatte Cut 1 des Schafschädels, bei HTS war es Cut 4 von Rippe 2 und bei HHS LWQ – Cut 4.

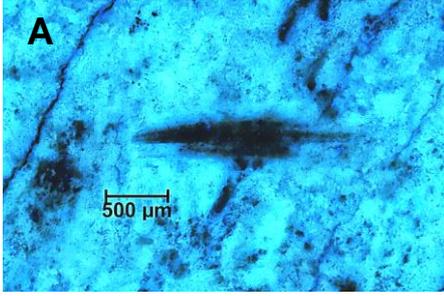
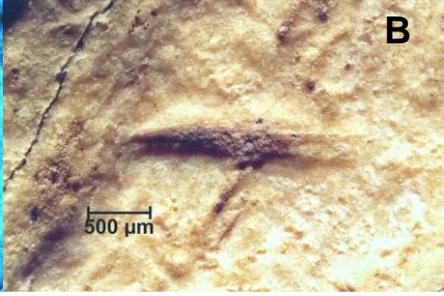
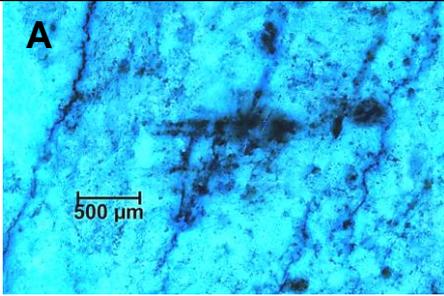
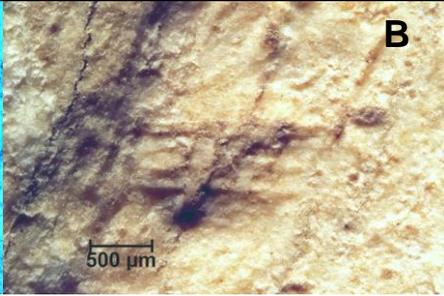
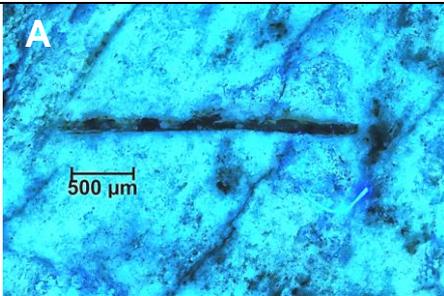
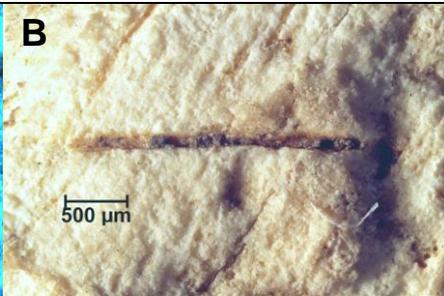
Mittels Mikro-CT konnten aufgrund der Auflösung nicht alle Marken vermessen werden. Verglichen mit den Daten der Fluoreszenz zeigen die vorhandenen Daten des Mikro-CT weniger signifikante Unterschiede zwischen den Marken.

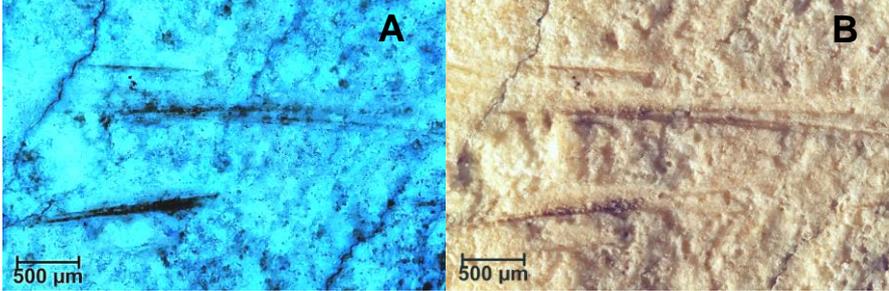
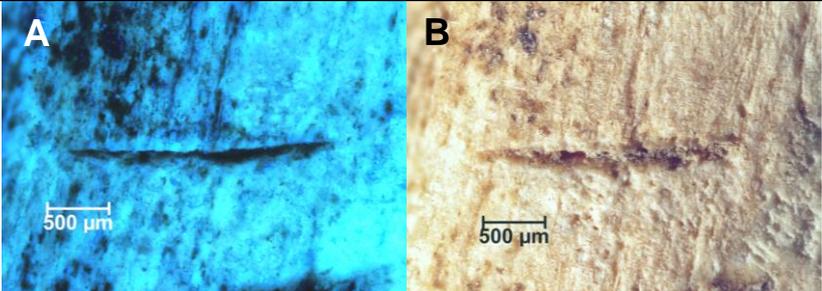
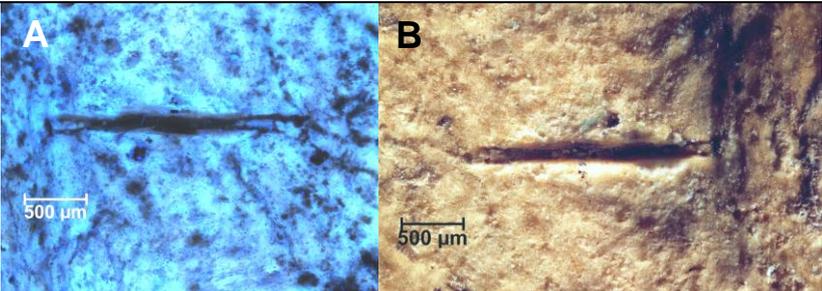
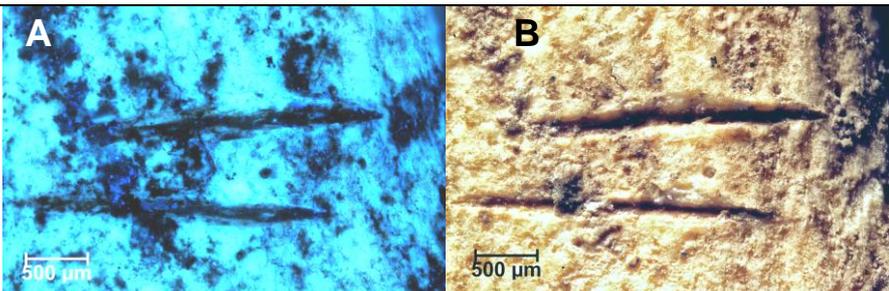
4.5 Analyse von prähistorischen Menschenknochen

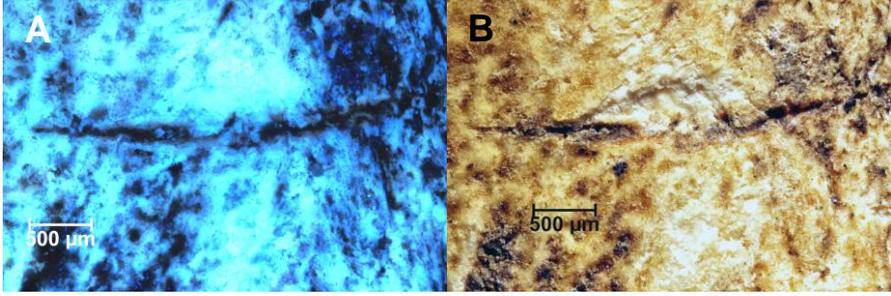
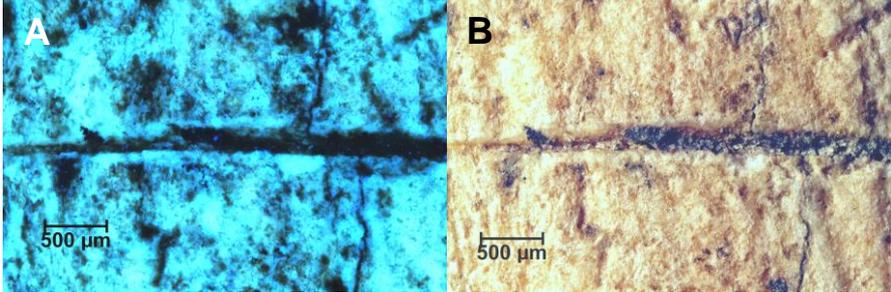
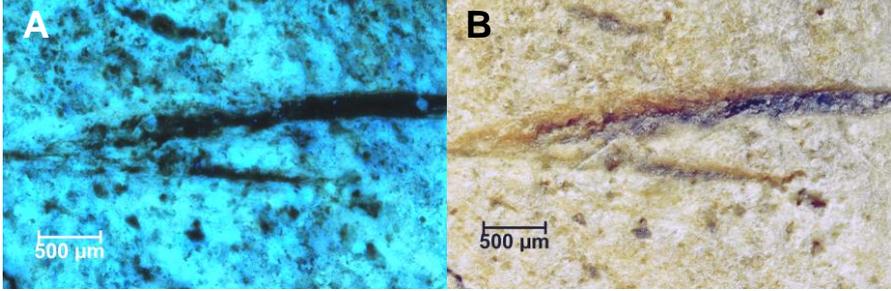
Die Marken wurden im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. (Abb. 41). Die Knochen stammten aus dem Naturhistorischen Museum Wien. Es handelt sich um Knochen zweier weiblichen Menschen aus der Bronzezeit (2200 – 1800 vor Christus), welche am gleichen Ort in Reichersdorf (Niederösterreich) gefunden wurden.

	Knochen	
	REICHERSDORF A	
	Rippe	
Übersicht		
Cut 1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> <p>500 µm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> <p>500 µm</p> </div> </div> <p>Die Kerbmarke wird in der Mitte durch eine Erhebung geteilt welche eine „Knocheninsel“ darstellt, die vermutlich durch Absetzen der Klinge entstanden sein dürfte. Der untere Rand ist aufgeraut, aber gut abgrenzbar. Der obere Rand ist durchgängig.</p>	

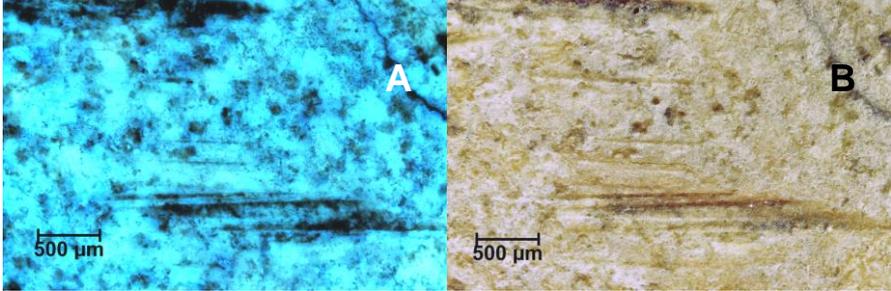
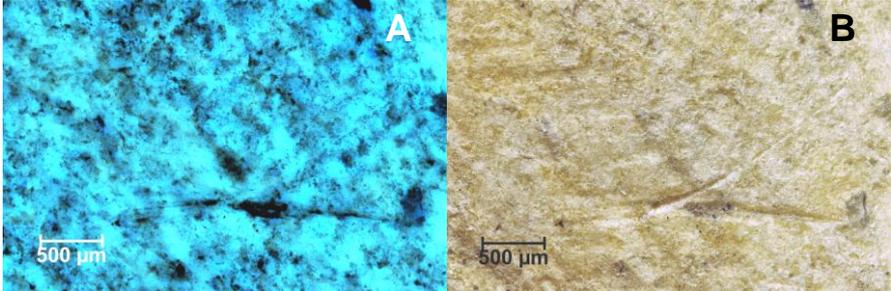
<p>Cut 2</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Die abgerundeten Ränder verlaufen mit einer Unterbrechung durchgehend, der Grund ist aufgeraut.</p>
<p>Clavicula</p>	
<p>Übersicht</p>	<div style="text-align: center;">  <p>10000 µm</p>  <p>10000 µm</p> </div>
<p>Cut 1</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Der obere Rand der Kerbmarke ist glatt und gut begrenzt, der untere Rand ist uneben. Die Innenseite des oberen Randes ist glatt. Über der Kerbmarke sind ebenfalls Kerbmarken zu sehen. Bei Aufnahme mit sichtbarem Licht könnte man diese als eingedrückte Stellen deuten. Mit der Fluoreszenzaufnahme sind aber lange dünne Striche zu erkennen, die auf einen Schnitt schließen lassen.</p>

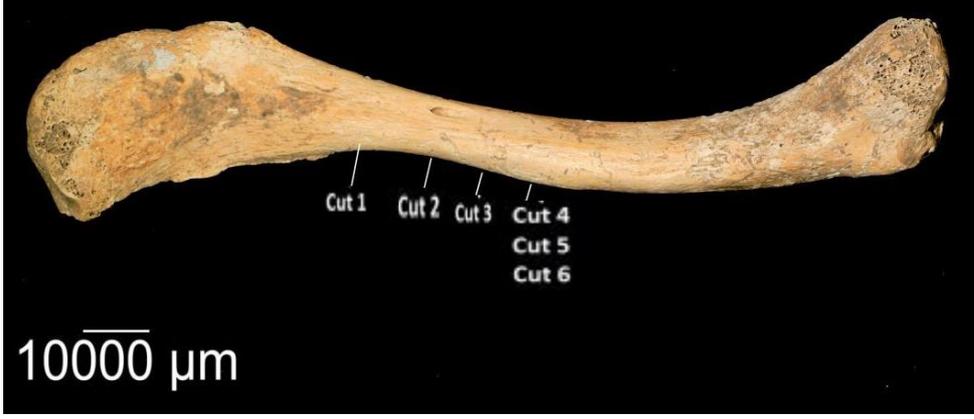
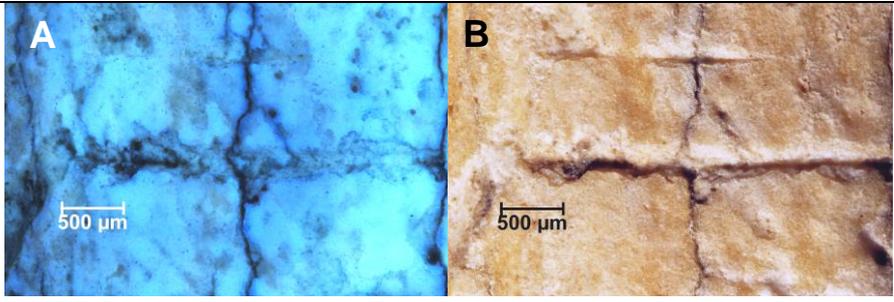
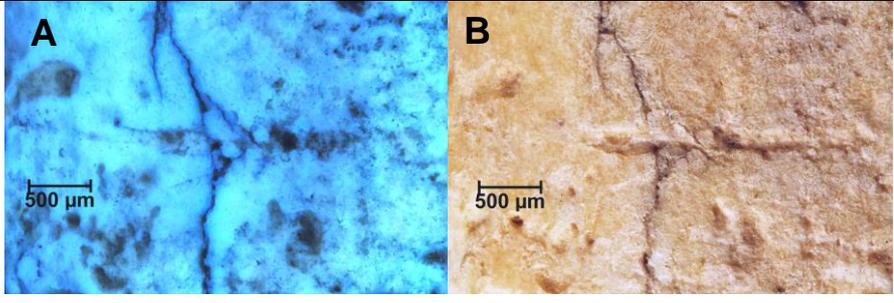
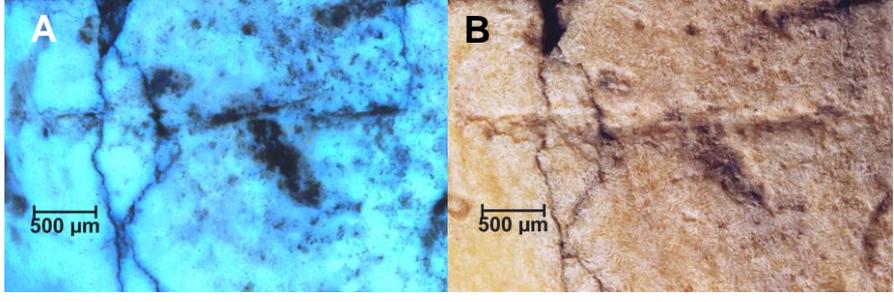
<p>Cut 2</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Die Ränder sind abgeschliffen und nicht gut abgrenzbar. Der Grund ist körnig. Am linken Rand ist die Kerbmarke zugespitzt, am rechten Rand sind zwei Ausläufer zu sehen.</p>
<p>Cut 3</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Mit sichtbarem Licht sind eingedrückte Stellen zu erkennen. Mit Hilfe der Fluoreszenz sind feine Striche erkennbar, die parallel verlaufen und vermutlich <i>False start</i>-Schnitte sind.</p>
<p>Cut 4</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Der obere Rand ist etwas aufgeraut, der untere größtenteils glatt. Diese verlaufen parallel. Der Grund ist körnig.</p>

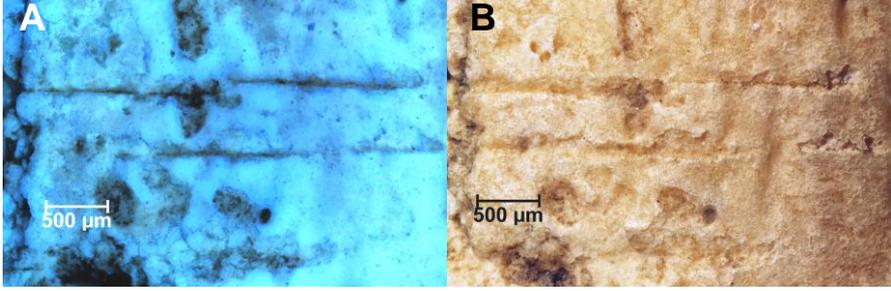
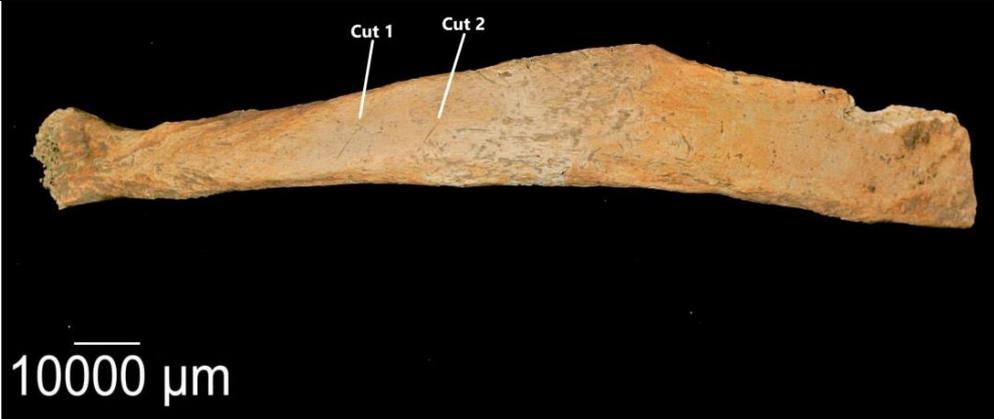
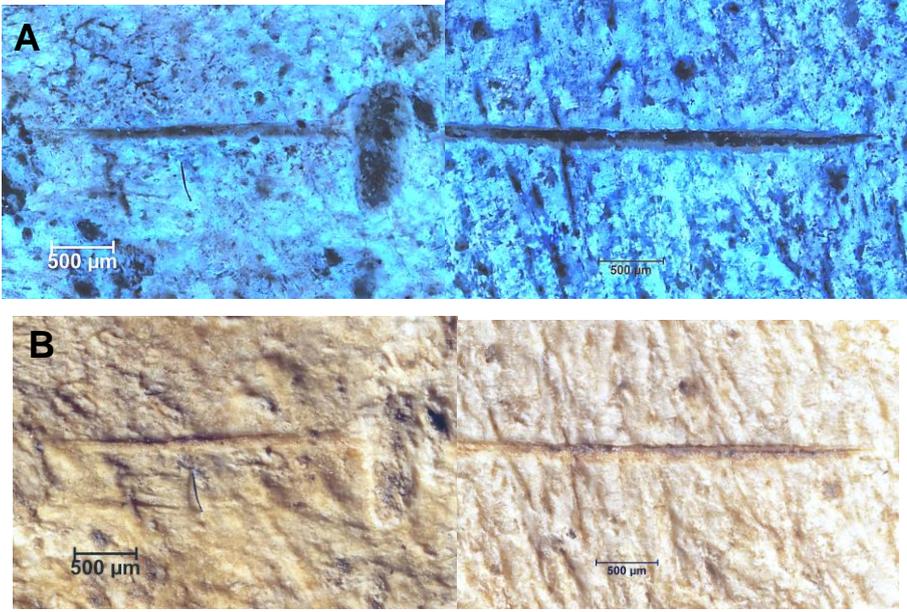
<p>Cut 5</p>	 <p>Der unterste Schnitt verläuft tief und geradlinig. Darüber sind feine Schnitte, die parallel verlaufen und an der Oberfläche lokalisiert sind, zu sehen. Diese können als <i>False start</i>-Schnitte gedeutet werden.</p>
<p>Cut 6</p>	 <p>Ränder sind glatt, die Innenseite des unteren Randes glatt.</p>
<p>Cut 7</p>	 <p>Die Ränder sind abgeschliffen und verlaufen parallel.</p>
<p>Cut 8-1 Cut 8-2</p>	 <p>Parallel verlaufende Kerbmarken. Die obere Marke ist breiter, der obere Rand ist nicht gleichmäßig. Bei der unteren Kerbmarke ist der obere Rand ebenfalls rauer, was das gleiche Werkzeug vermuten lässt.</p>

<p>Cut 9</p>	 <p>Ungleichmäßig verlaufende Kerbmarke, die mittig eine Abscherung aufweist, die nicht so alt wie der Schnitt sein dürfte, erkennbar an der verstärkten Fluoreszenz in dem Bereich.</p>
	<p>Radius</p>
<p>Übersicht</p>	
<p>Cut 1</p>	 <p>Der untere Rand ist etwas aufgeraut, der Grund körnig. An der linken Seite ist die Kerbmarke schmaler, auf der rechten Seite breiter.</p>
<p>Cut 2</p>	 <p>2 Kerbmarken, die an einer Seite zusammenlaufen. Die obere Kerbmarke ist breiter, der Boden aufgeraut. Die Ränder sind ebenfalls rau. Die untere Kerbmarke ist schmaler und mehr an der Oberfläche.</p>

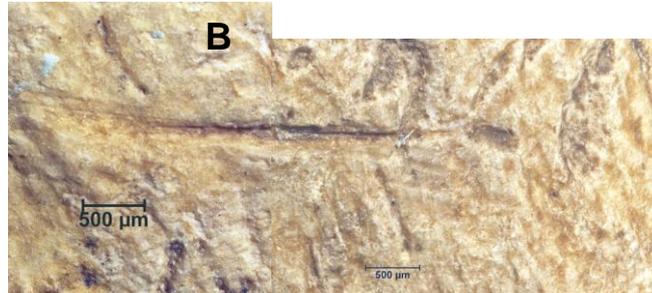
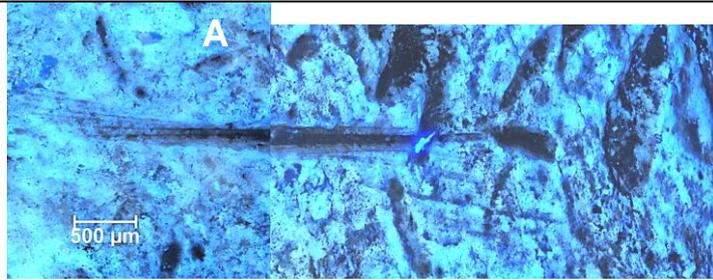
<p>Cut 3</p>	<div data-bbox="478 190 1369 481" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="406 504 1444 750">Der obere Rand der Kerbmarke ist scharf abgegrenzt, die untere flacher und rauher. Oberhalb und unterhalb der Kerbmarke sind in der Fluoreszenz parallele Marken (<i>False start</i>-Schnitte) zu sehen. Unter sichtbarem Licht sind die Marken weniger auffällig und könnten leicht übersehen werden.</p>
<p>Cut 4-1</p> <p>Cut 4-2</p>	<div data-bbox="590 779 1257 1097" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="590 1120 1257 1438" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="406 1456 1444 1601">2 Kerbmarken deren Ränder parallel verlaufen und der Grund rau ist. Oberhalb und unterhalb sind feinere Marken zu sehen, die parallel zu den tieferen Marken auftreten und vermutlich <i>False start</i>-Schnitte sind..</p>

Cut 5	 <p>Der obere Rand der Kerbmarke ist scharf abgegrenzt, der untere flacher und rauer. Oberhalb und unterhalb der Kerbmarke sind parallele Marken (<i>False start</i>-Schnitte) zu sehen.</p>
Cut 6	 <p>2 Kerbmarken, die an einem Ende zusammenlaufen. Die obere Marke ist schmaler und tiefer, die andere breiter und eher an der Oberfläche. Der Überlagerung nach dürfte die obere Marke später zugefügt worden sein, weil diese die untere Marke überlappt.</p>

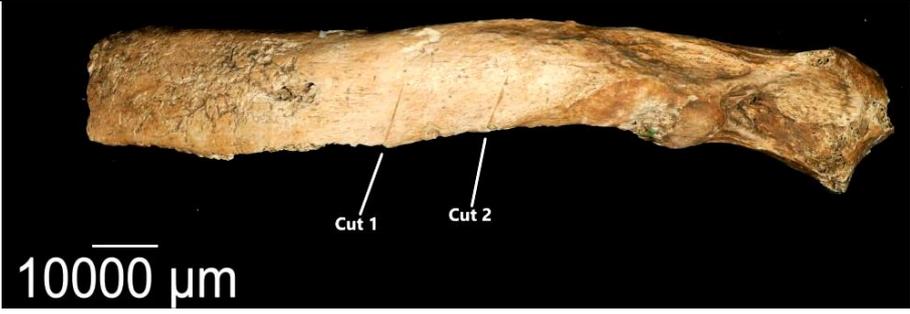
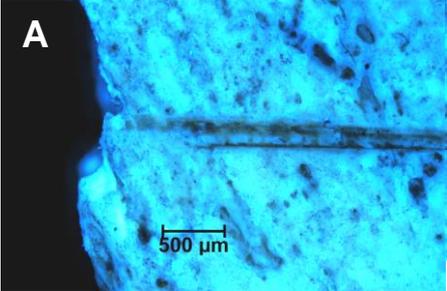
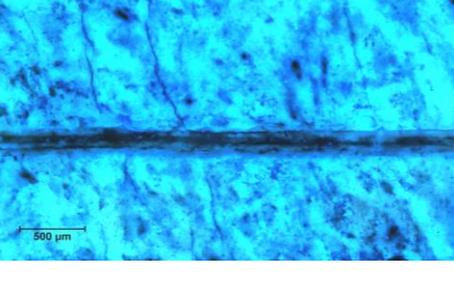
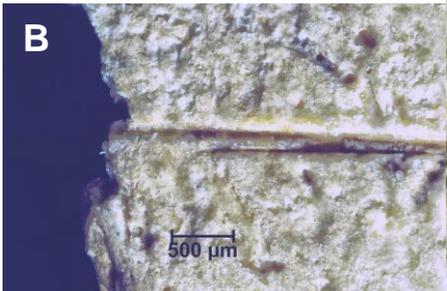
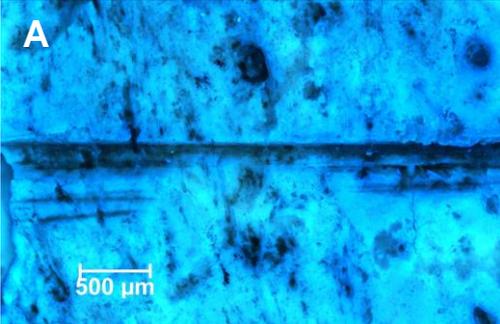
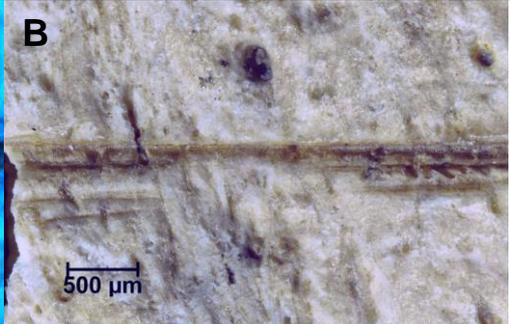
REICHERSDORF B	
Clavicula	
Übersicht	
Cut 1	 <p>Die Ränder sind aufgeraut. Oberhalb der großen Kerbmarke findet sich eine kleinere, die nicht durchgehend verläuft und weniger tief ist.</p>
Cut 2	 <p>Oberflächliche Kerbmarke mit rauen Rändern.</p>
Cut 3	 <p>Die Ränder verlaufen unregelmäßig und die Kerbmarke ist durch eine Einbuchtung, die darunter lokalisiert ist, unterbrochen.</p>

<p>Cut 4</p> <p>Cut 5</p> <p>Cut 6</p>	 <p>Zwei Kerbmarken, die parallel verlaufen und deren Ränder nicht regelmäßig und eher an der Oberfläche lokalisiert sind. Cut 6 ist nur ganz oberflächlich lokalisiert und weist Absplitterungen der obersten Knöchenschicht auf.</p>
<p>Übersicht</p>	<p style="text-align: center;">Rippe 1</p> 
<p>Cut 1</p>	 <p>Die Ränder verlaufen parallel und sind mittig von einer Einkerbung unterbrochen. Die Ränder und der Grund sind glatt. Unter dem Schnitt finden sich feine parallel verlaufende oberflächliche Schnitte (<i>False start-Schnitte</i>).</p>

Cut 2



Parallel verlaufende Ränder, die durchgehend und gut abgrenzbar sind. Am linken Ende finden sich feine Linien, die auf *Blade slide* oder mehrmaliges aufsetzen des Werkzeugs schließen lassen. Unterhalb der Kerbmarke finden sich oberflächliche feine, nahezu parallele Linien, die mit sichtbarem Licht leicht zu übersehen sind. In der Fluoreszenz sind diese als feine schwarze Striche dargestellt (*False start*-Schnitte).

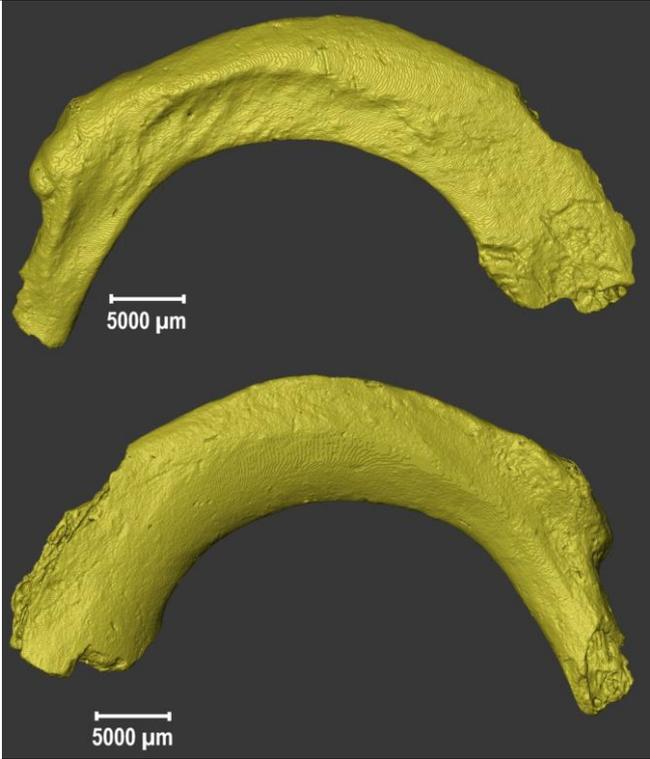
Rippe 2	
Übersicht	
Cut 1	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p>Parallel verlaufende, glatte Ränder, die am linken Ende von einer kleinen Knocheninsel geteilt sind, vermutlich durch kurzes Absetzen des Werkzeugs.</p> </div>
Cut 2	<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div> <p>Der obere Rand der Kerbmarke ist glatt, der untere Rand ist durch eine Vertiefung unterbrochen. Unter der Marke befinden sich parallel verlaufende oberflächliche Schnitte, die ebenfalls durch die Vertiefung unterbrochen sind. Diese sind kleiner und mehr an der Oberfläche lokalisiert (<i>False start</i>-Schnitte).</p>

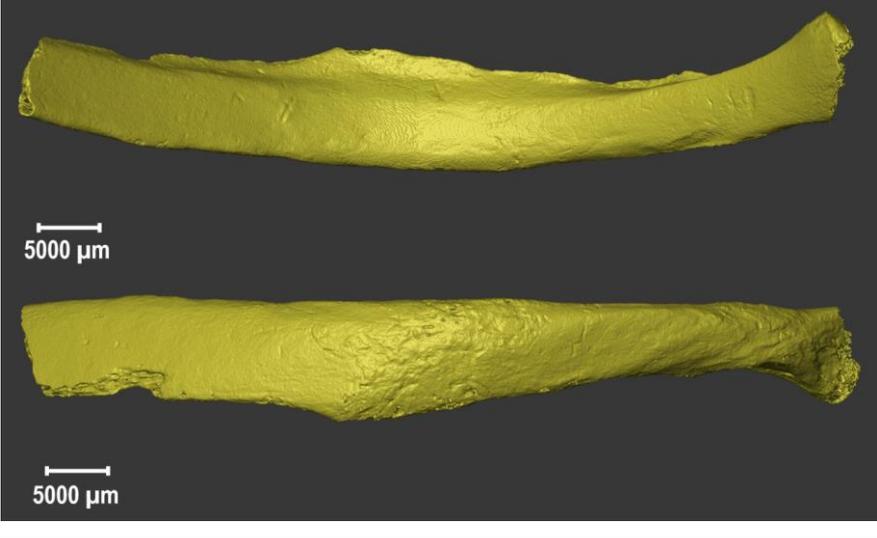
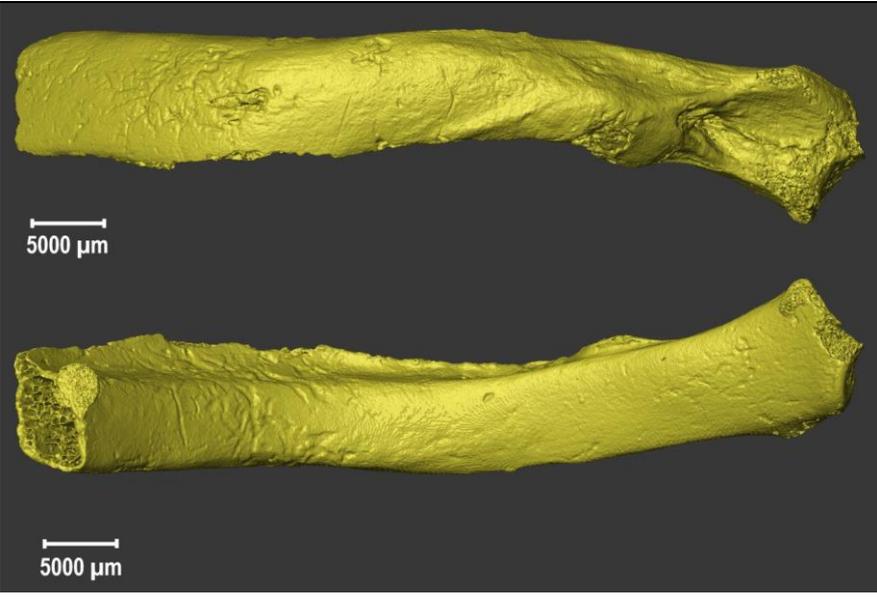
Radius	
Nagetierspuren	 <p>Vom Radius wurde nur eine Makrofotografie angefertigt. Zu sehen sind Nagetierspuren der Spezies <i>Arvicola terrestris</i> (Große Wühlmaus, Ostscherm Maus).</p>

Abb. 41: Licht- und Fluoreszenzmikroskopie der Menschenknochen mit den Marken.
 Aufnahme der Marken mittels Licht- und Fluoreszenzmikroskopie.

Anhand von Aufnahmen des Mikro-CT (Abb. 42) wurden die Kerbmarken miteinander verglichen. Da nicht alle Marken in der 3D-Rekonstruktion dargestellt werden können, werden die Knochen in der Übersicht gezeigt.

	Mikro-CT-Aufnahme
	Reichersdorf A
Clavicula	
Radius	

<p>Rippe</p>	
<p>Reichersdorf B</p>	
<p>Clavicula</p>	

<p>Rippe 1</p>	 <p>Two 3D surface scans of a rib, labeled 'Rippe 1'. The top scan shows a smooth, elongated rib with a slight curve. The bottom scan shows a similar rib but with a more pronounced, irregular shape, possibly indicating a fracture or a different anatomical feature. Both scans include a scale bar labeled '5000 µm'.</p>
<p>Rippe 2</p>	 <p>Two 3D surface scans of a rib, labeled 'Rippe 2'. The top scan shows a rib with a distinct, irregular shape, possibly indicating a fracture or a different anatomical feature. The bottom scan shows a similar rib but with a more pronounced, irregular shape, possibly indicating a fracture or a different anatomical feature. Both scans include a scale bar labeled '5000 µm'.</p>

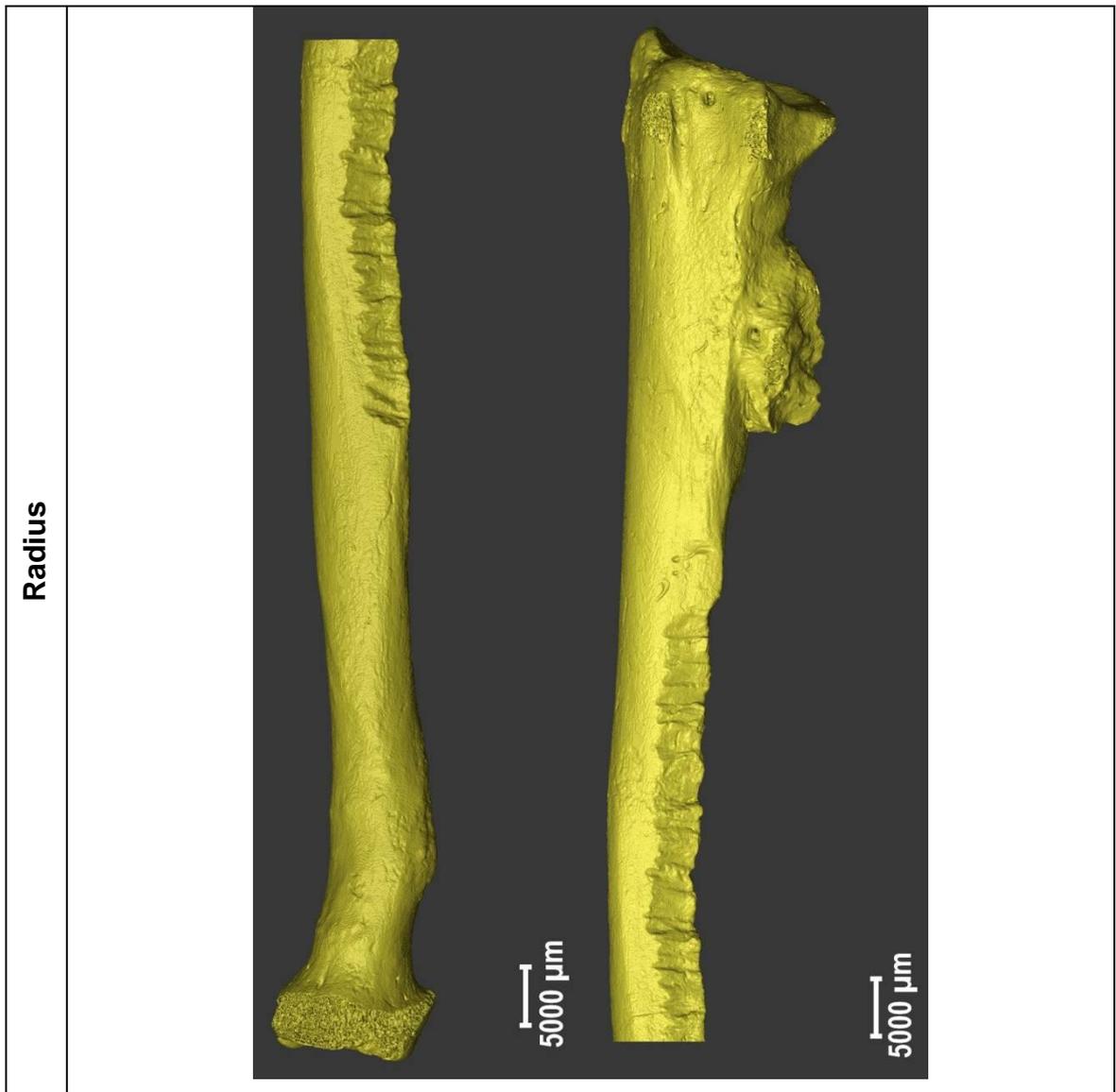


Abb. 42: Mikro-CT-Aufnahmen der Menschenknochen aus der Bronzezeit.
 Aufnahme der Marken mittels Mikro-CT. Beim Radius sind Nagetierspuren zu sehen,
 aber keine Cutmarken.

4.5.1.1 Beschreibung der Marken – Menschenknochen

Mittels spezieller Software wurden die Marken, welche mit Fluoreszenz und Mikro-CT aufgenommen wurden, vermessen. Tab. 16 zeigt die Mittelwerte der Parameter. Mit dem anschließenden Scheffé-Test (Tab. 17) konnte dargestellt werden, wo die Unterschiede zwischen den Gruppen sind. Dabei musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden.

Tab. 16: Abmessungen der Marken der Menschenknochen.

Anhand der Parameter wurden die Marken an mindestens 3 Stellen vermessen und die Mittelwerte miteinander verglichen. Bei leeren Feldern war eine Auswertung der Mikro-CT-Daten nicht möglich.

REICHERSDORF A				
Marke	HHS Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
A-Rippe, Cut 1	431,42	106,99	105,90	280,63
A-Rippe, Cut 2	294,75	120,45	81,65	288,02
A-Clavicula, Cut 1	253,19	95,52	119,78	315,81
A-Clavicula, Cut 2	168,60	115,43	130,64	273,21
A-Clavicula, Cut 3	160,78	109,11	79,26	271,24
A-Clavicula, Cut 4	110,54	95,31	81,50	150,95
A-Clavicula, Cut 5 oben	135,23			
A-Clavicula, Cut 5 unten	146,04			
A-Clavicula, Cut 6	114,13	110,46	78,79	78,79
A-Clavicula, Cut 7	192,32	65,63	79,45	79,45
A-Clavicula, Cut 8-1 (oben)	214,26	84,34	79,19	79,19
A-Clavicula, Cut 8-2 (unten)	161,77	88,07	93,04	93,04
A-Clavicula, Cut 9	219,68	81,68	91,56	274,30
A-Radius, Cut 1	184,62	100,08	92,91	231,18
A-Radius, Cut 2	216,92	96,00	85,49	257,20
A-Radius, Cut 3	104,65	80,81	90,15	166,16
A-Radius, Cut 4-1 (oben)	151,31	103,57	77,22	240,91
A-Radius, Cut 4-2 (unten)	165,60	90,72	79,49	243,54
A-Radius, Cut 5	179,58	102,44	79,42	256,11
A-Radius, Cut 6 oben	228,73			
A-Radius, Cut 6 unten	41,79			

REICHERSDORF B				
Marke	HHS Fluor [µm]	KMW µ-CT [Grad]	HTS µ-CT [µm]	HHS µ-CT [µm]
B-Rippe 1, Cut 1	156,62			
B-Rippe 1, Cut 2	223,73			
B-Rippe 2, Cut 1	207,59	97,22	94,40	217,29
B-Rippe 2, Cut 2	229,23	88,33	76,50	207,15
B-Clavicula, Cut 1	281,29	100,44	80,71	257,62
B-Clavicula, Cut 2	182,20	111,20	103,78	290,27
B-Clavicula, Cut 3	229,33			
B-Clavicula, Cut 4 oben	47,82			
B-Clavicula, Cut 5 mittig	29,35			
B-Clavicula, Cut 6 unten	54,16			

Tab. 17: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.

Für den Unterschied zwischen den Marken musste der kritische Scheffé-Wert, der ein Produktwert aus Freiheitsgraden und kritischem F-Wert ist, überschritten werden. Die erhöhten Fs-Werte sind rot unterlegt. Bei leeren Feldern war die Untersuchung aufgrund fehlender Daten nicht möglich.

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Clavicula_A_Cut1	Clavicula_B_Cut1	0,68	0,28	8,72	4,58
Clavicula_A_Cut1	Clavicula_B_Cut2	4,36	2,81	1,46	0,88
Clavicula_A_Cut1	Clavicula_B_Cut3	0,49			
Clavicula_A_Cut1	Clavicula_B_Cut4_oben	36,47			
Clavicula_A_Cut1	Clavicula_B_Cut5_mitte	43,32			
Clavicula_A_Cut1	Clavicula_B_Cut6_unten	34,25			
Clavicula_A_Cut1	Rippe1_B_Cut1	8,06			
Clavicula_A_Cut1	Rippe1_B_Cut2	0,75			
Clavicula_A_Cut1	Rippe2_B_Cut1	1,8	0,03	3,68	13,13
Clavicula_A_Cut1	Rippe2_B_Cut2	0,5	0,59	10,70	15,97
Clavicula_A_Cut2	Clavicula_B_Cut1	10,98	2,56	14,24	0,33
Clavicula_A_Cut2	Clavicula_B_Cut2	0,16	0,20	4,12	0,39
Clavicula_A_Cut2	Clavicula_B_Cut3	3,19			
Clavicula_A_Cut2	Clavicula_B_Cut4_oben	12,61			
Clavicula_A_Cut2	Clavicula_B_Cut5_mitte	16,77			
Clavicula_A_Cut2	Clavicula_B_Cut6_unten	11,32			
Clavicula_A_Cut2	Rippe1_B_Cut1	0,12			
Clavicula_A_Cut2	Rippe1_B_Cut2	2,63			
Clavicula_A_Cut2	Rippe2_B_Cut1	1,31	3,78	7,50	4,23
Clavicula_A_Cut2	Rippe2_B_Cut2	3,18	8,37	16,74	5,90

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Clavicula_A_Cut3	Clavicula_B_Cut1	12,56	0,86	0,01	0,25
Clavicula_A_Cut3	Clavicula_B_Cut2	0,4	0,05	3,43	0,49
Clavicula_A_Cut3	Clavicula_B_Cut3	4,06			
Clavicula_A_Cut3	Clavicula_B_Cut4_oben	11,03			
Clavicula_A_Cut3	Clavicula_B_Cut5_mitte	14,94			
Clavicula_A_Cut3	Clavicula_B_Cut6_unten	9,83			
Clavicula_A_Cut3	Rippe1_B_Cut1	0,01			
Clavicula_A_Cut3	Rippe1_B_Cut2	3,43			
Clavicula_A_Cut3	Rippe2_B_Cut1	1,9	1,61	1,31	3,94
Clavicula_A_Cut3	Rippe2_B_Cut2	4,05	4,93	0,04	5,56
Clavicula_A_Cut4	Clavicula_B_Cut1	25,21	0,30	0,00	15,40
Clavicula_A_Cut4	Clavicula_B_Cut2	4,44	2,88	2,83	26,26
Clavicula_A_Cut4	Clavicula_B_Cut3	12,2			
Clavicula_A_Cut4	Clavicula_B_Cut4_oben	3,4			
Clavicula_A_Cut4	Clavicula_B_Cut5_mitte	5,7			
Clavicula_A_Cut4	Clavicula_B_Cut6_unten	2,75			
Clavicula_A_Cut4	Rippe1_B_Cut1	1,84			
Clavicula_A_Cut4	Rippe1_B_Cut2	11,08			
Clavicula_A_Cut4	Rippe2_B_Cut1	8,14	0,04	0,95	5,95
Clavicula_A_Cut4	Rippe2_B_Cut2	12,18	0,56	0,14	4,27

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Clavicula_A_Cut5_oben	Clavicula_B_Cut1	18,45			
Clavicula_A_Cut5_oben	Clavicula_B_Cut2	1,91			
Clavicula_A_Cut5_oben	Clavicula_B_Cut3	7,66			
Clavicula_A_Cut5_oben	Clavicula_B_Cut4_oben	6,61			
Clavicula_A_Cut5_oben	Clavicula_B_Cut5_mitte	9,69			
Clavicula_A_Cut5_oben	Clavicula_B_Cut6_unten	5,68			
Clavicula_A_Cut5_oben	Rippe1_B_Cut1	0,4			
Clavicula_A_Cut5_oben	Rippe1_B_Cut2	6,77			
Clavicula_A_Cut5_oben	Rippe2_B_Cut1	4,53			
Clavicula_A_Cut5_oben	Rippe2_B_Cut2	7,64			
Clavicula_A_Cut5_unten	Clavicula_B_Cut1	15,82			
Clavicula_A_Cut5_unten	Clavicula_B_Cut2	1,13			
Clavicula_A_Cut5_unten	Clavicula_B_Cut3	6			
Clavicula_A_Cut5_unten	Clavicula_B_Cut4_oben	8,34			
Clavicula_A_Cut5_unten	Clavicula_B_Cut5_mitte	11,77			
Clavicula_A_Cut5_unten	Clavicula_B_Cut6_unten	7,3			
Clavicula_A_Cut5_unten	Rippe1_B_Cut1	0,1			
Clavicula_A_Cut5_unten	Rippe1_B_Cut2	5,22			
Clavicula_A_Cut5_unten	Rippe2_B_Cut1	3,28			
Clavicula_A_Cut5_unten	Rippe2_B_Cut2	5,98			

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Clavicula_A_Cut6	Clavicula_B_Cut1	15,82	1,15	0,02	43,27
Clavicula_A_Cut6	Clavicula_B_Cut2	1,13	0,01	3,57	60,51
Clavicula_A_Cut6	Clavicula_B_Cut3	6			
Clavicula_A_Cut6	Clavicula_B_Cut4_oben	8,34			
Clavicula_A_Cut6	Clavicula_B_Cut5_mitte	11,77			
Clavicula_A_Cut6	Clavicula_B_Cut6_unten	7,3			
Clavicula_A_Cut6	Rippe1_B_Cut1	0,1			
Clavicula_A_Cut6	Rippe1_B_Cut2	5,22			
Clavicula_A_Cut6	Rippe2_B_Cut1	3,28	2,00	1,39	25,95
Clavicula_A_Cut6	Rippe2_B_Cut2	5,98	5,59	0,03	22,29
Clavicula_A_Cut7	Clavicula_B_Cut1	24,16	13,82	0,01	42,95
Clavicula_A_Cut7	Clavicula_B_Cut2	4,01	23,69	3,38	60,13
Clavicula_A_Cut7	Clavicula_B_Cut3	11,47			
Clavicula_A_Cut7	Clavicula_B_Cut4_oben	3,8			
Clavicula_A_Cut7	Clavicula_B_Cut5_mitte	6,22			
Clavicula_A_Cut7	Clavicula_B_Cut6_unten	3,11			
Clavicula_A_Cut7	Rippe1_B_Cut1	1,56			
Clavicula_A_Cut7	Rippe1_B_Cut2	10,39			
Clavicula_A_Cut7	Rippe2_B_Cut1	7,55	11,38	1,28	25,71
Clavicula_A_Cut7	Rippe2_B_Cut2	11,45	5,88	0,05	22,07

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Clavicula_A_Cut_oben_8	Clavicula_B_Cut1	6,84	2,95	0,01	43,07
Clavicula_A_Cut_oben_8	Clavicula_B_Cut2	0,09	8,23	3,45	60,28
Clavicula_A_Cut_oben_8	Clavicula_B_Cut3	1,18			
Clavicula_A_Cut_oben_8	Clavicula_B_Cut4_oben	18,05			
Clavicula_A_Cut_oben_8	Clavicula_B_Cut5_mitte	22,96			
Clavicula_A_Cut_oben_8	Clavicula_B_Cut6_unten	16,5			
Clavicula_A_Cut_oben_8	Rippe1_B_Cut1	1,1			
Clavicula_A_Cut_oben_8	Rippe1_B_Cut2	0,85			
Clavicula_A_Cut_oben_8	Rippe2_B_Cut1	0,2	1,89	1,32	25,80
Clavicula_A_Cut_oben_8	Rippe2_B_Cut2	1,18	0,18	0,04	22,15
Clavicula_A_Cut_unten_8	Clavicula_B_Cut1	3,88	1,74	0,87	36,65
Clavicula_A_Cut_unten_8	Clavicula_B_Cut2	0,89	6,10	0,66	52,63
Clavicula_A_Cut_unten_8	Clavicula_B_Cut3	0,2			
Clavicula_A_Cut_unten_8	Clavicula_B_Cut4_oben	23,95			
Clavicula_A_Cut_unten_8	Clavicula_B_Cut5_mitte	29,57			
Clavicula_A_Cut_unten_8	Clavicula_B_Cut6_unten	22,16			
Clavicula_A_Cut_unten_8	Rippe1_B_Cut1	2,87			
Clavicula_A_Cut_unten_8	Rippe1_B_Cut2	0,08			
Clavicula_A_Cut_unten_8	Rippe2_B_Cut1	0,04	0,95	0,01	20,88
Clavicula_A_Cut_unten_8	Rippe2_B_Cut2	0,19	7,51e-04	1,56	17,62

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Clavicula_A_Cut9	Clavicula_B_Cut1	12,35	4,01	0,67	0,38
Clavicula_A_Cut9	Clavicula_B_Cut2	0,36	9,94	0,85	0,35
Clavicula_A_Cut9	Clavicula_B_Cut3	3,95			
Clavicula_A_Cut9	Clavicula_B_Cut4_oben	11,23			
Clavicula_A_Cut9	Clavicula_B_Cut5_mitte	15,16			
Clavicula_A_Cut9	Clavicula_B_Cut6_unten	10,01			
Clavicula_A_Cut9	Rippe1_B_Cut1	0,02			
Clavicula_A_Cut9	Rippe1_B_Cut2	3,32			
Clavicula_A_Cut9	Rippe2_B_Cut1	1,82	2,75	0,05	4,40
Clavicula_A_Cut9	Rippe2_B_Cut2	3,93	0,50	1,30	6,10
RippeC1_A_Cut1	Clavicula_B_Cut1	3,28	0,49	3,62	0,72
RippeC1_A_Cut1	Clavicula_B_Cut2	1,21	0,20	0,03	0,13
RippeC1_A_Cut1	Clavicula_B_Cut3	0,08			
RippeC1_A_Cut1	Clavicula_B_Cut4_oben	25,54			
RippeC1_A_Cut1	Clavicula_B_Cut5_mitte	31,32			
RippeC1_A_Cut1	Clavicula_B_Cut6_unten	23,69			
RippeC1_A_Cut1	Rippe1_B_Cut1	3,44			
RippeC1_A_Cut1	Rippe1_B_Cut2	0,01			
RippeC1_A_Cut1	Rippe2_B_Cut1	0,13	1,09	0,76	5,43
RippeC1_A_Cut1	Rippe2_B_Cut2	0,08	3,97	4,94	7,30

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
RippeC1_A_Cut2	Clavicula_B_Cut1	19,49	4,57	0,01	1,25
RippeC1_A_Cut2	Clavicula_B_Cut2	53,71	0,98	2,80	0,01
RippeC1_A_Cut2	Clavicula_B_Cut3	35,32			
RippeC1_A_Cut2	Clavicula_B_Cut4_oben	127,24			
RippeC1_A_Cut2	Clavicula_B_Cut5_mitte	139,79			
RippeC1_A_Cut2	Clavicula_B_Cut6_unten	123,07			
RippeC1_A_Cut2	Rippe1_B_Cut1	65,3			
RippeC1_A_Cut2	Rippe1_B_Cut2	37,3			
RippeC1_A_Cut2	Rippe2_B_Cut1	43,32	6,15	0,93	6,77
RippeC1_A_Cut2	Rippe2_B_Cut2	35,35	11,77	0,15	8,85
Radius_A_Cut1	Clavicula_B_Cut1	0,16	1,48e-03	0,85	0,95
Radius_A_Cut1	Clavicula_B_Cut2	10,95	1,41	0,68	4,72
Radius_A_Cut1	Clavicula_B_Cut3	3,7			
Radius_A_Cut1	Clavicula_B_Cut4_oben	52,72			
Radius_A_Cut1	Clavicula_B_Cut5_mitte	60,9			
Radius_A_Cut1	Clavicula_B_Cut6_unten	50,05			
Radius_A_Cut1	Rippe1_B_Cut1	16,5			
Radius_A_Cut1	Rippe1_B_Cut2	4,36			
Radius_A_Cut1	Rippe2_B_Cut1	6,57	0,09	0,01	0,26
Radius_A_Cut1	Rippe2_B_Cut2	3,71	1,57	1,54	0,78

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Radius _A_Cut2 oben	Clavicula _B_Cut1	8,08	0,22	0,13	0,00
Radius _A_Cut2 oben	Clavicula _B_Cut2	0,01	2,64	1,91	1,48
Radius _A_Cut2 oben	Clavicula _B_Cut3	1,73			
Radius _A_Cut2 oben	Clavicula _B_Cut4_oben	16,18			
Radius _A_Cut2 oben	Clavicula _B_Cut5_mitte	20,85			
Radius _A_Cut2 oben	Clavicula _B_Cut6_unten	14,72			
Radius _A_Cut2 oben	Rippe1 _B_Cut1	0,68			
Radius _A_Cut2 oben	Rippe1 _B_Cut2	1,32			
Radius _A_Cut2 oben	Rippe2 _B_Cut1	0,46	0,02	0,45	2,15
Radius _A_Cut2 oben	Rippe2 _B_Cut2	1,72	0,67	0,46	3,39
Radius _A_Cut2 unten	Clavicula _B_Cut1	3,58			
Radius _A_Cut2 unten	Clavicula _B_Cut2	1,04			
Radius _A_Cut2 unten	Clavicula _B_Cut3	0,13			
Radius _A_Cut2 unten	Clavicula _B_Cut4_oben	24,73			
Radius _A_Cut2 unten	Clavicula _B_Cut5_mitte	30,42			
Radius _A_Cut2 unten	Clavicula _B_Cut6_unten	22,91			
Radius _A_Cut2 unten	Rippe1 _B_Cut1	3,14			
Radius _A_Cut2 unten	Rippe1 _B_Cut2	0,04			
Radius _A_Cut2 unten	Rippe2 _B_Cut1	0,08			
Radius _A_Cut2 unten	Rippe2 _B_Cut2	0,13			

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Radius _A_Cut3	Clavicula_B_Cut1	26,98	4,39	0,51	11,32
Radius _A_Cut3	Clavicula_B_Cut2	5,2	10,54	1,06	20,84
Radius _A_Cut3	Clavicula_B_Cut3	13,44			
Radius _A_Cut3	Clavicula_B_Cut4_oben	2,79			
Radius _A_Cut3	Clavicula_B_Cut5_mitte	4,9			
Radius _A_Cut3	Clavicula_B_Cut6_unten	2,2			
Radius _A_Cut3	Rippe1_B_Cut1	2,34			
Radius _A_Cut3	Rippe1_B_Cut2	12,26			
Radius _A_Cut3	Rippe2_B_Cut1	9,16	3,07	0,10	3,54
Radius _A_Cut3	Rippe2_B_Cut2	13,42	0,64	1,06	2,27
Radius _A_Cut4_oben	Clavicula_B_Cut1	14,61	0,11	0,51	0,38
Radius _A_Cut4_oben	Clavicula_B_Cut2	0,83	0,66	1,06	3,30
Radius _A_Cut4_oben	Clavicula_B_Cut3	5,26			
Radius _A_Cut4_oben	Clavicula_B_Cut4_oben	9,26			
Radius _A_Cut4_oben	Clavicula_B_Cut5_mitte	12,86			
Radius _A_Cut4_oben	Clavicula_B_Cut6_unten	8,16			
Radius _A_Cut4_oben	Rippe1_B_Cut1	0,02			
Radius _A_Cut4_oben	Rippe1_B_Cut2	4,53			
Radius _A_Cut4_oben	Rippe2_B_Cut1	2,74	0,46	0,10	0,76
Radius _A_Cut4_oben	Rippe2_B_Cut2	5,25	2,65	1,06	1,54

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Radius _A_Cut4_unten	Clavicula_B_Cut1	11,57	1,08	0,01	89,79
Radius _A_Cut4_unten	Clavicula_B_Cut2	0,24	4,79	3,37	113,99
Radius _A_Cut4_unten	Clavicula_B_Cut3	3,51			
Radius _A_Cut4_unten	Clavicula_B_Cut4_oben	11,99			
Radius _A_Cut4_unten	Clavicula_B_Cut5_mitte	16,05			
Radius _A_Cut4_unten	Clavicula_B_Cut6_unten	10,74			
Radius _A_Cut4_unten	Rippe1_B_Cut1	0,07			
Radius _A_Cut4_unten	Rippe1_B_Cut2	2,92			
Radius _A_Cut4_unten	Rippe2_B_Cut1	1,53	0,48	1,27	63,88
Radius _A_Cut4_unten	Rippe2_B_Cut2	3,5	0,07	0,05	58,06
Radius _A_Cut5	Clavicula_B_Cut1	2,39	0,05	0,01	0,00
Radius _A_Cut5	Clavicula_B_Cut2	1,87	0,88	3,39	1,58
Radius _A_Cut5	Clavicula_B_Cut3	0			
Radius _A_Cut5	Clavicula_B_Cut4_oben	28,3			
Radius _A_Cut5	Clavicula_B_Cut5_mitte	34,37			
Radius _A_Cut5	Clavicula_B_Cut6_unten	26,35			
Radius _A_Cut5	Rippe1_B_Cut1	4,5			
Radius _A_Cut5	Rippe1_B_Cut2	0,02			
Radius _A_Cut5	Rippe2_B_Cut1	0,39	0,31	1,28	2,04
Radius _A_Cut5	Rippe2_B_Cut2	0	2,27	0,05	3,24

Ergebnisse

Kerbmarke	Kerbmarke	HHS Fluor [Fs]	KMW μ -CT [Fs]	HTS μ -CT [Fs]	HHS μ -CT [Fs]
Radius _A_Cut6_oben	Clavicula_B_Cut1	49,6			
Radius _A_Cut6_oben	Clavicula_B_Cut2	17,05			
Radius _A_Cut6_oben	Clavicula_B_Cut3	30,41			
Radius _A_Cut6_oben	Clavicula_B_Cut4_oben	0,03			
Radius _A_Cut6_oben	Clavicula_B_Cut5_mitte	0,13			
Radius _A_Cut6_oben	Clavicula_B_Cut6_unten	0,13			
Radius _A_Cut6_oben	Rippe1_B_Cut1	11,4			
Radius _A_Cut6_oben	Rippe1_B_Cut2	28,62			
Radius _A_Cut6_oben	Rippe2_B_Cut1	23,77			
Radius _A_Cut6_oben	Rippe2_B_Cut2	30,38			
Radius _A_Cut6_unten	Clavicula_B_Cut1	30,38			
Radius _A_Cut6_unten	Clavicula_B_Cut2	6,75			
Radius _A_Cut6_unten	Clavicula_B_Cut3	15,87			
Radius _A_Cut6_unten	Clavicula_B_Cut4_oben	1,83			
Radius _A_Cut6_unten	Clavicula_B_Cut5_mitte	3,6			
Radius _A_Cut6_unten	Clavicula_B_Cut6_unten	1,36			
Radius _A_Cut6_unten	Rippe1_B_Cut1	3,41			
Radius _A_Cut6_unten	Rippe1_B_Cut2	14,59			
Radius _A_Cut6_unten	Rippe2_B_Cut1	11,19			
Radius _A_Cut6_unten	Rippe2_B_Cut2	15,85			

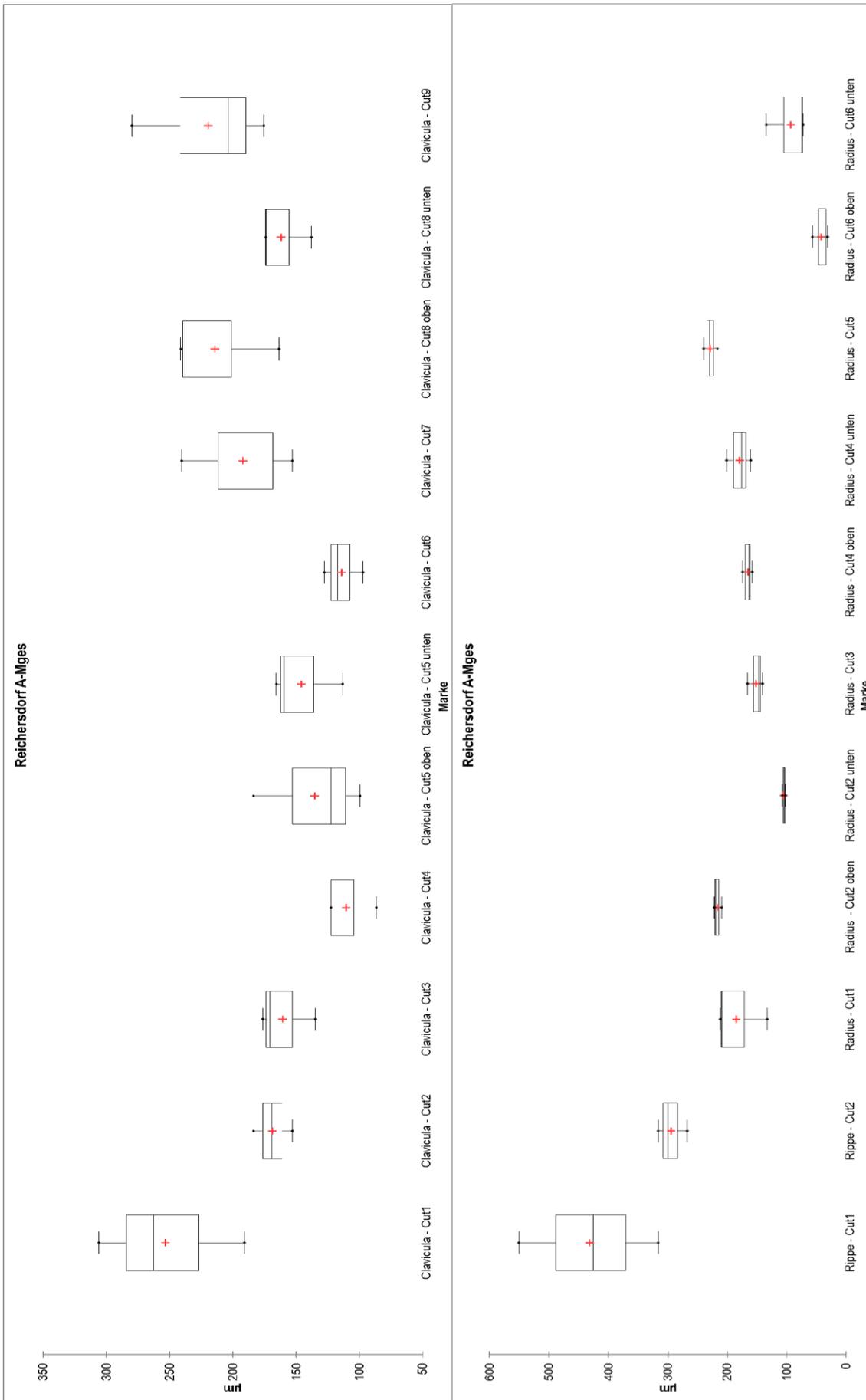
Fluoreszenz

Bei den Funden von Reichersdorf A wiesen die Daten der Clavicula, der Rippe und des Radius eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede bei der Clavicula ($F 4,58, p 1,41e-03$) und dem Radius ($F 12,74, p 1,77e-05$). Keine signifikanten Unterschiede gab es bei der Rippe ($F 3,90, p 0,12$).

Bei den Funden von Reichersdorf B wiesen die Daten der Clavicula und der Rippe 2 keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$), die Daten der Rippe 1 wiesen eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede bei der Clavicula ($F 11,77, p 2,74e-04$) und bei Rippe 1 ($F 8,51, p 0,04$). Keine signifikanten Unterschiede gab es bei Rippe 2 ($F 0,49, p 0,52$).

Vergleicht man Reichersdorf A mit Reichersdorf B zeigen die Daten keine Normalverteilung ($p < 0,5$) und signifikante Unterschiede zwischen den Werten ($F 11,63, p 2,20e-16$).

Mittels Boxplots (Abb. 43) wurden die Daten grafisch dargestellt.



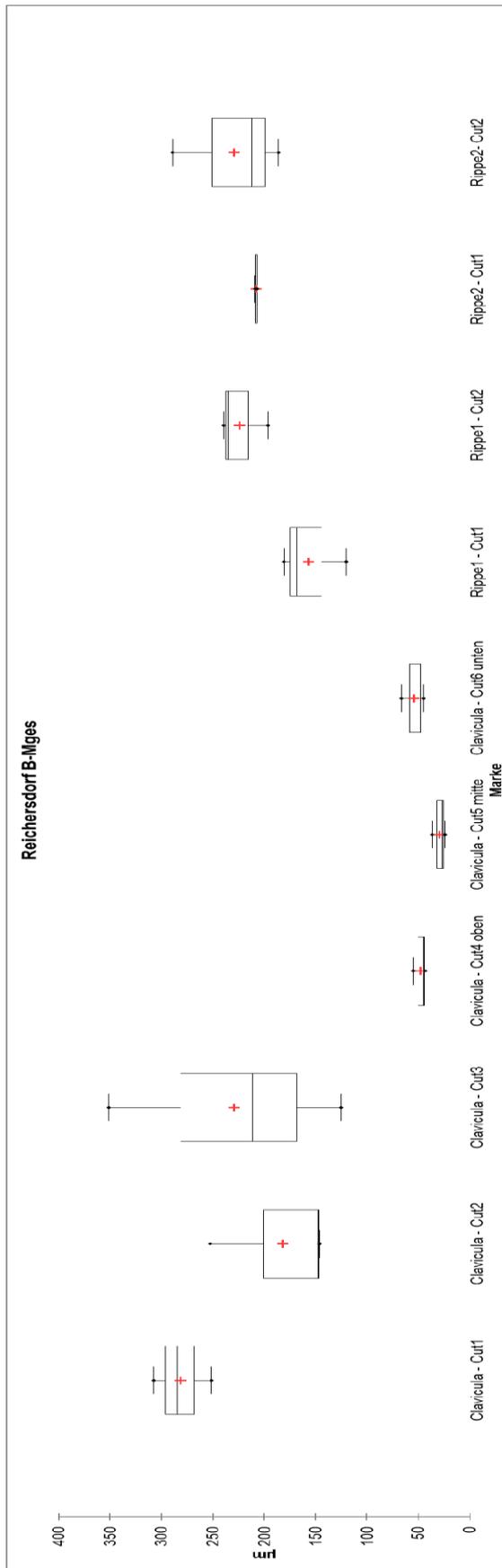


Abb. 43: Boxplots der Werte Mges der Marken der Menschenknochen.
 Die Werte der jeweiligen Marken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Gemessen wurden die Mittelwerte der HHS. Die Sterne markieren Ausreißer .

Die Spannweiten der gemessenen Werte bei der Clavicula von Reichersdorf A stellen sich recht homogen dar, was auf das selbe Werkzeug schließen lässt. Die minimalen Unterschiede zwischen den Werten könnten auf veränderte Kraftausübungen bei den Schnitten zurückzuführen sein. Von den anderen Knochen von Reichersdorf A zeigt Rippe 1 - Cut 1 die größte Spannweite, was ebenfalls auf erhöhte Kraftausübung zurückzuführen sein könnte. Die kleinste Spannweite zwischen den Werten zeigten Rippe 2 – Cut 1 und Radius – Cut 2 unten aus Reichersdorf B.

Laut Scheffé-Test zeigte die meisten signifikanten Unterschiede Cut 2 der Rippe aus Reichersdorf A. Kein Unterschied konnte zu Cut 1 der Clavicula aus Reichersdorf B beobachtet werden. Insgesamt bestehen zwischen den Kerbmarken der verschiedenen Knochen wenige Unterschiede, was auf den Gebrauch gleicher oder ähnlicher Werkzeuge zurückzuführen sein dürfte.

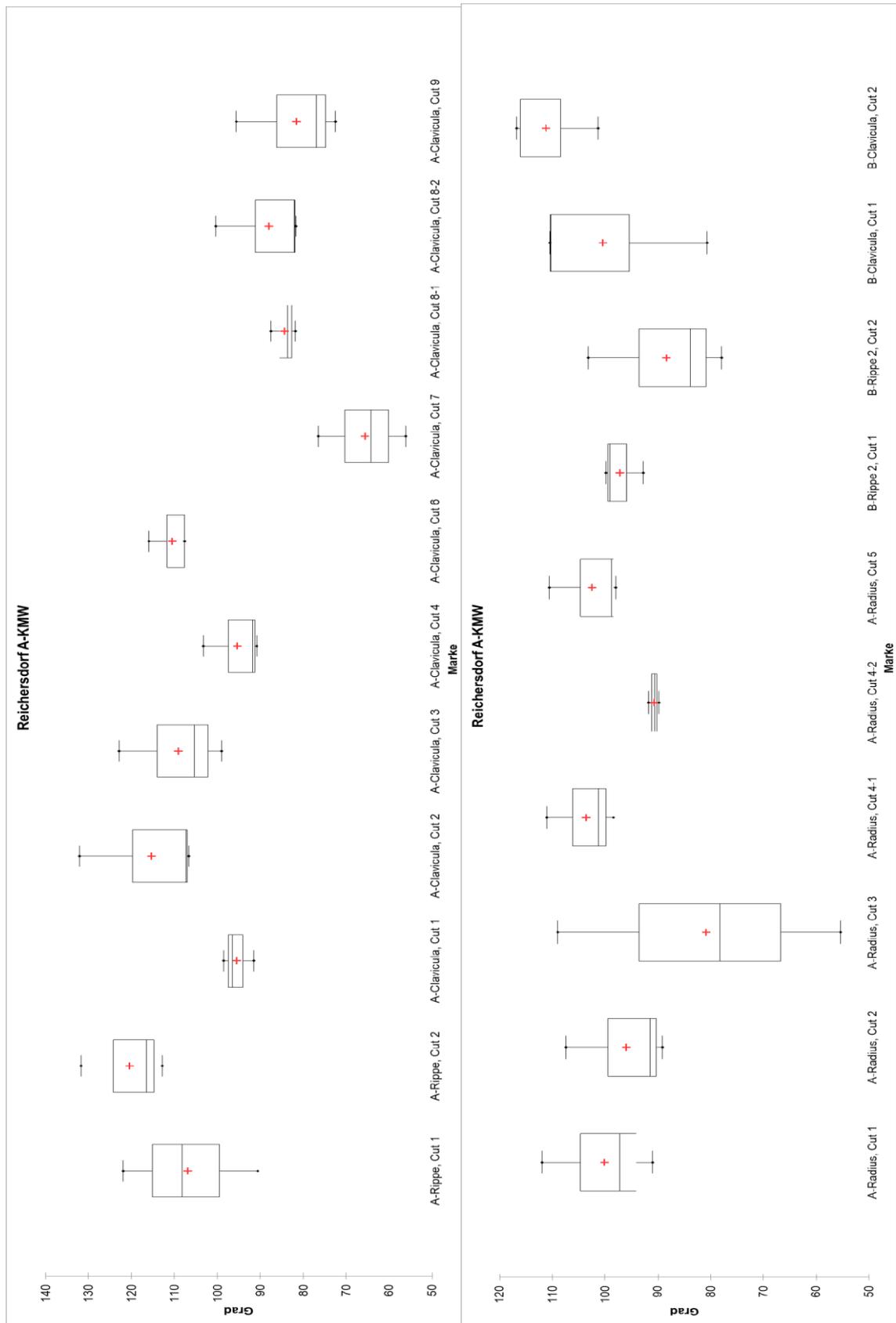
Mikro-CT

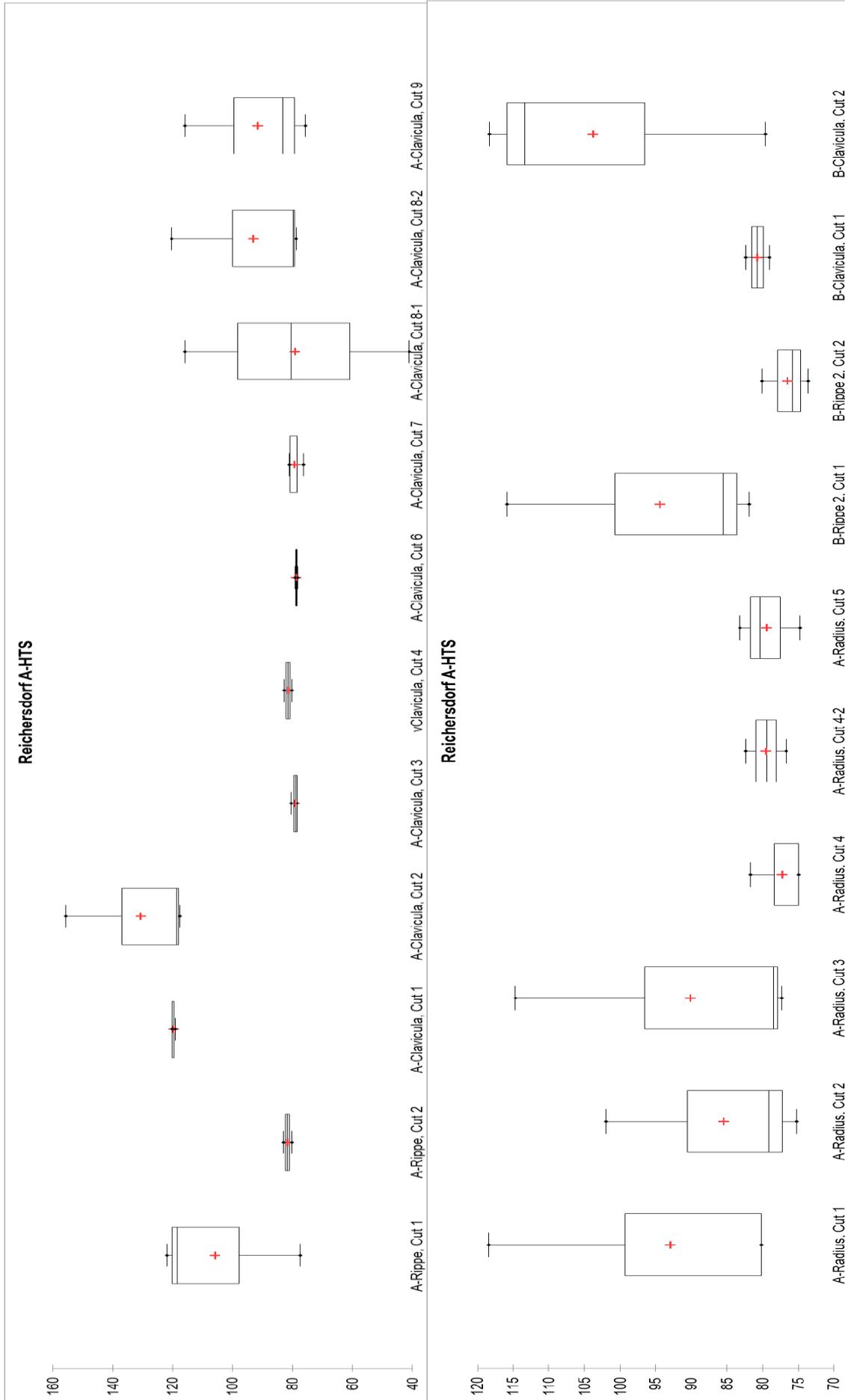
Die Werte von Rippe KMW und HHS und Clavicula KMW von Reichersdorf A wiesen laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). Rippe HTS, Radius KMW, HTS, HHS und Clavicula HTS und HHS wiesen keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den Werten bei Radius HHS ($F 4,52, p 0,02$) und bei Clavicula KMW, HTS und HHS (KMW: $F 8,41, p 9,77e-05$; HTS: $F 3,52, p 0,01$; HHS: $F 29,64, p 7,84e-09$)

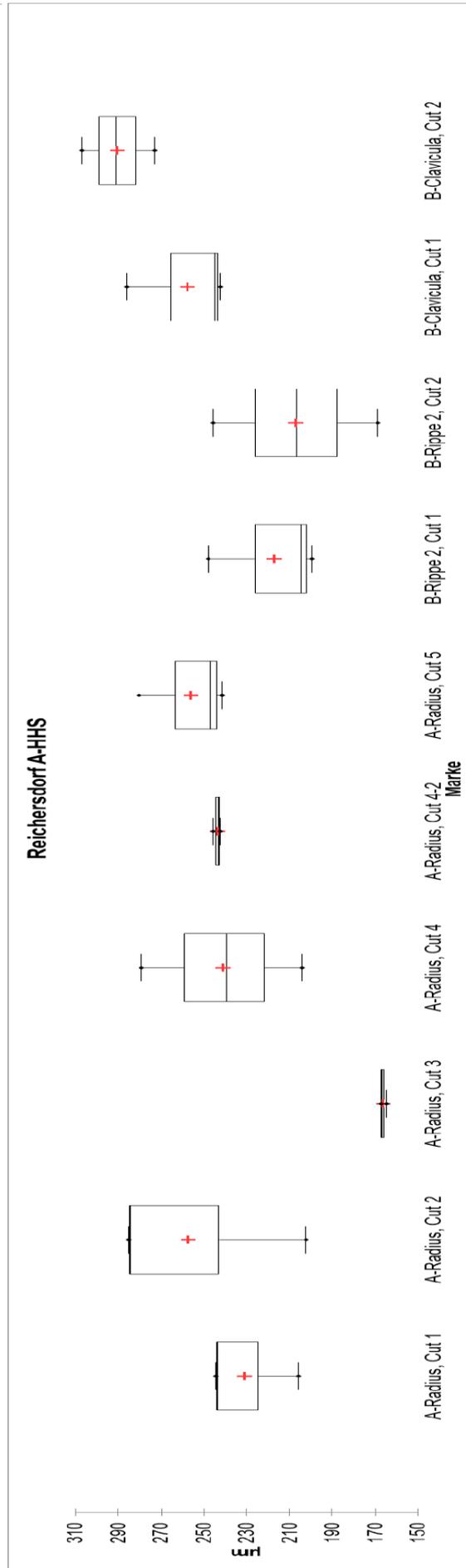
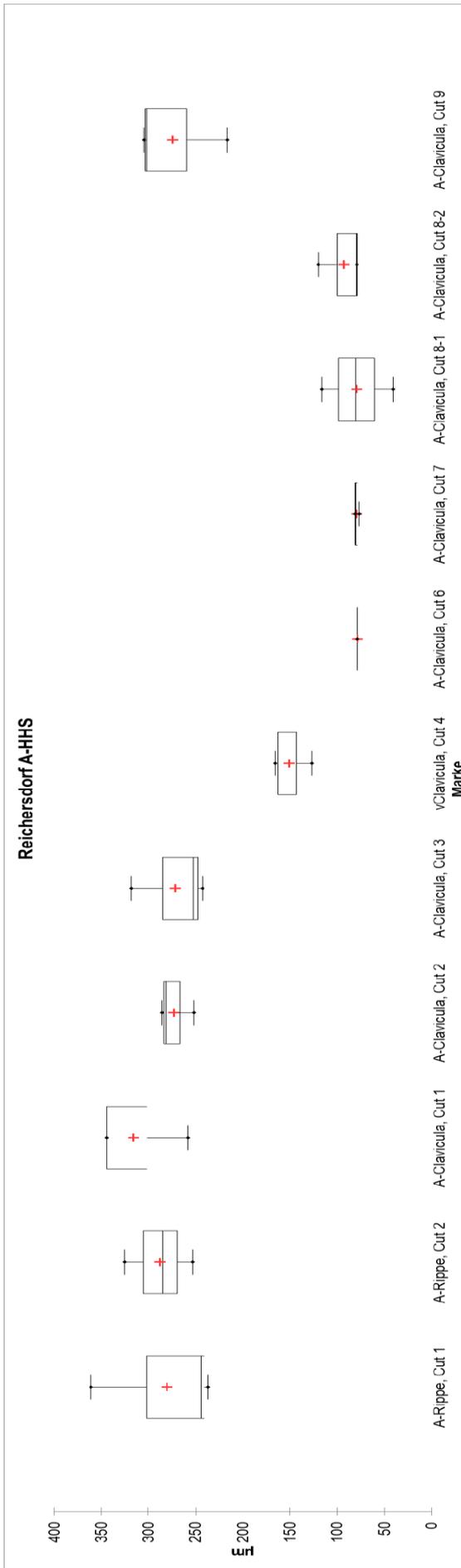
Die Mittelwerte von Rippe HTS und Clavicula HTS von Reichersdorf B wiesen laut Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung auf ($p < 0,05$). Rippe KMW und HHS und Clavicula KMW und HHS wiesen eine Normalverteilung der Daten auf ($p > 0,05$). Die Varianzanalyse ergab bei Rippe und Clavicula keine signifikanten Unterschiede.

Vergleicht man Reichersdorf A mit Reichersdorf B, weisen die Daten bei KMW und HHS eine Normalverteilung auf ($p > 0,05$). HTS weist keine Normalverteilung der Daten auf ($p < 0,05$). Die Varianzanalyse ergab bei KMW, HTS und HHS signifikante Unterschiede.

Mittels Boxplots (Abb. 44) wurden die Daten grafisch dargestellt.







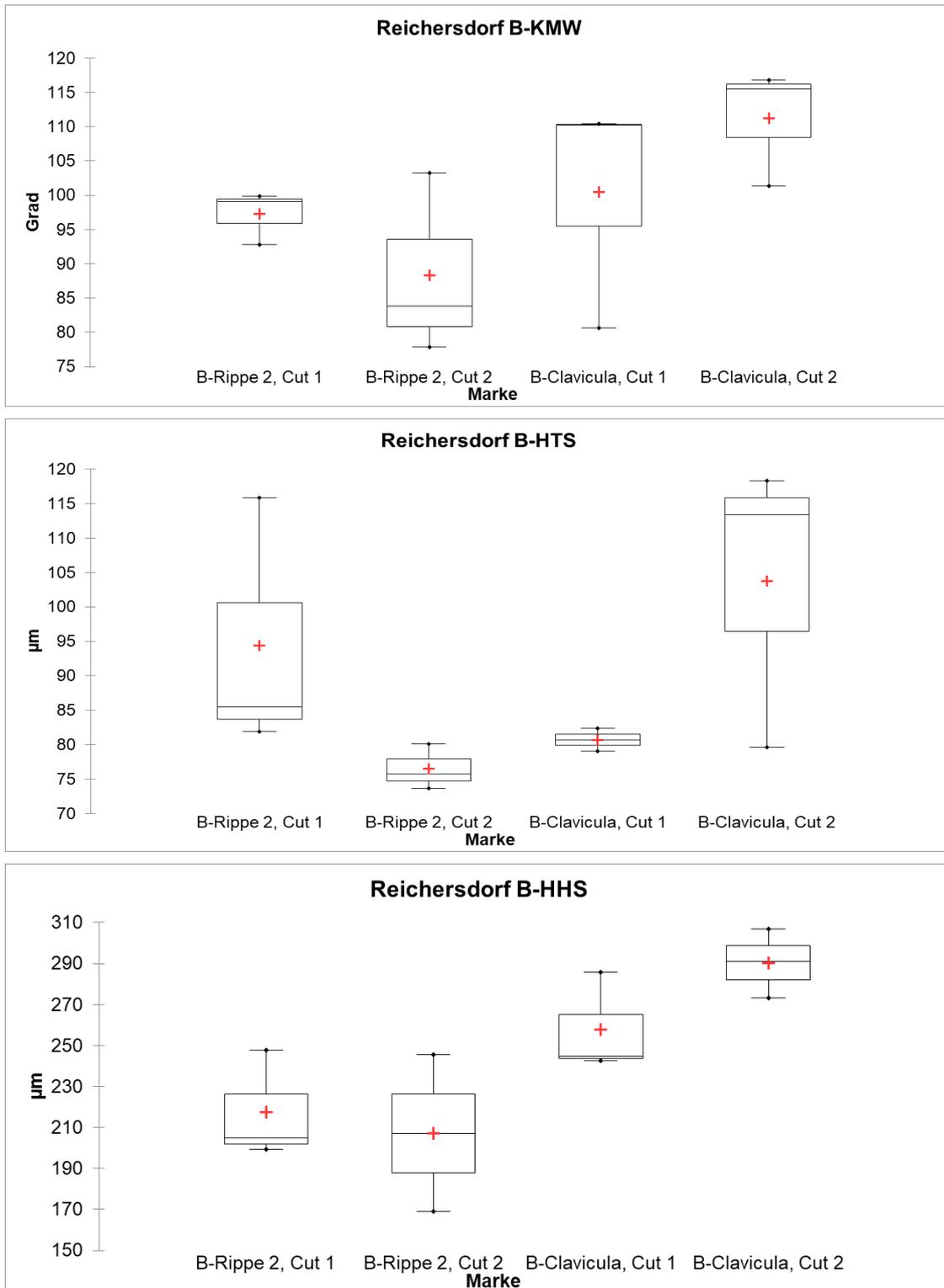


Abb. 44: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS der Marken der Menschenknochen. Die Werte der jeweiligen Marken wurden zusammengefasst und mittels Boxplot dargestellt. Gemessen wurden KMW, HTS und HHS. Die Sterne markieren Ausreißer .

Die Spannweite der gemessenen Werte stellt sich bei den KMW homogen dar, was auf ein einheitliches Werkzeug schließen lässt. Die Ausnahme bildet Rippe – Cut 3 von Reichersdorf A, vermutlich durch erhöhten Kraftaufwand beim Schneiden oder durch Hacken verursacht. Die Werte von HTS und HHS sind sehr unterschiedlich, was dem Kraftaufwand und vermutlich dem Zögern beim Schneiden geschuldet ist.

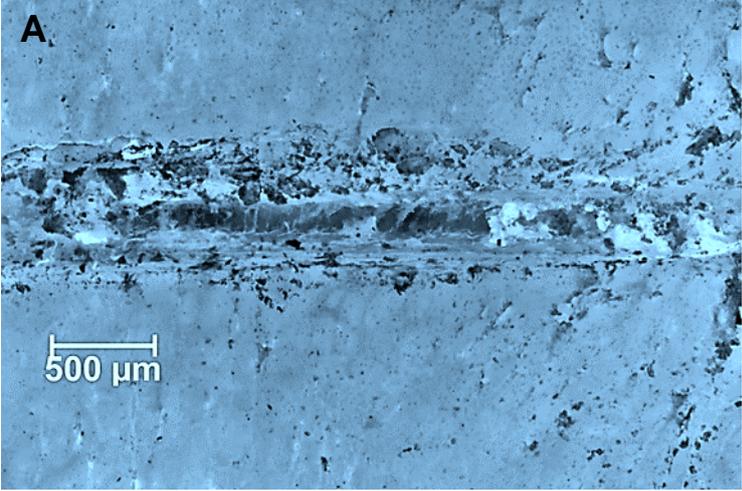
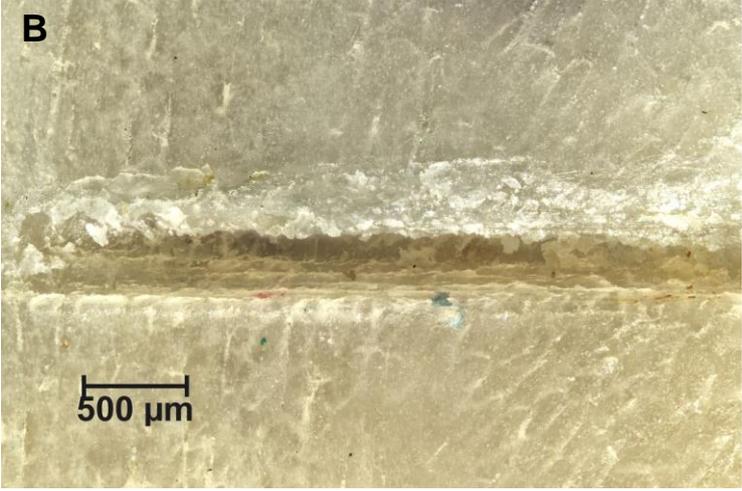
Makrofotografie Radius – Reichersdorf B

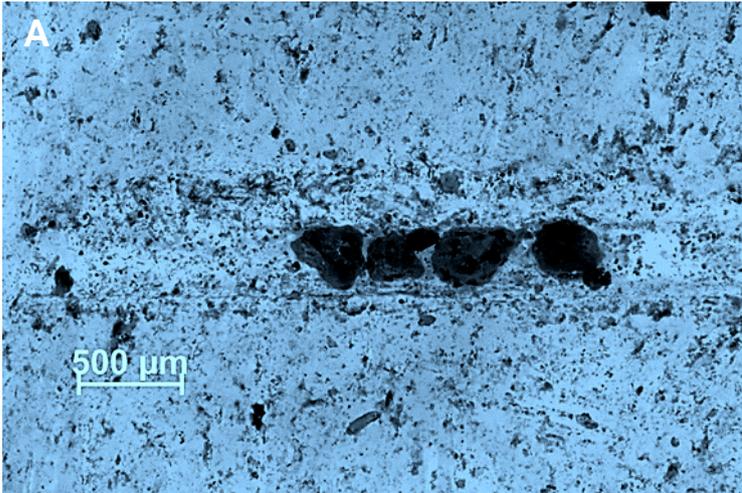
Der Knochen zeigt Nagetierspuren der Spezies *Arvicola terrestris* (Große Wühlmaus, Ostschermaus). Diese Spezies lebt unter der Erde, aber sehr oberflächennah, maximal einen Meter tief.

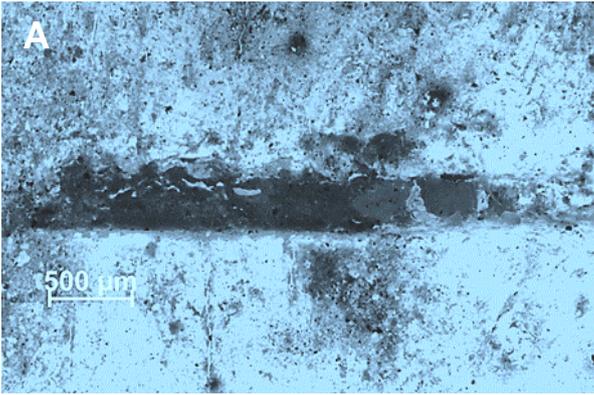
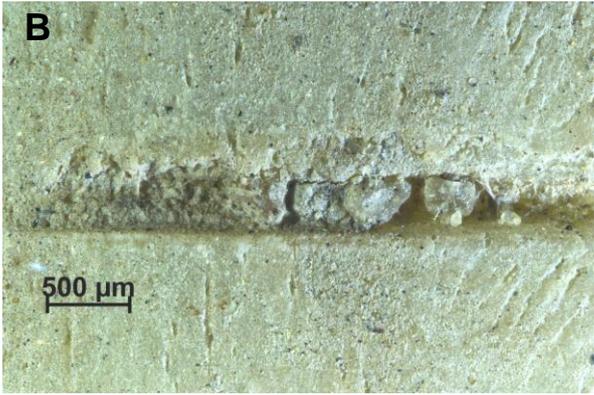
4.5.1.2 Auswirkung der Taphonomie auf Knochenmarken

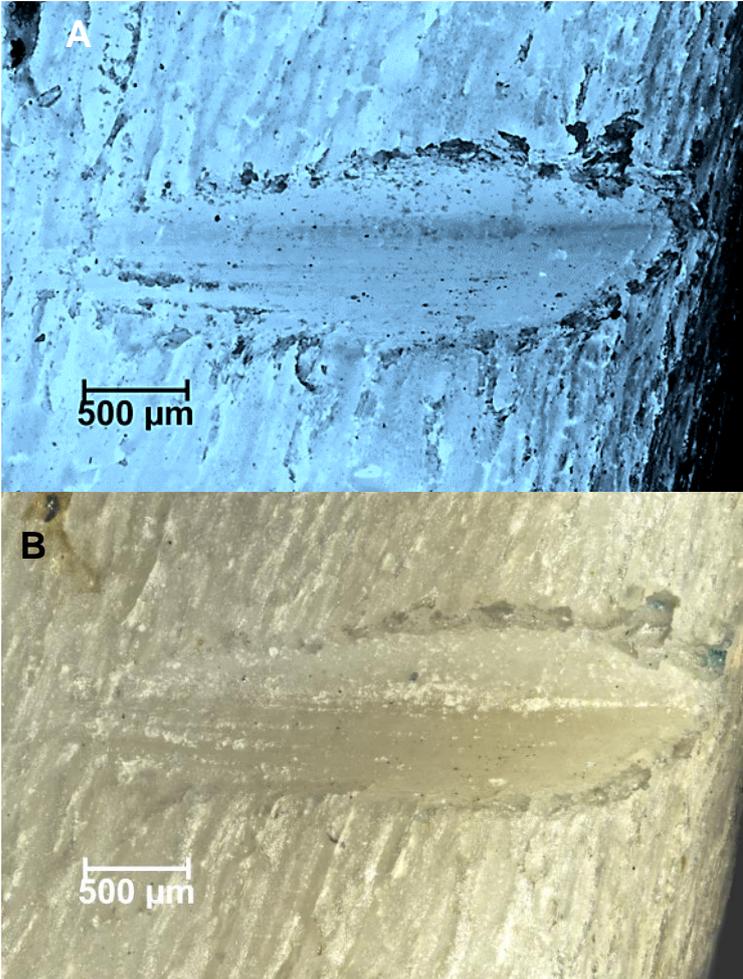
Die Knochen wurden in einer Plastikdose mit Steinen, die im Winter zum Streuen verwendet wurden, für 2 Durchgänge zu je 4 Stunden in einer Trommel gedreht. Es wurden Aufnahmen nach 4 Stunden und dann nach weiteren 4 Stunden Drehen erstellt. Die Marken wurden anschließend nur mit einem Blasebalg gereinigt, um zusätzliche Manipulationen an der Kerbmarke durch zB Bürsten zu verhindern.

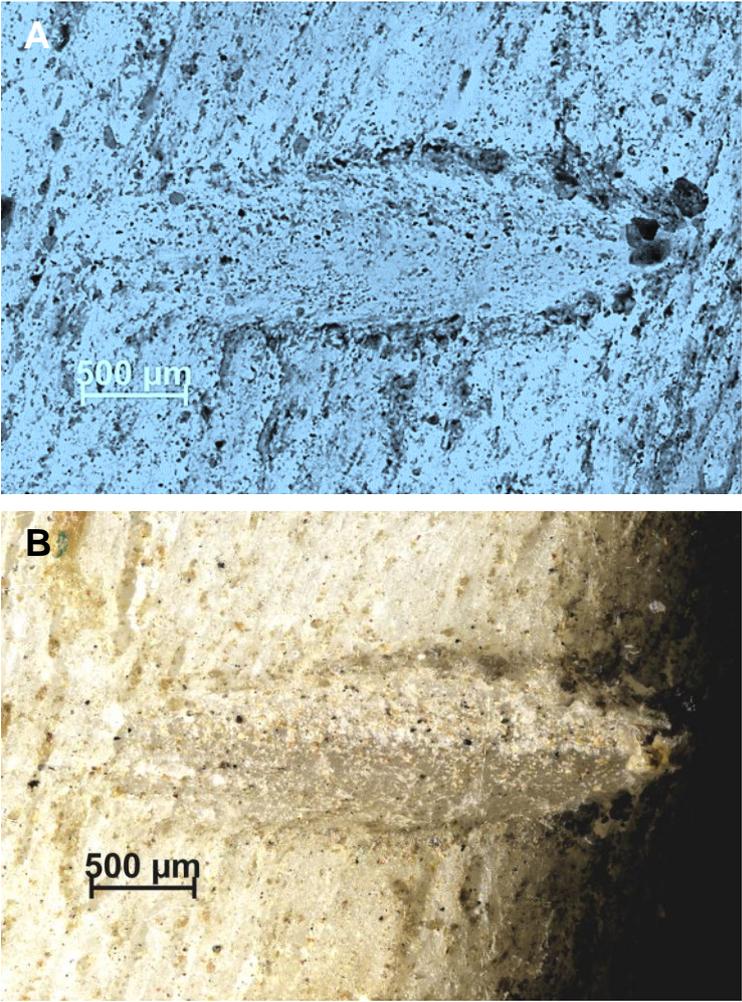
Die Marken wurden im Mikroskop mit UV-Licht in der Fluoreszenz (A) und sichtbarem Licht im Hellfeld (B) untersucht und miteinander verglichen. Abb. 45 zeigt die Marke vor der Behandlung, nach 4 Stunden Behandlung und nach weiteren 4 Stunden Behandlung in der Trommel. Zur besseren Darstellbarkeit werden die Fluoreszenzbilder in Falschfarbe dargestellt.

Stadium	Marke
	Mehrzweckmesser – Cut 1
Unbehandelt	<div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>B</p> </div>

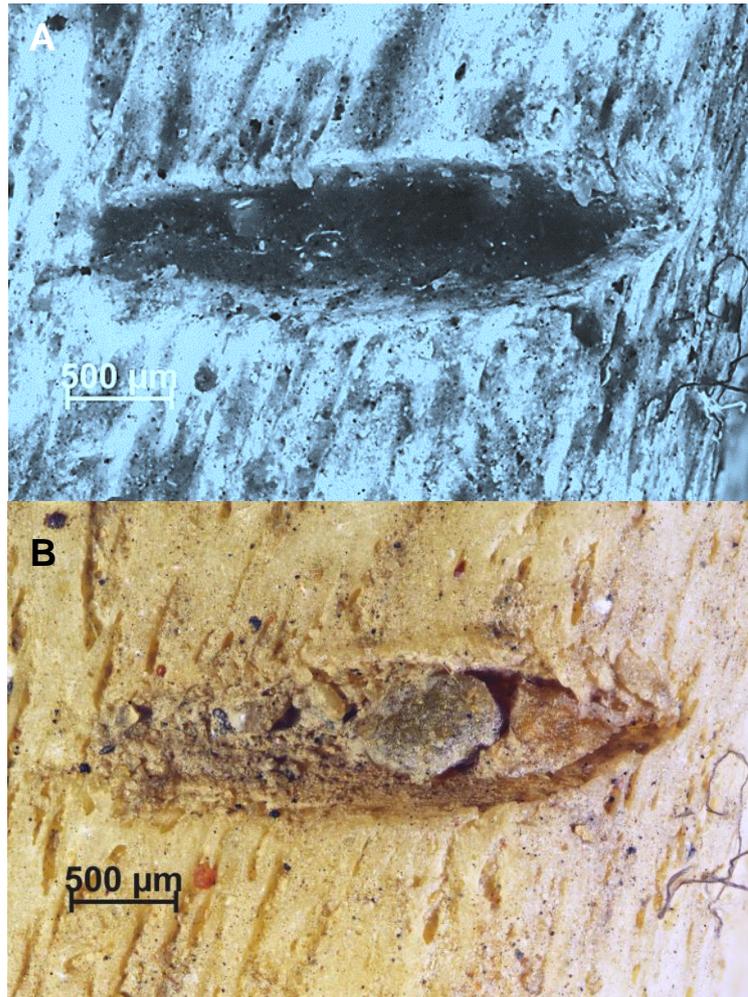
<p>1. Durchgang</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div data-bbox="453 203 1195 696" style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div data-bbox="453 712 1195 1205" style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> </div>
	<p>Der obere Rand ist aufgerieben und fehlt stellenweise. In der Kerbe finden sich kleine Steine, die in der Lichtmikroskopie Knochenstücke vortäuschen können. In der Fluoreszenz sind diese deutlich zum Knochen abgrenzbar.</p>

<p>2. Durchgang</p>	<div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div>
	<p>Der obere Rand ist abgeschliffen und erscheint im Vergleich zum ersten Durchgang glatter. In der Marke finden sich mehr Strukturen, die nicht zum Knochen gehören.</p>

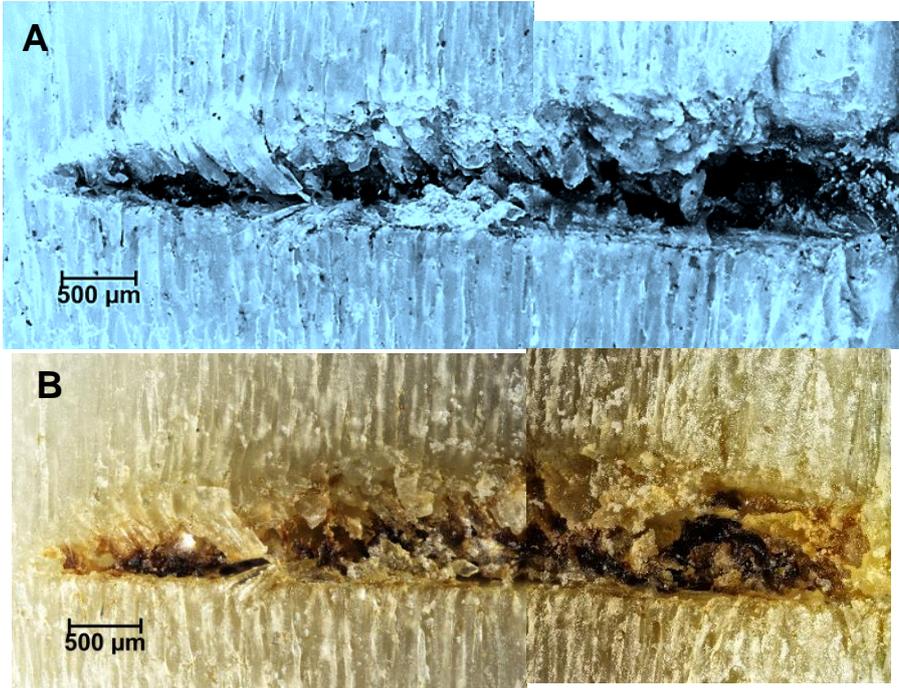
	Filirmesser – Cut 3
Unbehandelt	 <p>Micrographs A and B show cross-sections of untreated material. Image A (top) is a blue-tinted micrograph showing a layered structure with a central horizontal band. Image B (bottom) is a natural-color micrograph of the same structure. Both images include a scale bar labeled '500 µm'.</p>

1. Durchgang	 <p>Micrograph A (top) shows a fluorescence image of a bone cross-section with a notch. The surface is blueish-grey with dark spots. A scale bar indicates 500 µm.</p> <p>Micrograph B (bottom) shows a light micrograph of the same bone cross-section. The surface is yellowish-brown. A scale bar indicates 500 µm.</p>
	<p>Die Ränder haben an Details verloren, in der Kerbe finden sich Schmutzablagerungen und Aufrauungen. In der Fluoreszenz sind Schmutzpartikel und kleinere, nicht zum Knochen gehörende Strukturen zu erkennen, die sich auf der rechten Seite in der Ecke festgesetzt haben. In der Lichtmikroskopie könnten diese fälschlicherweise als Knochenstrukturen interpretiert werden.</p>

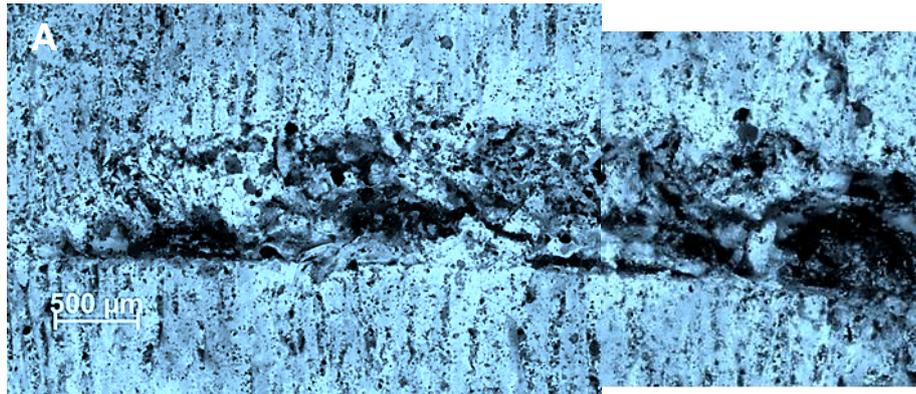
2. Durchgang



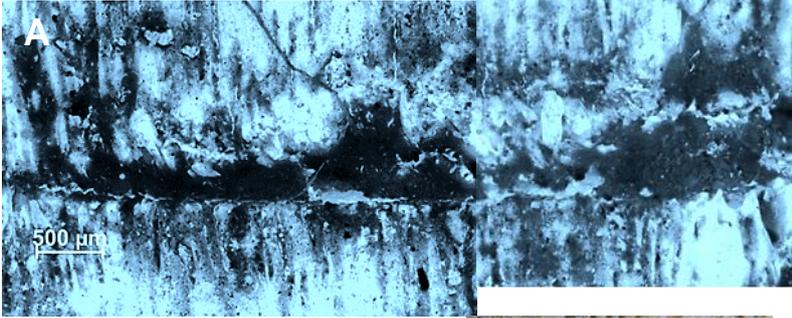
Die Details der Ränder sind nahezu abgeschliffen, in der Kerbe finden sich kleine Steine, die in der Lichtmikroskopie gut sichtbar sind. In der Fluoreszenz sind die Ränder stumpf, die Kerbe erscheint schwarz aufgrund der Einlagerungen.

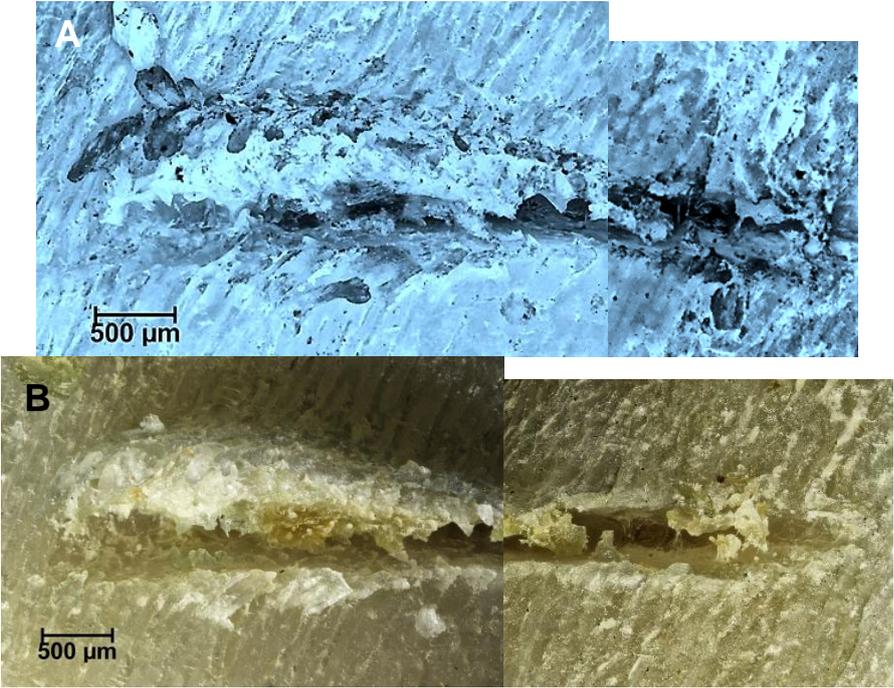
	Steakmesser – Cut 2
Unbehandelt	 <p>Micrographs A and B show the cross-section of an untreated steak knife blade. Image A is a blue-tinted micrograph showing a dark, irregular layer on the surface. Image B is a natural-color micrograph showing a similar dark layer with some brownish discoloration. Both images include a 500 µm scale bar.</p>

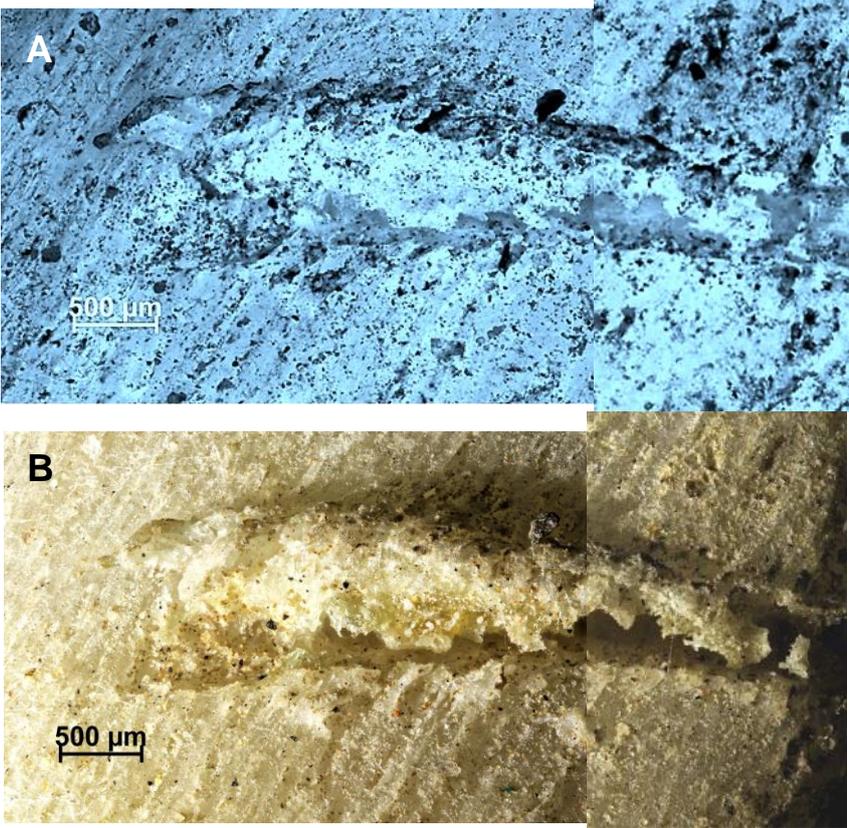
1. Durchgang



Der untere Rand erscheint weiterhin scharf, der obere Rand ist stellenweise weggebrochen, klare Strukturen sind in der Fluoreszenz nicht zu erkennen.

<p>2. Durchgang</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div>
	<p>Es finden sich in der Kerbe viele Einlagerungen, die in der Fluoreszenz schwarz erscheinen, aber in der Lichtmikroskopie nicht klar zum Knochen hin abgegrenzt werden können. Die untere Kante ist auch nach dem 2. Durchlauf scharf, die Vorsprünge der oberen Kante verloren an Größe.</p>

	Brotmesser – Cut 3
Unbehandelt	 <p>Micrographs A and B show the untreated surface of a bread knife cut. Image A is a blue-tinted SEM image showing a rough, porous surface with a 500 µm scale bar. Image B is a color SEM image showing a similar surface with a 500 µm scale bar.</p>

<p>1. Durchgang</p>	
	<p>Die obere Kante ist aufgeborsten, wodurch sie größer erscheint. Die untere Kante ist aufgerauter. In der Kerbe finden sich keine Steine.</p>

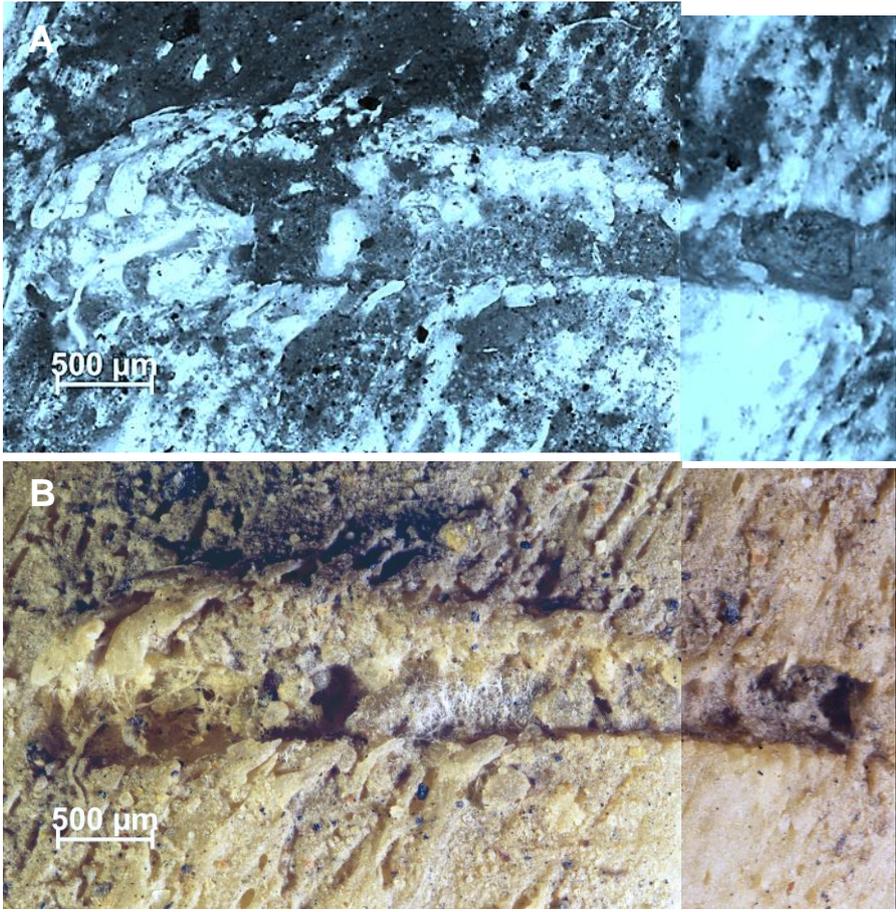
<p>2. Durchgang</p>	
	<p>Die obere Kante ist größtenteils abgeschliffen, es finden sich noch kleine Vorsprünge am linken Ende. Die untere Kante erscheint abgerundeter und nicht mehr so scharf.</p>

Abb. 45: Taphonomische Effekte auf Kerbmarken.

Die Knochen wurden in einer Trommel mit Steinen gedreht und nach jeweils 4 Stunden und nochmal 4 Stunden wurden Bilder von den Marken angefertigt.

Der Einfluss der Abnutzungserscheinungen konnte dahingehend gezeigt werden, dass wegstehende Kanten und Details durch die Steine abgeschleift wurden. Durch das stellenweise Wegbrechen der Kanten erscheint die Marke größer. Aufgrund der Verschmutzung der Marken konnte mit der Fluoreszenzmikroskopie kein einheitlich fluoreszierendes Bild erstellt werden. Um möglichst schonend die Marken zu reinigen, wurde nur mit Luft gereinigt. Zusätzliche Marken, die von den scharfen Kanten der Steine hätten entstehen können, wurden nicht beobachtet.

5. Diskussion

In dieser Arbeit wurden Kerbmarken auf Knochen untersucht, die durch verschiedene Werkzeuge verursacht wurden. Da Rippen zu den am häufigsten verletzten Knochen gehören, wurden diese für die vorliegende Arbeit gewählt (Grassberger et al., 2009). Für die Mazeration der Rippen wurde eine neue Methode, die Backofenmethode, entwickelt, da sich in anderen Studien zeigte, dass durch die bekannte Mikrowellenmethode Knochenschuppen und Absplitterungen von Knochenchips, aber auch Größenänderungen von Kerbmarken auftreten (Gaudio et al., 2014; Komo, 2016). Ebenso können neue Marken durch die Hitze entstehen (Herrmann & Bennett, 1999). Nach der Mazeration wurden mittels verschiedener Techniken die Kerbmarken auf die festgelegten Parameter untersucht. Capuani et al. (2014) beschrieben in ihrer Arbeit, dass Werkzeugklassen spezifische Spuren auf Knochen hinterlassen und diese mit Hilfe der Fluoreszenz gut darstellbar sind. In der vorliegenden Arbeit wurden ebenfalls Kerbmarken auf prähistorischen Knochen untersucht, da taphonomische Einflüsse einen Effekt auf die Form der Kerbmarke haben. Da diese Knochen über längere Zeit Umwelteinflüssen ausgesetzt waren und in der Erde lagerten, wurde der Einfluss von Huminsäuren auf das Fluoreszenzverhalten untersucht.

In vorhergehenden Studien wurde versucht, Kriterien, die auf eine Stichrichtung schließen lassen, zu finden. Shipman & Rose (1983) fanden keine solchen Kriterien. In der Studie von Bromage & Boyde (1984) wurden über 200 Cutmarken auf Rinderknochen produziert und mittels SEM untersucht. Sie machten dabei drei Beobachtungen, die sie als Kriterien für die Schnittrichtung feststellten: Eine Schmierspür durch das Gleiten an der Oberfläche, eine schräggestellte Bruchkante und schräggestellte Absplitterungen. Eine ähnliche, aber aufwändigere Charakterisierung stellte Lewis (2008) vor. Er definierte als Merkmale die Länge der Kerbmarke, Form (zB Kreis, Dreieck, Quadrat, Rhombus, etc.), Aufrauung an den Kanten, Bildung von *Flakes*, Risse, Sprünge, Absplitterungen und Blickwinkel (schräg, gerade). Lewis untersuchte dabei Cutmarken, die vorwiegend von Schwertern verursacht wurden. Naturgemäß besitzen Schwerter eine breitere und längere Klinge, sind schwerer und können deswegen größeren Schaden anrichten. Das verwendete Messer in der Studie verursachte eine lange

und schmale Kerbmarke mit geringem Schaden an den Seiten, der Spalt wies eine geschlängelte Form auf.

5.1 Backofenmethode ist schonender für die Knochen

Ziel war die Entwicklung einer Methode, die beim Entfleischen keinen Einfluss auf die Struktur des Knochens hat. Die Rippen wurden in Alufolie verpackt und für 5 Stunden bei 100 °C in einem Haushaltsbackofen mit Ober- und Unterhitze belassen. Die Oberschenkelbeine mussten zusätzlich für eine Stunde in heißes Wasser gelegt werden, dem Geschirrspülmittel und Chlorreiniger zugefügt wurden, um den Knorpel vom Knochen zu lösen.

Bei der Backofenmethode fanden sich keine Veränderungen wie Abschuppungen oder Absplitterungen an der Oberfläche, sonstige Beschädigungen der Struktur oder durch Hitze verursachte Knochenbrüche. Die von King & Birch (2015) entwickelte Mikrowellen-Methode hat den Nachteil, dass sich die Oberfläche und strukturelle Integrität durch das Kochen verändert (Lynn & Fairgrieve, 2009b; Komo, 2016).

Einzig die Oberschenkelbeine wiesen an der Oberfläche eine Veränderung in Form einer Aufrauung auf, die auch von Lynn & Fairgrieve (2009b) und Komo (2016) beobachtet werden konnte. Da die Rippen nur im Backofen entfleischt und nicht in heißes/kochendes Wasser gelegt wurden, dürfte heißes/kochendes Wasser und womöglich die zusätzliche Einwirkung von Mikrowellenstrahlen einen ungünstigen Effekt auf die Oberfläche von Knochen haben. Durch das Kochen des Wassers kommt es zur Blasenbildung und in weiterer Folge zu Knochenbrüchen, Aufrauungen und Absplitterungen an der Oberfläche. Die Mikrowellen verstärken womöglich diesen Effekt.

5.2 Vor- und Nachteile der Aufnahmetechniken

Die Kerbmarken der rezenten und prähistorischen Knochen wurden mittels Makrofotografie, Auflicht-Stereomikroskopie, Fluoreszenzmikroskopie, ESEM und Mikro-CT aufgenommen.

Die Makrofotografie diente dabei als Übersichtsaufnahme da sich bei höherem Zoom eine leere Vergrößerung zeigte. Mit der Stereomikroskopie und der Fluoreszenzmikroskopie waren sehr detaillierte Aufnahmen mit gutem Kontrast möglich. Das ESEM lieferte die präzisesten Details und den höchsten Kontrast bei den Aufnahmen. Mit dem Mikro-CT war es möglich, die Marken im Querschnitt zu vermessen. Ein höherer Zoom zeigte ebenfalls wie die Makrofotografie eine leere Vergrößerung.

Alle Techniken sind prinzipiell zerstörungsfrei, eine Größenbeschränkung wie beim ESEM kann eine Verkleinerung der Probe notwendig machen.

Makrofotografie – Vorteile

Das Anfertigen der Bilder nimmt nicht viel Zeit in Anspruch, die Größe der Probe stellt keine Limitierung der Technik dar. Einzelne Kerbmarken waren in zufriedenstellender Größe fotografierbar (Abb. 46). Die Anschaffung ist im Vergleich zu den anderen Apparaten sehr billig, ebenso die Instandhaltung. Der Apparat kann einfach transportiert und überall eingesetzt werden. Für die Handhabung sind keine speziellen Vorkenntnisse nötig.



Abb. 46: Kerbmarke von Werkzeug 3.

Mit der Kamera kann ein hoher Zoom erreicht werden. Ein stärkerer Zoom lieferte eine leere Vergrößerung.

Makrofotografie – Nachteile

Bei der Aufnahme einer größeren Probe im Ganzen muss die Kamera weiter weg positioniert werden, was es unmöglich macht, Details in der Kerbmarke zu erkennen (Abb. 47). In dieser Arbeit wurde die Makrofotografie lediglich als Übersichtsaufnahme genutzt. Offensichtlich erkennbare Strukturen sind auch mit bloßem Auge zu erkennen und die Makrofotografie bietet hier keinerlei Vorteile gegenüber einem Mikroskop. Bei starkem Zoom kommt man in die leere Vergrößerung, interne Strukturen sind nicht erkennbar.



Abb. 47: Kerbmarken von Werkzeug 6.

Bei Aufnahme Probe im Ganzen ist es nicht mehr möglich, Details der Kerbmarke zu erkennen.

Lichtmikroskopie im Auflicht – Vorteile

Mit dem Lichtmikroskop sind sehr detaillierte Aufnahmen möglich, Strukturen in Kerbmarken sind gut sichtbar. Für die Handhabung sind keine besonderen Vorkenntnisse nötig.

Lichtmikroskopie im Auflicht – Nachteile

Je nach Mikroskop in der Anschaffung relativ teuer. Transport des Mikroskops kann sich durch das Gewicht und die Sperrigkeit als mühsam erweisen. Die Kosten der Instandhaltung richten sich nach dem Modell. Bei größeren Proben müssen mehrere Aufnahmen in verschiedenen Ebenen durchgeführt und anschließend mit einer Software gestapelt (*stacking*) werden, um ein einheitlich scharfes Bild zu erhalten. Innere, tiefer liegende Strukturen sind bedingt darstellbar.

Fluoreszenzmikroskopie – Vorteile

Schärfe und die Vergrößerung können problemlos justiert werden. Details und Strukturen in Kerbmarken sind gut sichtbar. Für die Handhabung sind keine besonderen Vorkenntnisse nötig. Verbessertes Kontrast im Vergleich zur Auflicht-Mikroskopie.

Fluoreszenzmikroskopie – Nachteile

Je nach Modell in der Anschaffung relativ teuer. Datenaufnahme sollte in abgedunkeltem Raum stattfinden. Bei größeren Proben müssen mehrere Aufnahmen in verschiedenen Ebenen durchgeführt und anschließend mit einer Software gestapelt werden. Die Belichtungszeit kann bei schwach fluoreszierenden Proben und der daraus nötigen längeren Belichtungszeit der Kamera sehr zeitintensiv sein. Innere, tiefer liegende Strukturen sind bedingt darstellbar.

ESEM – Vorteile

Es sind sehr detaillierte Aufnahmen möglich, feine Strukturen können gut erkannt werden. Es ist keine Besputterung der Probe nötig. Probe kann in allen Achsen aufgenommen werden. Verwendung von biologischem Material ist möglich.

ESEM – Nachteile

Sehr teuer in der Anschaffung und Instandhaltung. Gerät kann nicht transportiert werden. Probengröße von max. 3 cm ist limitierender Faktor bei Verwendung. Vorkenntnisse sind nötig für die Handhabung des Geräts und die Software. Bei zu starker Vergrößerung sind nur Teile der Probe sichtbar. Innere, tiefer liegende Strukturen sind nur bedingt darstellbar.

Mikro-CT – Vorteile

Erstellung eines 3D-Bildes ist möglich. Durch die *Orthoslice*-Funktion sind auch innere Strukturen im Querschnitt betrachtbar. Der Blickwinkel kann frei gewählt werden. Bestimmte Abmessungen wie Winkel und Höhe der tiefsten Stelle sind nur durch die Querschnitte möglich (Abb. 48). Für die Aufnahme ist keine Probenvorbereitung nötig, Mazeration der Knochen ist ebenso nicht erforderlich.

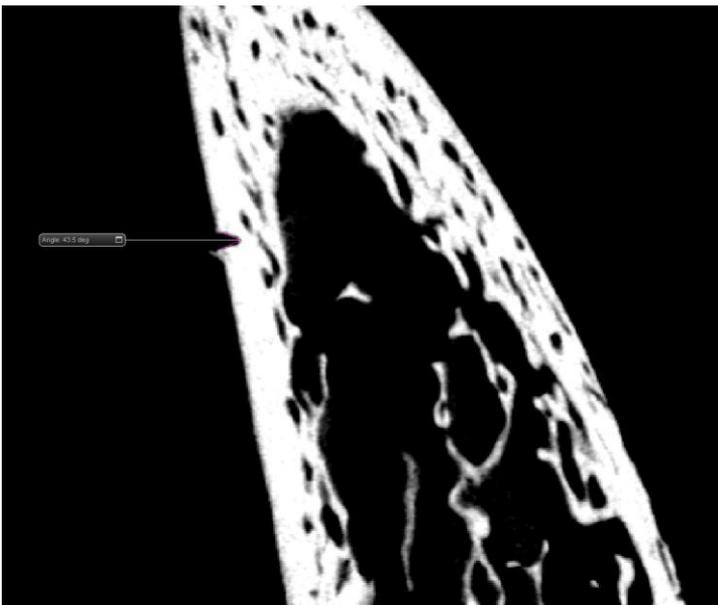


Abb. 48: *Orthoslice* im Programm Amira.

Mittels *Orthoslice* war es möglich, Parameter zu erfassen, die mit anderen Aufnahmen nicht erfassbar sind.

Mikro-CT – Nachteile

In Anschaffung und Instandhaltung sehr teuer. Kann aufgrund der Größe nicht transportiert werden. Aufnahmen sind sehr zeitintensiv (bis zu mehreren Stunden) und es sind genaue Vorkenntnisse nötig, was Handhabung und Software betrifft. Das Mikro-CT liefert Volumendaten, die erst mit spezieller Software visualisiert werden müssen, wofür auch spezielle Vorkenntnisse notwendig sind.

Ein leistungsstarker Rechner für die Bewältigung der großen Datenmenge ist erforderlich. Bei der Rekonstruktion mit dem Programm Amira kann man die Oberfläche glätten, um die Ränder der CT-Schichten, aus denen sich das Bild zusammensetzt, zu minimieren (*Smoothing*), wodurch wichtige Details verloren gehen (Abb. 49). Befinden sich Metallteile in der Probe, kommt es zu einer Ablenkung der Strahlen, die zu überstrahlten Bereichen im Bild führen, die mit der Software erst abgegrenzt werden müssen. Lebende oder in Konservierungsmittel eingelegte biologische Proben sind nicht verwendbar, da es durch Bewegungen oder bereits durch Verdunstung des Konservierungsmittels zu Bewegungsartefakten kommen kann. Zoomen ist nur bis zu einem gewissen Grad möglich, weil man dann in die leere Vergrößerung kommt. Bei großen Proben ist die Auflösungsgrenze niedrig.

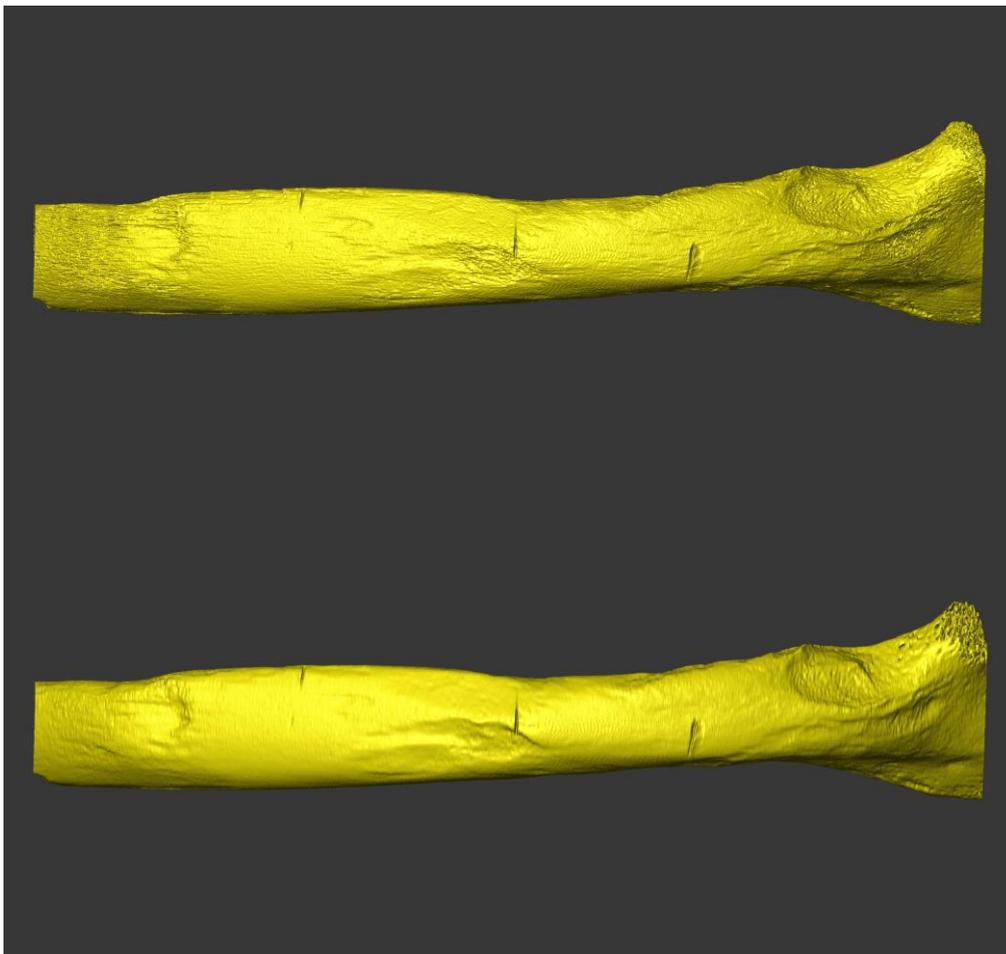


Abb. 49: *Smoothing* führt zu Verlust von Merkmalen.

Das obere Bild mit *Smooth*-Faktor 2, das untere Bild mit *Smooth*-Faktor 9. Durch das starke Glätten gehen wichtige Merkmale verloren.

Eine sehr teure und derzeit eher unrealistische Alternative zum Mikro-CT ist Synchrotronstrahlung, die in einem Large Hadron Collider (CERN, DESY) erzeugt wird. Es ist eine elektromagnetische Strahlung, die bei Vektoränderung von geladenen Teilchen, welche sich mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fortbewegen, entsteht und eine Form der Bremsstrahlung ist. Sichtbares Licht hat ein Spektrum von 400 nm bis 700 nm. Synchrotronstrahlung hat ein Spektrum, das von Infrarotstrahlung bis Röntgenstrahlung reicht, welches für die Mikroskopie verwendet werden kann. Die Vorteile sind, dass man aus einem breiten Spektrum die geeignete Frequenz wählen kann, die Bilder haben eine sehr hohe Auflösung, Intensität und Brillanz. Frequenz und Pulsdauer sind in engen Grenzen einstellbar, was sehr viele Bilder in sehr kurzer Zeit ermöglicht.

In Tab. 18 sind die Vor- und Nachteile der Methoden nochmals übersichtlich zusammengefasst. Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile. Insgesamt betrachtet schneiden ESEM und die Fluoreszenzmikroskopie am besten ab. Mit dem Mikro-CT sind zwar innere Strukturen beobachtbar, aber wichtige Merkmale an der Oberfläche gehen durch das Glätten verloren.

Tab. 18: Eigenschaften der verschiedenen Methoden.
 Ein zusammengefasster Überblick über die Vor- und Nachteile der verwendeten Methoden.

	Vorkenntnisse Erfahrung	Anschaffung Instandhaltung	Zeitaufwand	Vorteile	Nachteile
Makro-fotografie	keine	niedrig	gering	geringer Zeitaufwand, einfache Handhabung, billig	Vergrößerung beschränkt, keine inneren Strukturen sichtbar
Licht-mikroskopie	geringe	je nach Modell	variiert je nach Proben-größe	sehr detaillierte Aufnahmen, Schärfe und Vergrößerung problemlos einstellbar.	Stacking bei größeren Proben, keine internen Strukturen darstellbar
Fluoreszenz-mikroskopie	geringe	je nach Modell	variiert je nach Proben-größe	sehr detaillierte Aufnahmen, Schärfe und Vergrößerung problemlos einstellbar.	Stacking bei größeren Proben, keine internen Strukturen darstellbar
Mikro-CT	erforderlich	sehr hoch	sehr hoch	Interne Strukturen darstellbar, keine Probenvorbereitung nötig	Merkmalverlust durch Glättung, sehr teuer
ESEM	erforderlich	hoch	mittel	Sehr feine Strukturen darstellbar, keine Besputterung nötig	keine internen Strukturen darstellbar, Probengröße beschränkt

5.3 Huminsäuren führen zu unterschiedlicher Fluoreszenz

Ziel des Experiments war der Einfluss der Huminsäure auf das Fluoreszenzverhalten, da die prähistorischen Knochen lange in der Erde lagen.

Für diesen Versuch wurde ein Schweineknochen verwendet, dessen Fluoreszenzverhalten vor Inkubation mit Huminsäuren stattfand (Hack 5) und danach in Wasser inkubiert wurde, welches zuvor mit Torf aufgekocht und filtriert wurde. Der Knochen wurde anschließend einer Lambda-Anregungsreihe unterzogen, um das Fluoreszenzverhalten bei verschiedenen Wellenlängen zu messen.

Huminsäuren zeigen eine Fluoreszenz bei sichtbarem und UV-Licht (Choudhry, 1984a). Huminstoffe zeigen dabei eine charakteristische Fluoreszenz bei 470 nm, die auf aromatische Fluorophore mit einer funktionellen Gruppe, die als Elektronendonator agiert, zurückzuführen ist (Datta et al., 1971; Ghosh & Mukherjee, 1972). Um herauszufinden, bei welcher Anregung die beste Fluoreszenz erzielt werden kann, wurde ein frischer Schweineknochen einer Lambda-Anregungsreihe unterzogen. Der Knochen zeigte ein Fluoreszenzmaximum bei 405 nm und eine etwas schwächere Fluoreszenz bei Anregung mit 514 nm. Bei den anderen Wellenlängen war nur eine sehr geringe Fluoreszenz nachweisbar. Da in vorliegender Arbeit ebenfalls prähistorische Knochen untersucht wurden, wurde der Einfluss von Huminsäuren auf das Fluoreszenzverhalten untersucht. Der Knochen wurde in Wasser, welches vorher mit Torf aufgekocht wurde, inkubiert wie beschrieben. Interessanterweise kehrte sich hier die Fluoreszenz um. Die stärkste Fluoreszenz war bei Anregung mit 514 nm zu beobachten, die schwächste Fluoreszenz bei Anregung mit 405 nm. Bei den anderen Wellenlängen war die Fluoreszenz ebenfalls verstärkt. Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangten Seal et al. (1964). Sie verwendeten Huminsäuren, die aus schwarzer indischer Erde, auf der Baumwolle wuchs, gewonnen wurde und maßen einen Fluoreszenzpeak im Bereich 500 – 540 nm.

Die prähistorischen Menschen- und Rinderknochen zeigten keine für Torf spezifische Fluoreszenz, wie oben beschrieben, obwohl diese vergraben waren. Die stärkste Fluoreszenz ist bei Anregung mit 405 nm zu beobachten. Eine deutlich schwächere Fluoreszenz bei Anregung mit 488 nm und 515 nm. Vergleicht man diese Aufnahmen mit den Huminsäure-Aufnahmen, könnte man bei Anregung mit 488 nm und 514 nm noch auf leichte Restspuren von Huminsäuren schließen. Berücksichtigt werden müssen auch pH und die Polarität der Flüssigkeit, die zum Reinigen der Knochen verwendet wird, da diese einen hohen Einfluss auf die Fluoreszenz von Huminsäuren hat (Datta et al., 1971). Ghosh & Schnitzer (1980) zeigten in einem Experiment, dass die Fluoreszenz für Huminsäuren bei 0,001 M NaCl (entspricht reinem Wasser) am intensivsten war und bei steigender Salzkonzentration abnahm, während sie bei steigendem pH zunahm. Die Fluoreszenz war immer bei 465 nm zu beobachten. Obwohl in vorliegender Arbeit ddH₂O verwendet wurde, konnte diese Beobachtung nicht gemacht werden. Ghosh & Schnitzer (1980) isolierten die Huminsäure aus schwarzer Erde aus Beaverhills (Central Alberta) mit anschließender Reinigung. In dieser Arbeit wurde Torf aus Niederösterreich verwendet, die Knochen wurden mit ddH₂O abgespült. Dies dürfte das Fluoreszenzmaximum bei Anregung mit 514 nm erklären. Da die prähistorischen Knochen eine andere Fluoreszenz zeigen, ist anzunehmen, dass die Zusammensetzung der Erde einen großen Einfluss auf das Fluoreszenzverhalten insgesamt und auch einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Huminsäure hat.

5.3.1 Schweinerippen

Das Ziel des Experiments war, bestimmte Merkmale zu finden, die Tatwerkzeuge an Knochen hinterlassen. Dabei wurden die Werkzeuge an einem selbst gebauten Fallbeil montiert und basierend auf einer Zusteckkraft von 36 J die Fallhöhe und das nötige Gewicht des Schlittens berechnet. Mit dem Fallbeil war es möglich, immer die gleiche Zusteckkraft und den gleichen Zusteckwinkel zu gewährleisten, was händisch nicht zu realisieren gewesen wäre. Diese Art der Vorrichtung wurde ebenfalls in vorhergehenden Studien angewandt (Komo, 2016; Waltenberger, 2017).

Den Rippen wurden mittels Fallbeil Cut- und Hackmarken zugefügt, mit verschiedenen oben besprochenen Methoden aufgenommen, vermessen und morphologisch und statistisch beurteilt.

Cutmarken

Generell war in dieser Studie zu sehen, dass Werkzeuge, die einen Wellenschliff haben, eine Aufrauung am Knochen hinterlassen, und zwar an der Seite, an der der Wellenschliff liegt. Bei Werkzeug 1, 2 und 3 ist gut ersichtlich, an welcher Seite des Messers der Wellenschliff lag. Insbesondere beim Steakmesser war diese sehr ausgeprägt aufgrund des groben Wellenschliffs. Bei Werkzeug 2 fehlt beim Griff an der obersten Stelle eine Schraube, wodurch die Klinge im Griff rutscht. Die Aufnahmen zeigen, dass eine Seite spitz zusammenläuft und eine Seite breit ist, was auf *Blade slide* hinweisen kann. *Blade slide* wird in gegenständlicher Arbeit als ein Rutschen der Klinge bezeichnet. Dadurch kann es entweder zu einer Unterbrechung/Richtungsänderung der Kerbmarke kommen oder die Kerbmarke zeigt an einer Seite ein viel breiteres Ende als auf der anderen. Bei der Identifikation eines Tatwerkzeugs kann dies ein wertvoller Hinweis sein. Werkzeug 4, das auf beiden Seiten glatt ist, zeigte bei den Aufnahmen ein charakteristisches Bild, das sich von allen anderen abhob. Die Seiten waren glatt, es gab keine Aufrauung. Bei Cut 4-3 scheint das Messer auf eine Seite gedrückt zu haben, weil sich die Kante nach oben biegt und eine Aufrauung vortäuscht. Werkzeug 5 zeigt auf der dem Wellenschliff zugewandten Seite die Aufrauung. Auf der Aufnahme des ESEM von Cut 5-1 ist das Schliff-

muster zu erkennen. Bei den beiden anderen Kerbmarken ist eine Seite rau, die andere glatt.

Bei Werkzeug 6 zeigt sich ebenfalls eine Seite rauer, aber durch den feineren Wellenschliff ist die Aufrauung nicht so stark ausgeprägt wie bei Werkzeug 5. Bei Cut 6-3 kam es vermutlich durch das Absetzen der Klinge zu Unterbrechungen am unteren Rand. Trotzdem ist der untere Rand glatt dargestellt. Werkzeuge 7 bis 9 zeigen größtenteils oberflächliche Abschürfungen. Die seitlichen Aufnahmen zeigen bei den Werkzeugen 1 – 6 eine V-Form.

Der Scheffé-Test für Mges zeigte ebenfalls, dass es viele signifikante Unterschiede zwischen den Werkzeugen gibt, wobei die alleinige Beachtung der Statistik ein falsches Bild suggeriert. Beim Vergleich von Werkzeug 1 mit den Werkzeugen 7 – 9 gibt es laut Statistik keine signifikanten Unterschiede. Betrachtet man aber die Bilder, stechen einem die sehr deutlichen Unterschiede sofort ins Auge. Bei der seitlichen Betrachtung gab es laut Scheffé nur Unterschiede bei Werkzeug 2 mit den Werkzeugen 4 und 7. Die Auswertung der Mikro-CT-Daten zeigt teilweise ein anderes Bild. Die Vermessung der höchsten Stelle liefert bei Mges (Fluoreszenz) und HHS (Mikro-CT) nicht die gleichen signifikanten Unterschiede. Dies mag damit zusammenhängen, dass durch die Orthoslice-Funktion eine andere Sichtweise und dementsprechend andere Messung möglich ist. Als erschwerend kommt bei der Abmessung hinzu, dass diese durch *partial volume averaging* beeinflusst werden kann. Voxel werden bestimmte Grauwerte zugeordnet, abhängig vom Material. Befinden sich im Bereich des Voxel mehrere Materialien, wie zB Luft und Knochenmaterial, wird ein Mittelwert berechnet, der weder Luft noch Knochen zugeordnet werden kann (Abb. 50). Für eine genauere Abmessung werden *half-maximum height values* bestimmt, bei denen es sich um den arithmetischen Mittelwert des Dichtewertes der Grenzmaterialien handelt (Weber & Bookstein, 2011).

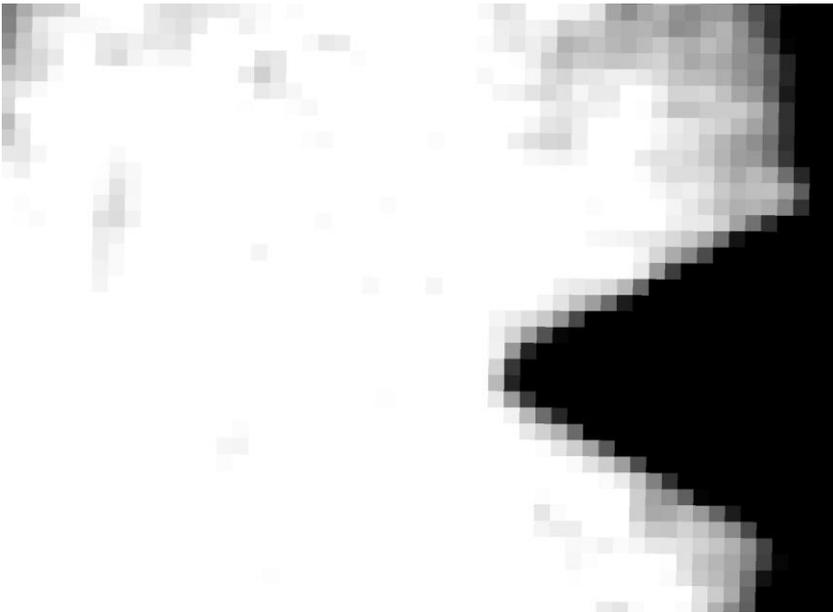


Abb. 50: *Partial volume averaging.*

An der Grenzfläche von zwei Materialien wird ein Mittelwert berechnet und dem Voxel ein Grauwert zugewiesen, der zu keinem vorhandenen Material passt.

Hackmarken

Die Aufrauung am Knochen auf der Seite des Wellenschliffs ist zu erkennen. Bei Hack 1-1 und 1-2 sind diese leicht ausgeprägt. Hack 1-3 zeigt eine geschwungene Form, die auf *Blade slide* zurückzuführen sein könnte. Interessanterweise ist bei Werkzeug 2 die Wellenform des Schliffs sehr prominent ausgeprägt, was man beim leichten Wellenschliff des Messers nicht erwarten würde. Wieso die Wellenform der Kerbmarke so ausgeprägt ist, dürfte an der Energieübertragung vom Werkzeug auf den Knochen liegen. Bei Hack 2-2 sind eine große und eine kleine Welle zu sehen, die durch eine abgeschrägte Lage des Messers passiert sein dürfte. Das Steakmesser zeigte in dieser Studie die eindeutigste Marke. Aufgrund der langen und breiten Zacken und der Kraft von 36 J konnte die Schneide nicht bis zum Knochen vordringen. Beim Brotmesser zeigte sich ein ähnliches Bild aufgrund der langen und breiten Kanten. Beim Konditormesser waren die Zacken flacher, weswegen eine breite Kerbmarke zu sehen ist.

Bei der seitlichen Ansicht wies die Auswertung größtenteils die V-Form der Kerbmarken aus, mit Ausnahme des Steakmessers.

Die Statistik zeigte die meisten signifikanten Unterschiede bei Werkzeug 3 zu anderen Werkzeugen, mit Ausnahme von Werkzeug 4. Dass die Hackmarke von Werkzeug 3 ein Dreieck ist und von allen anderen Marken zu unterscheiden ist, zeigt, dass die Statistik prinzipiell ein richtiges Bild liefert, aber trotzdem sehr störanfällig ist, da die Hackmarke von Werkzeug 4 keinerlei Ähnlichkeit mit Hackmarke 3 hat und nur deswegen kein signifikanter Unterschied besteht, weil sich die Mittelwerte ähneln. Daher ist eine zusätzliche morphologische Analyse unbedingt notwendig.

Die Cut- und Hackmarken wiesen morphologische Unterschiede auf, was die Zuordnung zu den jeweiligen Messern ermöglichte. Bei den Werkzeugen 7 bis 9 fällt die Zuordnung schwieriger aus, da es keine eindeutigen Merkmale gab. Die Zuordnung könnte gegebenenfalls durch den Vergleich mit der Breite des Werkzeugs erfolgen, ist aber bei schiefem Auftreffen des Werkzeugs auf dem Knochen nicht mehr aussagekräftig.

Greenfield (1999) führte an, dass Metalmesser entweder eine V-förmige Kerbmarke mit einem eindeutigen spitzen Grund oder eine geformte Kerbe mit flachem Grund hinterlassen. Die vorliegende Studie zeigte, dass es auf den Einsatz und die Art des Messers ankommt, welche Form die Kerbe hat. Bei einem Schnitt ist die V-Form vorhanden, beim Hacken kann die Kerbe äußerlich eine ganz andere Form annehmen, wie es bei einem Messer mit großen Zacken der Fall ist (Werkzeug 3), aber im Querschnitt hat diese ebenfalls die V-Form. Ebenso führte Greenfield (1999) an, dass Metalmesser mehr einheitliche Kerbmarken hinterlassen, was in vorliegender Studie nicht bestätigt werden konnte.

Eine geschlängelte Form, wie sie bei Cut 5-2 und Hack 1-3 auftreten, führt Lewis (2008) auf Richtungsänderungen während des Schnittes zurück, da die Seiten auch eine leichte Beschädigung aufwiesen. Cut 5-2 deckt sich mit dieser Beobachtung. Bei Hack 1-3 ist die Wellenform stellenweise unterbrochen, was auf ein mehrmaliges Auf- und Absetzen des Messers aufgrund der Rückstoßwirkung während des Hackens schließen lässt. Cut 2-1, 2-2, 6-3 und Hack 1-1 weisen Schrammen auf, vermutlich durch *Blade slide*.

Was die Veränderung von Marken durch Mazeration betrifft, gibt es verschiedene Beobachtungen. Cerutti et al. (2014) kamen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass Messer die Kerbmarke erweitern. In vorliegender Studie waren sowohl bei Cut- als auch bei Hackmarken die Marken schmaler als die Schneide der Werkzeuge. Eine breitere Marke war nur bei *Blade slide* zu sehen. Die Beobachtung, dass von Messern verursachte Kerbmarken dünn sind oder die Breite des Messers aufweisen (Amadasi et al., 2019), konnte in dieser Studie bedingt bestätigt werden. Komo (2016) führte in ihrer Arbeit die Unterschiede der Marken vor und nach der Mazeration an. Dabei wurden die Knochen mittels Mikrowellenmethode mazeriert, wobei es zum Kochen des Wassers kam. Nach der Mazeration wiesen die Winkel kleinere Werte auf, ebenso waren die Kerbmarken im Durchschnitt kleiner als zuvor. Ein durchgeführter statistischer Test wies bei der Höhe der Marke einen signifikanten Unterschied vor und nach der Mazeration auf. Waltenberger & Schutkowski (2017) zeigten in ihrer Studie, dass Hitze einen Schrumpfungseffekt auf Kerbmarken hat. Es gab dabei 2 Ansätze: Eine Gruppe von Knochen wurde tiefgefroren, bei 25 °C aufgetaut und dann bei 700 °C für 3 Stunden inkubiert. Die zweite Gruppe von Knochen wurde ebenfalls tiefgefroren, aber gleich anschließend für 3 Stunden bei 700 °C inkubiert.

In vorliegender Studie wurden die Kerbmarken vorher nicht vermessen. Ein Vergleich mit den Werkzeugabmessungen zeigt, dass die Marken alle schmaler als die Klinge/Kante der Werkzeuge waren. Bei Cut 2 und Cut 7 kamen die Werte den Werten der Werkzeuge nahe. Bei Cut 3, 5, 6, 8 und Hack 3, 4 und 5 waren die Werte innerhalb der Spannweite der Boxplots. Generell kann man sagen, dass die Marken hauptsächlich schmaler sind als die Klinsen/Kanten der Werkzeuge. Dies kann dadurch bedingt sein, dass der Knochen im nicht getrockneten Zustand noch eine Elastizität aufweist und sich das Knochengewebe nach dem Entfernen des Messers wieder ausdehnt. Andererseits kann durch Fehlen von Wasser bei der Backofen-Methode das Auswaschen von Knochenbestandteilen verhindert haben.

In vorliegender Studie gelang es daher tatsächlich, für Tatwerkzeuge spezifische Spuren zu identifizieren und diese in 3 Gruppen einzuteilen:

- Messer ohne Schliff
- Messer mit Schliff
 - Messer mit feinem Schliff
 - Messer mit grobem Schliff
- Sonstige Werkzeuge

5.3.2 Silex

Das Ziel des Experiments war, bestimmte Merkmale zu finden, die Silex an Knochen hinterlassen. Händisch wurden jeweils drei Cut- und Hackspuren zugefügt und mittels bereits oben beschriebener Methoden untersucht.

Abhängig von der Beschaffenheit der Kanten des Silex sind viele Kerbmarkenformen möglich. Generell ist die Kerbmarke nicht so tief, zeigt wenig Gleichmäßigkeit und besitzt eine hohe Variabilität in der Form. Der Schnitt ist meist unreinigt aufgrund von Ablagerungen, Schmutz und sonstigem Material, zusätzlich ist der Grund spitz und die Kerbe ist meist weit und unregelmäßig (Walker & Long, 1977).

In vorliegender Studie waren die Kanten des Silex nicht einheitlich geformt, was zur Folge hatte, dass die Kerbmarken unregelmäßig waren, mit sekundären Marken auftraten und verschiedene Längen und Breiten hatten. Hinzu kommt, dass die Ränder aufgeraut waren, was durch den ausgeübten Druck verursacht wurde. In der Studie von Greenfield (1999) zeigten die Kerbmarken ein ähnliches Bild. Lediglich Cut 2 war gerade und hatte keine zusätzlichen Streifen. Bei den Hackspuren fanden sich zusätzlich abgebrochene Silexbruchstücke in der Kerbmarke. Greenfield (1999) beschrieb in seiner Arbeit, dass Steinwerkzeuge zwei Seiten hätten: Eine glatte und eine raue. Diese Beobachtung konnte in dieser Arbeit nicht gemacht werden. Speziell Silex hat den Vorteil, dass unebene Stellen weggebrochen werden können, um einen scharfen Schliff zu erhal-

ten, um zB die Muskeln vom Knochen zu trennen oder die Leiche zu zerstückeln.

5.3.3 Zerstückelungswerkzeuge

Das Ziel des Experiments war, bestimmte Merkmale zu finden, die Tatwerkzeuge beim Zerstückeln an Knochen hinterlassen.

Die Oberschenkelbeine wurden in einen Schraubstock gespannt und die Marken wurden händisch zugefügt. Anschließend wurden die Marken mit bereits oben beschriebenen Methoden untersucht.

In vorliegender Studie konnten klare Unterschiede zwischen den Marken beobachtet werden. Bei der Axt wurde Cut 1 am proximalen Ende des Oberschenkelbeins zugefügt. Dort ist die *Substantia compacta* dicker, weswegen die Marke auch schmal und ohne Einbrüche ist. Cut 2 wurde ca. in der Mitte des Oberschenkelbeins zugefügt. Dort ist der Knochen dünner und brüchiger. Die *Substantia compacta* wurde eingedrückt und ist gebrochen. Diese Marken hinterließen keine *Striae*, wie die unten beschriebenen Werkzeuge.

Bei der Kettensäge gab es die größte Kerbmarke, die Ränder und Wände zeigten charakteristische Spuren, die von den Zähnen herrühren, die Ränder sind uneben und die Marke insgesamt breiter als die Klinge, wie auch von Symes (1992) und Symes et al. (2010) beschrieben wurde. Ein Ansengen des Knochens fand nicht statt, allfällige Verfärbungen sind Rostrückstände der Kette. Die von Symes et al. (2010) beobachteten einheitlichen Muster konnten nicht beobachtet werden, aufgrund der gezackten Ausrichtung der Sägezähne fanden sich Einkerbungen an den Randkanten und den Wänden.

Die Bügelsäge hat Linien auf der Schnittfläche hinterlassen, der Rand ist stellenweise ausgebrochen. Im Vergleich zur Kettensäge sind die Linien fein, die Verfärbungen gehen auf die rostige Klinge zurück. Auch hier ist ein einheitliches Muster nicht erkennbar.

Die Kerben der Baumsäge und des Winkelschleifers sehen sich relativ ähnlich, die Baumsäge hat eine geringere Höhe und der Rand ist nicht glatt. Der Grund ist mit feinen Linien versehen. Der Winkelschleifer dagegen hat eine Kerbe mit sehr glatten Wänden und unbeschädigten Kanten hinterlassen, die *Substantia compacta* wurde vollständig durchtrennt, was auf die hohe Energie und das hohe Drehmoment zurückzuführen ist.

Symes (1992) und Symes et al. (2010) beobachteten in ihren Studien ein einheitliches Schnittmuster, erhöhten Verbrauch von Material und hohe Energieübertragung, welche in Abhängigkeit zur Stärke der Säge stehen. Hervorgerufen werden diese durch das Gewicht, die erhöhte Geschwindigkeit und das hohe Drehmoment der Säge. Ein Ansengen der Knochen oder ein Glätten der Schnittflächen wurden als Maß für den hohen Energietransfer angesehen. Symes et al. (2010) führten aus, dass maschinell betriebene Sägen einheitliche Muster und Schnitte produzieren, im Gegensatz zu händischen Sägen. In vorliegender Studie war der Kontakt zwischen Säge und Knochen vermutlich nicht lange genug, um ein Ansengen zu ermöglichen.

In der Studie von Berger (2013) war ein Ansengen des Knochens ebenfalls nur minimal, wenn überhaupt, zu sehen. Die Seitenwände waren entweder aufgeraut oder glatt. Die von Berger (2013) beschriebene „runzelige“ Oberfläche konnte zwar in aktueller Studie nicht gesichtet werden, was aber an der limitierten Auswahl der Sägewerkzeuge lag und überhaupt nur eine Motorsäge verwendet wurde. Einzig bei der Bügelsäge waren einzelne *Striae* zu sehen, aber nicht in der Deutlichkeit wie von Berger (2013) und Amadasi et al. (2019) beschrieben.

In vorliegender Arbeit konnte tatsächlich gezeigt werden, dass sich die Zerstückelungsmarken im Knochen unterscheiden und diese in drei Gruppen von Zerstückelungswerkzeugen einteilen lassen:

- Hackwerkzeuge (Axt)
- grobe Werkzeuge (Kettensäge, Bügelsäge)
- feine Werkzeuge (Baumsäge, Winkelschleifer, Messer)

Innerhalb dieser Gruppen sind weitere Unterscheidungen anhand von Schnittmuster und Linien möglich, wie oben beschrieben.

Die Daten für die Messerspuren kamen von den *Cutmark*-Experimenten.

5.3.4 Prähistorische Knochen

Archäozoologie

Untersucht wurden Knochenteile von Rindern und ein Knochenteil eines Schafes mit einigen der oben beschriebenen Methoden.

Die Knochen weisen zahlreiche Kerbmarken unterschiedlicher Größe auf. Die schmälere Marken stammen von Messern, die teils eine glatte Klinge und teils eine raue Klinge hatten. Dies ist gut anhand des Grunds zu unterscheiden. War das Messer glatt, finden sich am Grund keine Aufrauungen (Abb. 51).

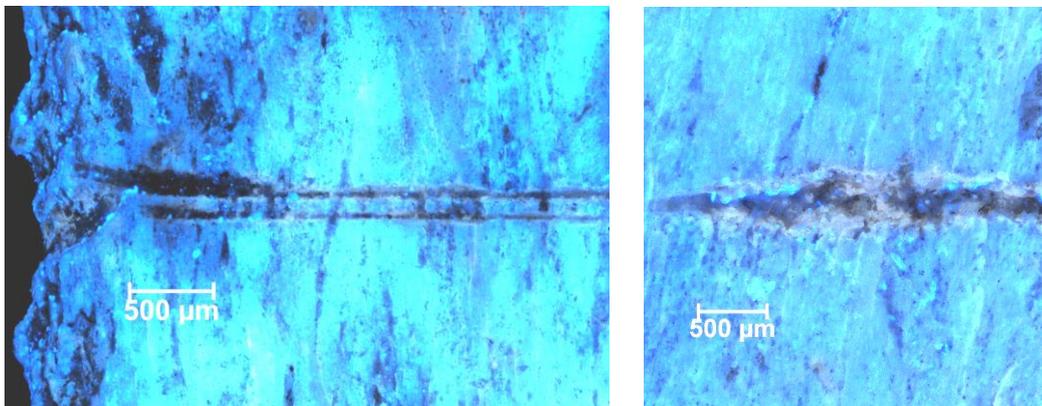


Abb. 51: Unterschied zwischen glattem und rauem Messer.

Das linke Bild zeigt die Marke eines glatten Messers. Der Boden zeigt keine Aufrauungen. Das rechte Bild zeigt sowohl an den Rändern als auch am Grund Aufrauungen, was durch ein Messer mit rauher Klinge verursacht worden sein könnte.

Die statistischen und morphologischen Daten der archäologischen Knochen, in Vergleich mit den Daten der rezenten Knochen, weisen auf ein schmales glattes oder schmales raues Messer hin. Speziell bei Rippe 1 – Cut 1 dürfte das Werkzeug sehr rau und breit gewesen sein. Der Grund ist aufgeraut, die Ränder uneben. Dieser Schnitt deutet auf eine Kombination von Hack- und Schneidebewegung hin, was die Form der Ränder erklären könnte. Die Daten der rezenten Knochen zeigen ein ähnliches Bild. Wird auf einen Knochen eingehackt, kommt es an den Rändern zu Absprengungen von Knochenteilen da die Energie abgeleitet wird. Dies führt zu einem rauhen Rand. Durch die Taphonomie sind diese Absprengungen an den prähistorischen Knochen verschwunden, aber die massiven Unebenheiten sind noch sichtbar. Schafschädel – Cut 1 und Distale Ulna – Cut 1 zeigen eindeutige Hackspuren. Das Werkzeug drang dabei schief in den

Knochen ein und wurde bei der Ulna horizontal wieder hinausgezogen, was an den zum Rand hin parallelen Strichen erkennbar ist. Beim Schafschädel wurde das Werkzeug vertikal entfernt, was ebenfalls an den zum Rand hin verlaufenden Muster erkennbar ist.

Unterkiefer – Cut 1 und Cut 2 zeigen Abschabungen/Krater an der Oberfläche. Aufgrund der gleichen Färbung mit dem restlichen Knochen und fehlenden helleren Fluoreszenz kann davon ausgegangen werden, dass diese bei der Fleischverarbeitung zugefügt wurden.

Im Gegensatz dazu sind bei Distale Ulna Cut 2, Cut 3, Cut 4 und Rippe 1 – Cut 2 helle Stellen mit dem Lichtmikroskop zu sehen. Mit der Fluoreszenz sind diese Stellen besonders gut hervorzuheben. Bei Rippe 1 – Cut 2 sind diese hellen fluoreszierenden Stellen nicht im kompletten Kratzer zu sehen, was auf ein Abtragen der obersten Schicht beim Reinigungsvorgang schließen lassen könnte.

Bei der Ulna sind mehrere Marken mit hellerer Fluoreszenz erkennbar. Cut 2 zeigt für eine Schnitt- oder Hackmarke eine ungewöhnliche Form. Der Grund ist auch sehr eben, was auf ein stumpfes und breites Werkzeug schließen lässt. Die sehr unebenen Ränder und der geschlängelte Verlauf der Marke stützen diese Vermutung. Das Fehlen der obersten Schicht und die damit hellere Fluoreszenz kann einerseits bei der Reinigung passiert sein, oder durch das Scheren eines Werkzeugs bei der Ausgrabung.

Cut 3 zeigt eine dünne Marke, deren Ränder stellenweise rau sind. Innerhalb der Marke sind Linien zu sehen, die auf Unebenheiten des Werkzeugs schließen lassen. Aufgrund der guten Erhaltung der Linien und der an diesen Stellen helleren Fluoreszenz dürfte die Marke vor kurzem, vielleicht im Rahmen der Ausgrabung zugefügt worden sein.

Die breiten Marken wurden vermutlich nicht durch Schneiden, sondern durch Hacken verursacht.

Menschliche Knochen

Untersucht wurden Teile von Skeletten zweier menschlicher Frauen aus der Bronzezeit mittels Fluoreszenzmikroskopie. Die Knochen wiesen zahlreiche Schnittspuren auf. Die Frage war, ob es sich um alte oder kürzlich zugefügte Spuren handelt, ob Rückschlüsse auf das verwendete Werkzeug möglich sind und was der Grund für diese Schnitte gewesen sein könnte.

Wichtig ist dabei die Unterscheidung zwischen alten Schnittspuren und Spuren, die bei der Ausgrabung oder der Reinigung zugefügt worden sein könnten. Bei Betrachtung mit dem Lichtmikroskop fand sich im Schnitt und am Knochen die gleiche Verfärbung. Bei Betrachtung mit dem Fluoreszenzmikroskop fanden sich besonders am Grund nicht fluoreszierende Ablagerungen, die sich vermutlich während der langen Liegedauer dort abgelagert hatten. Die einheitliche Verfärbung und die Kontrolle mittels Fluoreszenz schließen nachträglich zugefügte Spuren aus.

Beim Vergleich der morphologischen und statistischen Daten der Menschenknochen und der rezenten Knochen kann davon ausgegangen werden, dass die Schnitte mit einem schmalen, glatten Messer zugefügt wurden, wobei auch die taphonomischen Einflüsse berücksichtigt werden sollten.

Auffallend sind die häufigen sehr oberflächlich verlaufenden parallelen Schnitte an den Knochen (Abb. 52). Diese Schnitte sind sogenannte *False start*-Schnitte. Diese Schnitte kann man beobachten, wenn sehr zögerlich geschnitten wurde und/oder wenn man sich bezüglich der Schneideposition nicht sicher ist und das Werkzeug öfters vom Knochen abgesetzt wird. Die *False start*-Schnitte sind dabei in unmittelbarer Nähe zum Hauptschnitt, der tiefer in den Knochen geht, zu finden.

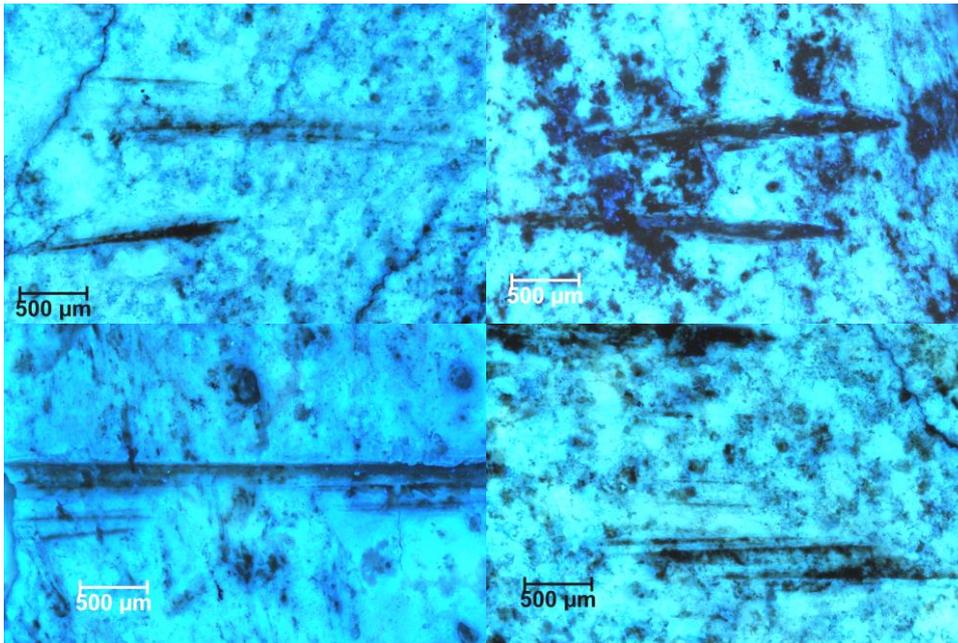


Abb. 52: Parallele Schnittspuren an Knochen.

Die *False start*-Schnitte verlaufen oberflächlich und in unmittelbarer Nähe zum Hauptschnitt, der tiefer in den Knochen geht.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen und den Daten der hier nicht gezeigten Knochen kommt man zur Annahme, dass beide Frauen mit einem stumpfen Gegenstand hinterrücks erschlagen und anschließend zerstückelt und entfleischt wurden. Die Überreste wurden vermutlich sehr oberflächennah vergraben, worauf die Bissspuren von *Arvicola terrestris* hinweisen. Bei einer der Frauen wurden auch Knochen eines Fötus gefunden. Die Frau war im 8./9. Monat schwanger. Die Knochen des Fötus weisen keine Schnittspuren auf (Daten nicht in Arbeit enthalten).

5.3.5 Die Taphonomie verändert das Erscheinungsbild der Marke

Rezente Schweineknochen wurden in einer Plastikdose mit Steinen für jeweils 2 x 4 Stunden in einer Trommel, die mit Kugeln und Wasser gefüllt war, gedreht. Die Marken wurden nach 4 und nach weiteren 4 Stunden aufgenommen.

Es hat sich gezeigt, dass durch die Reibung der Steine die Ränder der Marken verändert wurden. Scharfe Kanten zeigten eine Abrundung, wodurch sie weicher erschienen. Wegstehende Kanten wurden größtenteils weggeschleift, wodurch die Marke größer erschien.

Einen Einfluss auf das Entstehen von Abnützungen hat auch das Gewicht der Knochenstücke. Aufgrund des geringen Gewichts der rezenten Knochenstücke dürften die Abnützungserscheinungen weniger stark ausgefallen sein. Haglund & Sorg (2001) führten in ihrem Buch an, dass eine große Körpermasse eine komplexe taphonomische Bedeutung aufweist, die durch viele Variablen beeinflusst wird, was besonders bei Massengräbern zu berücksichtigen ist. Obwohl die Knochen in dieser Studie sehr leicht waren, konnten Veränderungen beobachtet werden. Ganze Knochen, die vor allem noch höherem Gewicht ausgesetzt werden, dürften die taphonomischen Effekte noch verstärken. Zusätzlich zur Variable Druck können weitere Variablen wie Feuchtigkeit, Trockenheit, Tierfraß oder ein bestimmtes chemisches Milieu hinzukommen und die Marken entscheidend verändern.

Nicht immer ist es leicht, alte Spuren von frischen Spuren, zB von Ausgrabungen, zu unterscheiden. Frische Spuren sind heller, was aber nicht immer klar ersichtlich ist. Hier sollte unbedingt die Fluoreszenzmikroskopie verwendet werden, da frische Spuren in der Fluoreszenz viel heller zum Vorschein kommen. Durch die taphonomischen Effekte kann es ebenfalls zu einem Verlust von Marken kommen. Capella et al. (2014) untersuchten Marken auf Knochen von Menschen, die vor Jahrzehnten ermordet wurden. Verletzungen, die in der Autopsie beschrieben wurden, waren 20 Jahre später nicht mehr zu sehen. Dieser Umstand könnte Anthropologen dazu verleiten, falsche Aussagen bezüglich der

Todesumstände zu treffen. In deren Studie wurde Makrofotografie verwendet. In Anbetracht des Alters der Knochen und unter Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse wären zusätzliche Licht- und Fluoreszenzaufnahmen von Vorteil gewesen.

6. Conclusio

Durch die Backofenmethode wurde eine schonende Art der Entfleischung entwickelt. Die Oberflächenveränderungen, die durch die Mikrowellenmethode und kochendes Wasser entstehen, konnten dadurch vermieden werden.

Der Vergleich von Knochen mit oder ohne Huminsäuren zeigte, dass Huminsäuren einen großen Einfluss auf das Fluoreszenzverhalten haben. Bevor eine Untersuchung mit Fluoreszenzmikroskopie durchgeführt wird, ist eine Lambda-Anregungsreihe zur Bestimmung der optimalen Anregungswellenlänge ratsam.

Betrachtet man die Marken morphologisch, lassen sich Rückschlüsse auf den Grundtypus des Werkzeugs ziehen. Es ist eine Annäherung und keine sichere Aussage. Die Ränder der Marken zeigten in vorliegender Studie, ob es sich um ein glattes oder ein unebenes Werkzeug handelte. Die Innenseiten der Marken zeigen nur bei sehr rauen Werkzeugen eindeutige Spuren. Eine Unterscheidung der Marken mittels statistischer Methoden ist nicht zu empfehlen, weil die Werte den Rückschluss auf ein Werkzeug stark verzerren können.

Bei Untersuchung der prähistorischen Knochen ist der morphologische Vergleich vorzuziehen. Ergänzend kann noch ein statistischer Vergleich herangezogen werden. Basierend auf den morphologischen Daten kann gesagt werden, dass die Menschenknochen aus der Bronzezeit überwiegend mit der gleichen Klinge entfleischt und zerstückelt wurden. Gattringer (1996) mutmaßte, dass die Frauen mit einem Silex entfleischt wurden. Basierend auf den morphologischen Daten kann dies nicht bestätigt werden. Die prähistorischen Tierknochen weisen Schneide- und Hackspuren auf und geben einen wertvollen Einblick in die Fleischverarbeitungstechniken des späten Mittelalters. Die Schnitte wurden größtenteils mit einem feinen Messer durchgeführt.

Bei Beurteilung prähistorischer Knochen sollten auch die Auswirkungen der Taphonomie berücksichtigt werden. Durch Umgebungseinflüsse zugefügte oder auch verschwundene Marken können falsche Rückschlüsse auf Beerdigungsrituale oder Todesumstände liefern.

Die Frage nach DER richtigen Methode ist schwierig zu beantworten. Alle in dieser Arbeit vorgestellten Methoden weisen Vor- und Nachteile auf und eine Kombination erscheint sinnvoll. Für eine gute morphologische Analyse bietet sich eine Kombination aus Licht- und Fluoreszenzmikroskopie mit ESEM an. Legt man den Fokus auf statistische Analysen, sollte man zum μ -CT greifen.

Für eine Komplettierung der morphologischen Analyse wäre eine Vergleichsdatenbank zu empfehlen, die die zu untersuchende Marke mit Referenzmarken vergleicht und mögliche verwendete Werkzeuge vorschlägt.

Zusätzliche Studien mit einer größeren Auswahl an Werkzeugen, besonders nachgebauten prähistorischen Werkzeugen, Untersuchungsmethoden und einer höheren Anzahl an Marken wäre sinnvoll, um die Analyse der Marken und die Zuordnung zu einem Werkzeug zu verfeinern.

7. Abkürzungen

°C Grad Celsius

μ Mikro

μA Mikroampere

μm Mikrometer

Abb. Abbildung

ca. Circa

CERN *Conseil européen pour la recherche nucléaire*

CT Computertomograph

ddH₂O doppelt deionisiertes Wasser

DESY Deutsche Elektronen-Synchrotron

etc. et cetera

Abkürzungen

g Gramm

HHS Höhe der höchsten Stelle

HKP Breite der Kerbmarke im Profil

HTS Höhe der tiefsten Stelle

J Joule

KMW Kerbmarkenwinkel

kV Kilovolt

m/s² Meter/Sekunde²

Mges Marke gesamt

NHM Naturhistorisches Museum

Pa Pascal

PUR Polyurethan

s Sekunde

Tab. Tabelle

TSE Transmissible Spongiforme Enzephalopathie

U/min Umdrehungen/Minute

W Watt

WZ Werkzeug

zB zum Beispiel

8. Referenzen

- Aiken, G. R., McKnight, D. M., Wershaw, R. L., MacCarthy, P. (ed), 1985, Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, isolation and characterization, Wiley & Sons Inc., New York, 692
- Ajwa, H. A., Tabatabai, M. A., 1994, Decomposition of different organic materials in soils, *Biol Fertil Soils*, 18, 175 – 182
- Amadasi, A., Mazzarelli, D., Oneto, C., Cappella, A., Gentilomo, A., & Cattaneo, C., 2019, Dismemberment and Toolmark Analysis on Bone, Dismemberments, 113 – 131
- Ambade, V. N., Godbole, H. V., 2006, Comparison of wound patterns in homicide by sharp and blunt force, *Forensic Sci Int.* 3, 166 – 170
- Ardenne, M., 1938a, Das Elektronen-Rastermikroskop. Theoretische Grundlagen, *Zeits Physik*, 109, 553 – 572
- Ardenne, M., 1938b, Das Elektronen-Rastermikroskop. Praktische Ausführung, *Zeits Techn Physik*, 19, 407 – 416
- Aumüller, G., Aust, G., Engele, J., Kirsch, J., Maio G., Mayerhofer, A., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wennemuth, G., Wolff, W., Wurzinger, L. J., Zilch, H.-G., 2014, *Duale Reihe Anatomie*, 3. Auflage, Thieme Verlag
- Bartels., L., 2011, *Knife Crime in Australia: Incidence Aetiology and Responses*, Australian Institute of Criminology, Australia
- Behrensmeyer, A., Gordon, K., Yanagi, G., 1986, Trampling as a cause of bone surface damage and pseudo-cut marks, *Nature*, 319, 768 – 771

- Berger, J., 2013, Reciprocating Saw as Tools of Dismemberment: Analysis of Class Characteristics and Practical Utility, Master's thesis, Boston University
- Bonavita, M., Braguglia, C. M., de Paolis, F., Petronio, M., Schinina, M. E., 1996, Humic compounds obtained from Antarctic soils poor in organic matter, *Annali Chim.*, 86, 429 – 437
- Bothe, C., 2008, *Das Messerbuch, Messer, Äxte, Werkzeuge*, 1. Auflage, Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart
- Braun, D. R., Pante, M., Archer, W., 2016, Cut marks on bone surfaces: influences on variation in the form of traces of ancient behaviour, *Interface Focus*, 6, 20160006
- Bundesministerium für Inneres, Bundeskriminalamt, Polizeiliche Kriminalstatistik 2018
- Buzug, T. M., 2002, *Einführung in die Computertomographie: Mathematisch-physikalische Grundlagen der Bildrekonstruktion*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York
- Campanella, L., Ferri, T., Petronio, B. M., Pupella, A., Paternoster, M., 1991, Coastal marine sediments from Antarctica: Humic and fulvic acids, *Annali Chim.*, 81, 477 – 490
- Capella, A., Castoldi, E., Sforza, C., Cattaneo, C., 2014, An osteological revision of autopsies: Comparing anthropological findings on exhumed skeletons to their respective autopsy reports in seven cases, *Forensic Sci Int.*, 244, 315.e1 – 315.e10

- Cappella, A., Castoldi, E., Sforza, C., Cattaneo, C., 2014, An osteological re-visitation of autopsies: comparing anthropological findings on exhumed skeletons to their respective autopsy reports in seven cases, *Forensic Sci Int.*, 244:315, 1-10
- Capuani, C., Telmon, N., Moscovici, J., Molinier, F., Aymeric, A., Delisle, M.-B., Rougé, D., Cuilbeau-Frugier, C., 2014, Modeling and determination of directionality of the kerf in epifluorescence sharp bone trauma analysis, *Int. J. Legal Med.*, 128, 1059 – 1066
- Carr, D. J., Wainwright, A., 2011, Variability of simulants used in recreating stab events, *Forensic Sci Int.*, 210(1-3), 42 – 46
- Cassidy, M. T., Curtis, M., 2005, Victims of Penetrating and Incised Wounds, in: Gilchrist, M. D. (ed), *IUTAM Symposium on Impact Biomechanics: From Fundamental Insights to Applications*, vol 124, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 405 – 414
- Cerutti, E., Magli, F., Gibelli, D., Cattaneo, C., 2014, Metrical assessment of cutmarks on bone: Is size important? *Leg. Med.*, 16(4), 208 – 213
- Chadwick, E. K., Nicol, A. C., Lane, J. V., Gray, T. G., 1999, Biomechanics of knife stab attacks, *Forensic Sci Int.*, 105, 35 – 44
- Chan, A., Payne, J., Homicide in Australia: 2008-09 to 2009-10, National Homicide Monitoring Program Annual Report, Australian Institute of Criminology, Canberra
- Choudhry, G. G., 1984a, Ed., *Humic substances: Structural, photophysical, photochemical and free radical aspects and interactions with environmental chemicals*, Gordon & Breach Science Publishers, Inc., New York, pp 3 – 53, 57 – 91

- Coelho, L., Cardoso, H. F. V., 2013, Timing of blunt force injuries in long bones: The effects of the environment, PMI length and human surrogate model, *Forensic Sci Int.*, 233, 230 – 237
- Cowper, E. J., Carr, D. J., Horsfall, I., Fergusson, S. M., 2015, The effect of fabric and stabbing variables on severance appearance, *Forensic science international* 249, 214 – 224
- Danilatos, G. D., 1988, Foundations of Environmental Scanning Electron Microscopy, *Adv Electronics and Electron Phys.*, 71, 109 – 250
- Danilatos, G. D., 1990, Theory of the Gaseous Detector Device in the ESEM, *Adv Electronics and Electron Phys.*, 78, 1 – 102
- Datta, C., Ghosh, K., Mukherjee, S. K., 1971, Fluorescence excitation spectra of different fractions of humus, *J. Indian Chem. Soc.*, 48, 279 – 287
- Datta, C., Senesi, N., Schnitzer, M., 1978, Chemical degradation of humic and fulvic acids extracted from Mediterranean soils, *J. Soil Sci.*, 29, 350 – 359
- DiMaio, V. J., DiMaio, D., 2001, Wounds caused by pointed and sharp-edged weapons, in: Geberth, V. J. (Ed.), *Forensic Pathology*, 2. Ed., CRC Pres, Boca Raton, 2001, 187 – 228
- Dinges, E., Worm, H.-L., 2000, *Holz Info. Holzbearbeitung - Ein Grundkurs mit Werkzeugkunde 4.-6. Schuljahr*; Persen Verlag, Horneburg/Niederelbe
- Dogan, K. H., Demirci, S., Deniz, I., Erkol, Z., 2010, Decapitation and dismemberment of the corpse: a matricide case, *J Forensic Sci.*, 55(2), 542 – 545
- European Food Safety Authority (EFSA), <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/transmissible-spongiform-encephalopathies-tses>, abgerufen am 29.11.2017

- Feest, C. F., Janata, A., 1999, Technologie und Ergologie in der Völkerkunde, Band 1, 4. Ed., Dietrich Reimer Verlag, Berlin
- Fernandez-Jalvo, Y., Diez, J. C., Caceres, I. & Rosell, J., 1999, Human cannibalism in the Early Pleistocene of Europe (Gran Dolina, Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain), *J Hum Evol*, 37, 591 – 622
- France, D. L., Griffin, T. J., Swanburg, J. G., Lindemann, J. W., Davenport, G. C., Trammell, V., Armbrust, C.T., Kondratieff, B., Nelson, A., Castellano, K., Hopkins, D., 1992, A multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves, *J Forensic Sci.*, 37, 1445 – 1458
- Gattringer, A., 1997, in: Neugebauer, J.-W., Blesl, Chr., Gattringer, A., Neugebauer-Maresch, Chr., Preinfalk, F., 1997, Rettungsgrabungen im Unteren Traisental in den Jahren 1996 und 1997. 14. Vorbericht über die Aktivitäten der Abt. f. Bodendenkmale des Bundesdenkmalamtes im Raum St. Pölten-Traismauer, *Fundberichte aus Österreich, Wien*, 36, 451 – 566
- Gaudio, D., Di Giancamillo, M., Gibelli, D., Galassi, A., Cerutti, E., Cattaneo, C., 2014, Does cone beam CT actually ameliorate stab wound analysis in bone? *Int. J. of Legal Med*, 128(1), 151 – 159
- Ghosh, K., Mukherjee, S. K., 1972, Fluorescence excitation spectra of natural and synthetic hymatomelanic acids, *Agrokem. Talajt.*, 21, 327 – 336
- Ghosh, K., Schnitzer, M., 1980, Fluorescence Excitation Spectra of Humic Substances, *Can. J. Soil Sci.*, 60, 373 – 379
- Goldberg, H., 1997, Cannibalism in Iberian Narrative: The Dark Side of Gastronomy, *Bulletin of Hispanic Studies*, 74, 107 – 122
- Grassberger, M., Schmid, H., Koenig, A., 2009, Todesermittlung: Befundaufnahme & Spurensicherung: ein praktischer Leitfaden für Polizei, Juristen und Ärzte, Springer Verlag, Wien/New York

- Greenfield, H. J., 1999, The Origins of Metallurgy: Distinguishing Stone from Metal Cut-marks on Bones from Archaeological Sites, *J. Archaeol. Sci.*, 26, 797 – 808
- Haglund, W. D., Sorg, M. H., 2001, *Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory, and Archaeological Perspectives*, 1st ed. CRC press, Kapitel 12.
- Harsanyi, L., 1993, Differential diagnosis of human and animal bone, in: *Histology of Ancient Human Bone: Methods and Diagnosis*, Springer-Verlag, Berlin, 79 – 94
- Havers, N., Burba, P., Klockow, D., Klockow-Beck, A., 1998, Characterization of humic-like substances in airborne particulate matter by capillary electrophoresis, *Chromatogr.*, 47, 619 – 624
- Henderson, J. P., Morgan, S. E., Patel, F., Tiplady, M. E., 2005, Patterns of non-firearm homicide, *J Clin Forensic Sci Int.* 3, 128 – 132
- Herrmann, N. P., Bennett, J. L., 1999, The differentiation of traumatic and heat-related fractures in burned bone, *J. Forensic Sci.*, 44(3), 461 – 469
- Hochmeister, M., Stimpfl, T., Grassberger, M., 2007, *Forensische Medizin für Studium und Praxis. 2. Auflage*, Facultas/Maudrich, Wien
- Horsfall, I., Watson, C., Champion, S., Prosser, P., Ringrose, T., 2005, The effect of knife handle shape on stabbing performance, *Appl Ergon.*, 36, 505 – 511
- Hunt, A. C., Cowling, R. J., 1991, Murder by stabbing, *Forensic Sci Int.* 52, 107 – 112
- Kalender, W. A., 2000, *Computertomographie. Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen mit Mehrschicht-Spiral-CT*, Publicis MCD Werbeagentur, München

- Karlsson, T., 1998, Homicidal and suicidal sharp force fatalities in Stockholm, Sweden: orientation of entrance wounds in stabs gives information in the classification, *Forensic Sci Int.* 93, 21 – 32
- Knight, B., 1975, The dynamics of stab wounds, *Forensic Sci* 6(3), 249 – 255
- Komo, L. B., 2016, Rippenverletzungen durch scharfe Gewalt: Multimodale morphologische Analyse mittels Mikro-CT, REM und Makrofotografie, Master's thesis, Universität Wien
- Lewis, J. E., 2008, Identifying sword marks on bone: criteria for distinguishing between cut marks made by different classes of bladed weapons, *J. Archaeol. Sci.*, 35(7), 2001 – 2008
- Lignitz, E., 2004, Leichenbeseitigung, Leichenzerstückelung, Leichenverstümmelung, in: Brinkmann B, Madea B (Ed.) *Handbuch gerichtliche Medizin*, Springer Verlag, 210-222
- Lynn, K. S., Fairgrieve, S. I., 2009b, Microscopic indicators of axe and hatchet trauma in fleshed and defleshed mammalian long bones, *J. Forensic Sci.*, 54(4), 793 – 797
- Marlar, R. A., Banks, L. L., Billman, B. R., Lambert, P. M., Marlar, J. E., 2000, Biochemical evidence of cannibalism at a prehistoric Puebloan site in southwestern Colorado, *Nature*, 407, 74 – 78
- Mead, S, Strumpf, M. P, Whitfield, J., Beck, J. A., Poulter, M., Campbell, T., Uphill, J. B., Goldstein, D., Alpers, M., Fisher, E. M., Collinge, J., 2003, Balancing Selection at the Prion Protein Gene Consistent with Prehistoric Kuru like Epidemics, *Science*, 300, 640 – 643
- Merritt, S. R., 2015, Cut Mark Cluster Geometry and Equifinality in Replicated Early Stone Age Butchery, *Int J Osteoarchaeol.*, 26, 585 – 598

- Norman, D. G., Watson, D. G., Burnett, B., Fenne, P. M., & Williams, M. A., 2018, The cutting edge — Micro-CT for quantitative toolmark analysis of sharp force trauma to bone, *Forensic Sci. Int.*, 283, 156 – 172
- Orsós, A., 1940, Leichenzerstückelung, in: Neureiter, F., Pietrusky, F., Schütt, E. (Ed.), *Handwörterbuch der gerichtlichen Medizin und naturwissenschaftlichen Kriminalistik*, Springer Verlag, 446 – 447, 466
- Oschmann, W., *Leben der Vorzeit: Grundlagen der Allgemeinen und Speziellen Paläontologie*, 2018, Haupt Verlag, 1. Auflage, S. 27 – 28
- Outram, A. K., 1998, *The Identification and Palaeoeconomic Context of Preshistoric Bone Marrow and Grease Exploitation*, Doctoral thesis, University of Durham
- Pollak, S., 2007, Medical criminalistics, *Forensic Sci Int*, 165(2-3), 144 – 149
- Porta, D., Amadasi, A., Cappella, A., Mazzarelli, D., Magli, F., Gibelli, D., Rizzi, A., Picozzi, M., Gentilomo, A., Cattaneo, C., 2016, Dismemberment and disarticulation: A forensic anthropological approach, *J Forensic Leg Med.*, 28, 50 – 57
- Rajs., J., Lundström, M., Broberg, M., Lidberg, L., Lindquist, O., 1998, Criminal mutilation of the human body in Sweden- a thirty-year medico-legal and forensic psychiatric study, *J Forensic Sci.*, 43, 563 – 580
- Reichs, K. J., 1998, Postmortem dismemberment: recovery, analysis and interpretation, in: Reichs, K. J., (Ed.), *Forensic osteology, advances in the identification of human remains*, Springfield, IL: Charles, C. T., 353 – 398
- Rodriguez, W. C., Bass, W.M., 1985, Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location, *J Forensic Sci.*, 30, 836 – 852

- Rouse, D. A., 1994, Patterns of stab wounds: a six year study, *Med Sci Law* 34, 67 – 71
- Saladié, P., Rodríguez-Hidalgo, A., 2016, Archaeological Evidence for Cannibalism in Prehistoric Western Europe: from Homo antecessor to the Bronze Age, *J Archaeol Method Theory*, 24, 1034 – 1071
- Saladié, P., Rodríguez-Hidalgo, A., Cáceres, I., Esteban-Nadal, M., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro J. M., Carbonell, E., 2012, Intergroup cannibalism in the European Early Pleistocene: The range expansion and imbalance of power hypotheses. *J Hum Evol.*, 63, 682 – 695
- Salfati, C. G., 2000, The nature of expressiveness and instrumentality in homicide: implication for offender profiling, *Homicide Stud.*,4(3), 265 – 293
- schneidwerkzeugmechaniker.info/wiki/Schleiftechnik, abgerufen am 30.11.2017
- Schoenly, K., Griest, K., Rhine, S., 1991, An experimental field protocol for investigation of postmortem interval using multidisciplinary indicators, *J Forensic Sci.*, 36, 1395 – 1415
- Schotsmans, E. M. J., Fletcher, J. N., Denton, J., Janaway, R. C., Wilson, A. S., 2014, Long-term effects of hydrated lime and quicklime on the decay of human remains using pig cadavers as human body analogues: Field experiments, *Forensic Sci Int.*, 238, 141.e1-141.e13
- Seal, B. K., Roy, K. B., Mukherjee, S. K., 1964, Fluorescence emission spectra and structure of humic and fulvic acids, *J. Ind. Chem. Soc.*, 41, 224
- Shipman, P., Rose, J., 1983, Early hominid hunting, butchering, and carcass processing behaviors: Approaches to the fossil record, *J. Anthropol. Arch.*, 2, 57 – 98

- Squires, P., 2009, The knife crime “epidemic” and British politics, *Br Politics*, 4(1), 127-157
- Statistik Austria, Abgerufen am 06.10.2018
- Stevenson, F. J., 1985, Geochemistry of soil humic substances, In: Aiken, G. R., McKnight, D. M., Wershaw, R. L., MacCarthy, P. (ed), *Humic Substances in Soil, Sediment and Water*, Wiley & Sons Inc., New York, 13 – 52
- Symes, S. A., 1992, Morphology of Saw Marks in Human Bone: Identification of Class Characteristics, PhD Thesis, University of Tennessee
- Symes, S. A., Chapman, E. N., 2010, Knife and saw toolmark analysis in bone: A manual designed for the examination of criminal mutilation and dismemberment, Mercyhurst College, Erie, PA
- Symes, S. A., Chapman, E. N., Rainwater, C. W., Cabo, L. L., Myster, S. M. T., 2010, Knife and Saw Toolmark Analysis in Bone: a Manual Designed for the Examination of Criminal Mutilation and Dismemberment, Report, National Institute of Justice
- Thompson, T. J. U., Inglis, J., 2009, Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone, *Int J Legal Med.*, 123(2), 129 – 135
- Türk, E. E., Püschel, K., Tsokos, M., 2004, Features characteristic of homicide in cases of complete decapitation, *Am J Forensic Med Pathol.*, 25(1), 83 – 86
- United Nations Office on Drugs and Crime, 2013, Global Study on Homicide, Trends/Contexts/Data

- Unser, S., 1983, Die Feuerstein-Technologie der Steinzeit: Funde von der Werkstatt des Neandertalers und seiner Urahnen aus der "Regio" (Markgräflerland) als Lehr Modell. Ketzerisch, doch furchtbare und wegweisende Gedanken, Schillinger, Freiburg im Pressgau
- Verhoff, M., A., Kreutz., K., Ramsthaler, F., Schiwy-Bochat., K., 2006), Forensische Anthropologie und Osteologie-Übersicht und Definitionen, Deutsches Ärzteblatt, Jg. 103, Heft 12), 782 – 788
- Vilaca, A., 2000, Relations between Funerary Cannibalism and Warfare Cannibalism: The Question of Predation, *Ethnos*, 65, 84 – 106
- Villa, P., Bouville, C., Courtin, J., Helmer, D., Mahieu, E., Shipman, P., Belluomini, G., Branca, M., 1986, Cannibalism in the Neolithic, *Science*, 233, 431 – 437
- Walker, P. L., Long, J. C., 1977, An experimental study of the morphological characteristics of tool marks, *American Antiquity*, 42, 605 – 616
- Waltenberger, L, Schutkowski, H., 2017, Effect of heat on cut mark characteristics, *Forensic Sci Int.*, 271, 49 – 58
- Weber, G. W., Bookstein, F. L., 2011, *Virtual anthropology: A guide to a new interdisciplinary field*, Springer Verlag, Wien
- Wiener Interventionsstelle gegen Gewalt in der Familie, 2011 – 2017, Tätigkeitsberichte
- Witthauer, J., Klöcking, R., 1971, Bindungsarten des Stickstoffs in Huminsäuren. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.*, 15, 577 – 588

9. Anhang

9.1 Zusammenfassung

9.1.1 English

Murder and dismemberment have been a major presence in the media in recent years. The Neusiedlersee killer, the Ice Lady, the killer of Kottingbrunn, and the dismembered journalist aboard the submarine, to name a few. For fresh corpses, the identification of the used tool is based on traces on the skin. But if the degree of decomposition is already advanced or only bones are present, one must follow the traces on the bone.

Cut and dissecting traces of prehistoric human bones raise many questions about the death of the individual. One investigates the possible cause of death, whether it was possibly murder or a natural death and what happened to the body after death. Traces of prehistoric animal bones provide insights into meat and carcass processing techniques, the tools used and the eating habits of by-gone times.

The central question is whether fluorescence microscopy enables a better and safer assessment of marks compared to other techniques. The goal is a better representation of structures at and in the brand and thus a conclusion on the used tool.

For maceration, a technique has been developed that allows to deflesh the bone gently, as it can lead to structural changes in the bone due to the known microwave method.

For the experiments, marks were added to pork ribs by means of six knives, a pair of scissors and two screwdrivers mounted on a homemade guillotine. To pig's thigh legs marks were added by hand with a chainsaw, bowsaw, angle grinder, segment saw and an axe. On prehistoric human and animal bones, the already existing marks were examined. The marks were recorded and measured by fluorescence microscopy. For comparison, macro-photography, stere-

omicroscopy, ESEM and μ -CT were used. Using special software (NIS-Elements BR, Viveza 2, Photoshop, Amira), the images were reworked and evaluated. The height of the highest point frontal and from the side, the height of the lowest point and the angle were measured and compared statistically. In addition to statistics, a morphological analysis was performed.

In present study it was actually possible to divide bone marks into three groups: marks caused by knives without cut, knives with cut (fine cut and coarse cut) and other tools. Marks after dismembering could also be divided into three groups: hoeing tools, coarse tools and fine tools.

The marks on prehistoric human bones were probably always added with the same slender and smooth blade. With fluorescence false start cuts were also well represented. The prehistoric animal bones were largely processed with a smooth and narrow blade. There were also occasional hacking marks that could be distinguished from cut marks. In fluorescence, recent traces, which were probably added during excavations, were depictable very well.

Examination for the effect of abrasion on marks revealed that protruding edges and details were being abraded through the stones and the marks partially appearing broader by break off edges.

It was shown that a statistical analysis can strongly distort the assignment of a tool to a notch mark. An additional morphological analysis is therefore useful and definitely recommended.

9.1.2 Deutsch

Mord und Zerstückelung zeigten in den letzten Jahren große Präsenz in den Medien. Der Neusiedlersee-Killer, die Eislady, der Mörder von Kottingbrunn und die zerstückelte Journalistin an Bord des U-Bootes, um nur einige zu nennen. Bei frischen Leichen geschieht die Identifizierung des Tatwerkzeugs anhand der Spuren auf der Haut. Wenn aber der Zersetzungsgrad schon weit fortgeschritten ist oder nur noch Knochen vorhanden sind, muss man die Spuren am Knochen analysieren.

Schnitt- und Zerstückelungsspuren an prähistorischen menschlichen Knochen werfen viele Fragen über den Tod des Individuums auf. Dabei geht man der möglichen Ursache des Todes nach, ob es womöglich Mord oder ein natürlicher Tod war und was nach dem Tod mit der Leiche geschah. Spuren auf prähistorischen tierischen Knochen geben Einblicke über Fleisch- und Tierkörperverarbeitungstechniken, die verwendeten Werkzeuge und die Ernährungsgewohnheiten vergangener Zeiten.

Die zentrale Frage ist, ob die Fluoreszenzmikroskopie eine bessere und sicherere Beurteilung von Marken ermöglicht, im Vergleich zu anderen Aufnahmetechniken. Das Ziel ist eine bessere Darstellbarkeit von Strukturen an und in der Marke und dadurch ein Rückschluss auf das verwendete Tatwerkzeug.

Für die Mazeration wurde eine Technik entwickelt, die es erlaubt, den Knochen auf schonende Weise zu entfleischen, da es bei der bekannten Mikrowellenmethode zu Strukturänderungen an Knochen kommen kann.

Für die Versuche wurden Schweinerippen mittels sechs Messern, einer Schere und zwei Schraubendrehern, die an einem selbstgebauten Fallbeil montiert waren, Marken zugefügt. Den Schweineoberschenkelbeinen wurden händisch mit einer Kettensäge, Bügelsäge, Winkelschleifer, Baumsäge und einer Axt Marken zugefügt. Bei den prähistorischen Menschen- und Tierknochen wurden die am Knochen bereits vorhandenen Kerbmarken untersucht. Die zugefügten Marken wurden mittels Fluoreszenzmikroskopie aufgenommen und vermessen. Zum

Vergleichen wurden noch Makrofotografie, Stereomikroskopie, ESEM und μ -CT verwendet. Mittels spezieller Software (NIS-Elements BR, Viveza 2, Photoshop, Amira) wurden die Bilder nachbearbeitet und ausgewertet. Vermessen wurden die Höhe der höchsten Stelle frontal und im Profil, die Höhe der tiefsten Stelle und der Winkel und statistisch miteinander verglichen. Zusätzlich zur statistischen Analyse wurde eine morphologische Analyse durchgeführt.

In dieser Studie war es tatsächlich möglich, die Marken auf den Knochen in drei 3 Gruppen von Tatwerkzeugen einzuteilen: Messer ohne Schliff, Messer mit Schliff (feiner Schliff und grober Schliff) und sonstige Werkzeuge. Die Zerstückelungsmarken konnten ebenfalls in 3 Werkzeuggruppen eingeteilt werden: Hackwerkzeuge, grobe Werkzeuge und feine Werkzeuge.

Die Marken auf den prähistorischen Menschenknochen wurden vermutlich immer mit derselben schmalen und glatten Klinge zugefügt. Mit der Fluoreszenz gut darstellbar waren auch *False start*-Schnitte. Die prähistorischen Tierknochen wurden Großteils mit einer glatten und schmalen Klinge bearbeitet. Es fanden sich auch vereinzelt Hackspuren, die von den Schnittspuren abgrenzbar waren. In der Fluoreszenz stellten sich rezente Spuren, die vermutlich bei Ausgrabungen zugefügt wurden, sehr gut dar.

Die Untersuchung der Auswirkung von Abnützungerscheinungen auf Marken zeigte, dass wegstehende Kanten und Details durch die Steine abgeschliffen wurden und durch das teilweise Wegbrechen der Kanten die Marken größer erschienen.

Es zeigte sich, dass durch eine statistische Analyse die Zuordnung einer Tatwaffe zu einer Kerbmarke stark verzerrt werden kann. Eine zusätzliche morphologische Analyse ist daher sinnvoll und unbedingt zu empfehlen.

9.2 Bildindex

Abb. 1: Femur (Oberschenkel) eines Menschen (Aumüller et al., 2014).	- 10 -
Abb. 2: Aufbau eines Messers (von Feest & Janata, 1999).....	- 16 -
Abb. 3: Sägeblatt mit Sägezähnen (adaptiert von Dinges & Worm, 2000). ...	- 17 -
Abb. 4: Sägeblätter verschiedener Sägen (adaptiert von Dinges & Worm, 2000).	- 17 -
Abb. 5: Aufbau einer Schere (adaptiert von schneidewerkzeugmechaniker.info).	- 18 -
Abb. 6: Silikatgestein (Silex) mit angeschärften Kanten.	- 19 -
Abb. 7: Aufbau einer Axtklinge (Bothe, 2008).....	- 20 -
Abb. 8: Frischer Schweineknochen nach Reinigung.	- 27 -
Abb. 9: Prähistorischer Knochen von einem Rind.	- 28 -
Abb. 10: Frischer Schweineknochen mit Cutmarke.....	- 29 -
Abb. 11: Fluoreszenzaufnahme bearbeitet.....	- 29 -
Abb. 12: Frische Schweinrippe, dargestellt durch ESEM und Mikro-CT.....	- 30 -
Abb. 13: Prähistorische Menschenknochen mit Cutmarken.	- 31 -
Abb. 14: Prähistorischer Knochen, Bild bearbeitet.	- 31 -
Abb. 15: Steine, die im Winter als Streugut verwendet wurden.....	- 38 -
Abb. 16: Trommelmaschine zum Simulieren von taphonomischen Effekten. -	38 -
Abb. 17: Fallbeil zum Zufügen von Kerbmarken.....	- 40 -
Abb. 18: Oberschenkelbein in Schraubstock.....	- 41 -
Abb. 19: Lambda-Anregungsreihe eines Knochens ohne Huminsäure.	- 50 -
Abb. 20: Lambda-Anregungsreihe eines Knochens mit Huminsäure.	- 51 -
Abb. 21: Lambda-Anregungsreihe eines prähistorischen Menschenknochen.	- 53 -
Abb. 22: Lambda-Anregungsreihe eines prähistorischen Rinderknochen....	- 55 -
Abb. 23: Verschiedene Aufnahmen der Rippen mit Cutmarken 1-9.	- 78 -
Abb. 24: Licht- und Fluoreszenzmikroskopie der Rippen mit Cutmarken 1-9 von der Seite.....	- 89 -
Abb. 25: Boxplots der Werte Mges und HKP.....	- 93 -
Abb. 26: Boxplots der Werte der KMW, HTS und HHS.	- 94 -
Abb. 27: Verschiedene Aufnahmen der Rippen mit Hack-Marken 1-6.	- 107 -

Abb. 28: Licht und Fluoreszenzmikroskopie der Rippen von der Seite mit Hackmarken 1-6.....	- 115 -
Abb. 29: Werte der Hackmarken Mges und HKP.....	- 118 -
Abb. 30: Boxplots der Werte der KMW, HTS und HHS.	- 119 -
Abb. 31: Aufnahmen mittels Licht-, Fluoreszenzmikroskopie und Mikro-CT der Rippen mit Silex-Marken.	- 124 -
Abb. 32: Boxplots der Werte Mges und HKP von Silex Cut und Silex Hack.	- 126 -
Abb. 33: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS von Silex Cut und Silex Hack.	- 128 -
Abb. 34: Aufnahmen mittels Licht-, Fluoreszenzmikroskopie und Mikro-CT der Knochen mit den Zerstückelungsmarken.	- 134 -
Abb. 35: Boxplots der Werte HHS der Zerstückelungsmarken.	- 137 -
Abb. 36: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS der Zerstückelungsmarken.....	- 138 -
Abb. 37: Licht- und Fluoreszenzmikroskopie der Marken der Tierknochen.-	- 162 -
Abb. 38: Mikro-CT-Aufnahmen der Knochen der Archäozoologie mit den Marken.	- 165 -
Abb. 39: Boxplots der Werte Mges der Marken der Tierknochen.	- 179 -
Abb. 40: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS der Marken der Tierknochen.	- 182 -
Abb. 41: Licht- und Fluoreszenzmikroskopie der Menschenknochen mit den Marken.	- 195 -
Abb. 42: Mikro-CT-Aufnahmen der Menschenknochen aus der Bronzezeit.	- 199 -
Abb. 43: Boxplots der Werte Mges der Marken der Menschenknochen.	- 215 -
Abb. 44: Boxplots der Werte KMW, HTS und HHS der Marken der Menschenknochen.	- 220 -
Abb. 45: Taphonomische Effekte auf Kerbmarken.	- 234 -
Abb. 46: Kerbmarke von Werkzeug 3.	- 238 -
Abb. 47: Kerbmarken von Werkzeug 6.	- 238 -
Abb. 48: <i>Orthoslice</i> im Programm Amira.....	- 240 -
Abb. 49: <i>Smoothing</i> führt zu Verlust von Merkmalen.	- 241 -
Abb. 50: <i>Partial volume averaging</i>	- 248 -

Abb. 51: Unterschied zwischen glattem und rauem Messer..... - 255 -

Abb. 52: Parallele Schnittspuren an Knochen. - 258 -

9.3 Tabellenindex

Tab. 1: Werkzeuge zum Zufügen von Marken.	- 34 -
Tab. 2: Aufstellung der verwendeten Zerstückelungswerkzeuge.	- 35 -
Tab. 3: Materialien für das Fallbeil.	- 37 -
Tab. 4: Einstellungen für die Aufnahmen mit dem Mikro-CT.	- 45 -
Tab. 5: Messparameter für die Kerbmarken.	- 46 -
Tab. 6: Werte der Messparameter der Cutmarken.	- 90 -
Tab. 7: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.	- 91 -
Tab. 8: Werte der Messparameter der Hackmarken.	- 116 -
Tab. 9: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.	- 117 -
Tab. 10: Werte der Silexmarken.	- 125 -
Tab. 11: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.	- 125 -
Tab. 12: Abmessungen der Zerstückelungsmarken.	- 135 -
Tab. 13: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.	- 136 -
Tab. 14: Abmessungen der Marken der Tierknochen.	- 167 -
Tab. 15: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.	- 168 -
Tab. 16: Abmessungen der Marken der Menschenknochen.	- 200 -
Tab. 17: Scheffé-Test zur Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen.	- 202 -
Tab. 18: Eigenschaften der verschiedenen Methoden.	- 243 -