

Dem Zahn auf den Nerv gefühlt

Eine Revision zur Morphologie des Elefantenstoßzahns

Hiltrud Jehle

Sowohl am Elefantenstoßzahn als auch am bearbeiteten Elfenbeinobjekt lässt sich oftmals an der Querschnittslage ein „Löchlein“ feststellen, das sich im Längsschnitt als kleiner Kanal oder Tunnel darstellt. In der kunsttechnologischen Literatur wird dieses Phänomen üblicherweise als Nervkanal bezeichnet. Eine interdisziplinäre Recherche aber ergab, dass der Elefantenstoßzahn nicht von einem zentralen Nerv durchzogen wird. Der röhrenförmige Hohlraum auf der Mittelachse des Zahnes ist vielmehr das Ergebnis einer mangelhaften Dentinbildung an der Pulpaspitze. Das Phänomen ist damit als individuell pathologisch einzustufen. Da es an einer Vielzahl von Elfenbeinartefakten zu finden ist, schlägt die Autorin eine Revision des bisher in der Kunsttechnologie gebräuchlichen Fachbegriffs „Nervkanal“ vor.

Investigating the Elephant Tusk: a Revision of its Morphology

Elephant tusks as well as finished ivory objects often display a distinctive feature best described as a small hole in its transverse section or a narrow tunnel in its longitudinal section. In technical conservation literature, this feature is commonly identified as a nerve canal. However, interdisciplinary research has indicated that there is no central nerve running through the elephant tusk. Rather, the tunnel-like cavity is the result of a flawed formation of dentine at the tip of the pulp. It is, therefore, more accurately a pathological feature that can be manifest with some elephants but not all. Because this phenomenon can be observed on many ivory objects, the author proposes a revision to the hitherto commonly used term “nerve canal”.

Einführung

Im Mittelalter und in der frühen Neuzeit hielt man den schraubenförmig gewundenen Zahn des Narwals für das Horn des Einhorns. Zum einen war noch nicht bekannt, dass es sich bei dem ungewöhnlichen Gebilde um den (meist linken) Stoßzahn des Narwals handelt, zum anderen fügte sich die Vorstellung, es handle sich bei dem seltsamen Fund um ein Relikt des sagenumwobenen Einhorns in das mittelalterliche Weltbild. Zu allen Zeiten beeinflussten Faktoren, wie Bildung, Erfahrung, Kenntnis, Kontext, aber auch persönliche Interessen, Aufmerksamkeit und Emotionen die kognitiven Prozesse. Eine Möglichkeit, die eigenen WahrnehmungsfILTER zu durchbrechen, bietet sich in der interdisziplinären Zusammenarbeit, die im Hinblick auf die Vielfalt und Komplexität restauratorischer Tätigkeitsfelder mittlerweile keine Ausnahme mehr darstellt. Dass zuweilen auch die Konsultation weiter entfernter Wissenschaften und ihrer Teildisziplinen notwendig sein kann, zeigt das nachfolgende Beispiel.

Der Stoßzahn des Elefanten liefert mit seinem Dentin einen Werkstoff, der im Laufe der Jahrtausende zu den unterschiedlichsten Artefakten verarbeitet wurde. Elfenbeinobjekte sind deshalb nicht nur in Kunstmuseen oder Kunstkammern anzutreffen, sondern finden sich unter anderem auch in archäologischen, ethnologischen, kunstgewerblichen, medizinhistorischen oder auf Musikinstrumente spezialisierten Sammlungen.

Wie bei jedem Werkstoff bilden auch beim Elfenbein profunde Kenntnisse des Rohmaterials die Grundlage für die Einschätzung der Materialeigenschaften, des Erhaltungszustands, des Alterungsverhaltens sowie für Aspekte der Konservierung und Restaurierung. Anders als bei handelsüblichen Werkstoffen lässt sich allerdings ein Elefantenstoßzahn nicht ohne weiteres beschaffen, weshalb für die Aneignung werkstoffspezifischer Kenntnisse das Elfenbeinkunstwerk selbst eine wichtige, häufig die einzige Informationsquelle

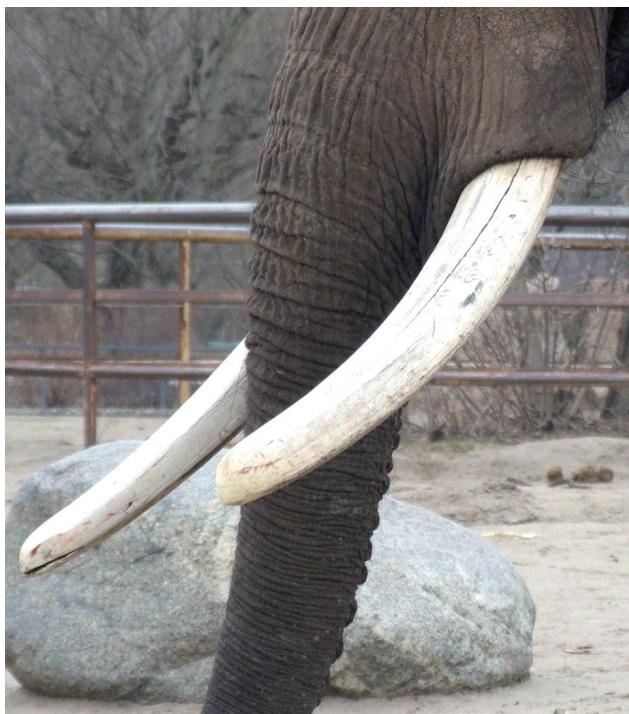
darstellt. Die zahlreichen Elfenbeinarbeiten aus dem Bestand der Skulpturensammlung und des Museums für Byzantinische Kunst der Staatlichen Museen zu Berlin stellen einen reichen Fundus für kunsttechnologische Untersuchungen dar und dienten als Ausgangsmaterial für nachfolgende Be trachtungen.

Aufbau des Elefantenstoßzahns

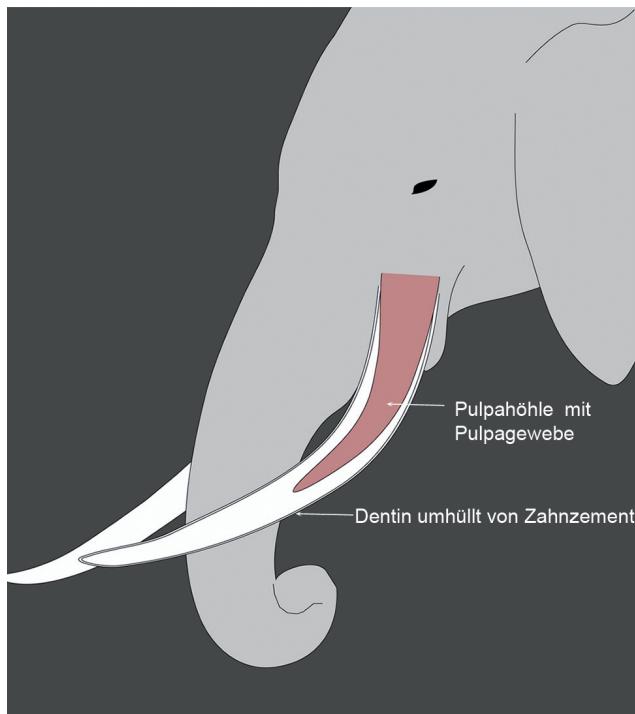
Elefantenstoßzähne sind verlängerte und nach außen verlängerte Schneidezähne¹ (Abb. 1). Unter günstigen Lebensumständen können die Zähne ein gesamtes Elefantenleben hindurch wachsen. Endgültige Größe und Form des Stoßzahns, der eher einen ovalen denn runden Durchmesser aufweist, werden zusätzlich von Alter, Geschlecht und Rasse bestimmt. Der größte Teil des Zahnes besteht aus Zahnbein (Dentin), das von einer wenige Millimeter dicken Schicht Zahnezement überzogen ist. Beim Jungtier liegt über dem Zement noch eine Schmelzschicht, die sich aber während der ersten Jahre abwetzet und nicht ersetzt wird.

Stoßzähne sind wurzellos im Oberkiefer des Elefanten in einer Höhlung der Kieferknochen, dem Zahnfach (Alveole²), eingeschlungen. Bindegewebsstrukturen aus kollagenen Faserbündeln (Parodontalligament), die sowohl mit dem Zahnfach als auch mit dem Zahnezement verwachsen sind und den kleinen Spalt zwischen beiden überbrücken, halten den Zahn. An der Zahnbasis³ beginnt die konisch zulaufende Pulpahöhle, die im Wesentlichen der äußeren Form des Stoßzahns folgt (Abb. 2) und das Zahngewebe, die so genannte Pulpae, enthält.

In der sich mit Elfenbein befassenden kunsttechnologischen und kunsthistorischen Literatur wird der Stoßzahn zumeist mit einem weiteren Merkmal – dem Nervkanal – charakterisiert.⁴ Den Beschreibungen und grafischen Darstellungen folge, setzt sich der Nervkanal in Verlängerung der Pulpahöhle, zentral verlaufend, bis zur Zahnpitze fort. Auf Foto-



1
Stoßzähne eines afrikanischen
Elefanten im Tierpark Friedrichs-
felde Berlin



2
Schematische Darstellung
eines Elefantenstoßzahns

grafien markiert er sich im Zahnquerschnitt üblicherweise als dunkler Punkt oder kleines Loch (Abb. 3–5), im Längsschnitt als mittig verlaufende dunkle Linie oder als kleiner Tunnel⁵ (Abb. 6). Ganz offensichtlich sind diese spezifischen Charakteristika am Werkstoff Elfenbein und an den daraus gefertigten Objekten nachzuweisen. Warum also eine Revision?

Die Motivation, das vielfach reproduzierte Bild in Frage zu stellen, entsprang einem bereits seit Jahren gehegten „unguten Gefühl“, das letztendlich zu einer Überprüfung mit anschließender Korrektur führte. Die Vorstellung, dass ein Nerv, vom Pulpakegel ausgehend durch die gesamte Stoßzahnlänge reichen soll, ließ wiederholt Zweifel an Wesen und Funktion eines solchen Empfindungsstranges aufkommen. Skepsis rief auch die Größe des vermeintlichen Nervkanals hervor, der bereits mit bloßem Auge erkennbar ist. Die Beobachtung, dass sich nicht an allen Elfenbeinbildwerken, die aus dem relevanten, vorderen Zahnteil gearbeitet sind, die Merkmale eines Nervkanals feststellen ließen, gab den endgültigen Ausschlag für eine profundierte Untersuchung.

Recherche

Die erweiterte Literaturrecherche führte zu dem erstaunlichen Ergebnis, dass sich keine zoologische Fachliteratur finden ließ, die sich ausführlich mit der speziellen Morphologie des Elefantenstoßzahns beschäftigt. Schnell wurde hingegen deutlich, dass in Publikationen mit odontologischer Ausrichtung kein zentraler Zahnnerv erwähnt wird. Auch in den zur Seite gestellten grafischen Darstellungen, die zumeist von Owen⁶, dem Altmeister der vergleichenden Odontologie,

aus dem Jahr 1857 übernommen sind, ist kein Nerv zu sehen. Werden die schriftlichen Ausführungen hingegen von fotografischen Abbildungen begleitet, ist nahezu in allen Beispiel-fotos im Zentrum eines Stoßzahnquerschnitts ein kleines Loch oder ein dunkler Punkt auszumachen, ohne dass dieses Charakteristikum je benannt oder anderweitig auf diese Eigenart eingegangen wird.⁷

In der Diskussion mit diversen Säugetier- bzw. Elefanten-spezialisten⁸ zeigte sich, dass selbst für tierärztlich ge-schulte Personen Unklarheit bezüglich Entstehung und Be-wandtnis des „schwarzen Lochs“ herrschten. Allerdings kris-tallisierte sich die Auffassung heraus, dass ein zentraler Nervkanal durch den Stoßzahn eher unwahrscheinlich sei. Das entscheidende Argument aus tierärztlicher Sicht war die Tatsache, dass viele Elefanten offensichtlich schmerzfrei mit abgebrochenen Stoßzähnen leben. Würde eine Stoßzahnfraktur zu einem frei liegenden Nerv führen, wäre dies nicht mehr gegeben. In freier Wildbahn können die Zähne bei unterschiedlichen Anlässen abbrechen: Elefanten benützen ihre Stoßzähne zum Graben nach Wurzeln, Salz und Wasser, für das Abschälen und Markieren von Bäumen, für das Entfernen von Hindernissen und nicht zuletzt als Kampf-instrumente bei Auseinandersetzungen. In Gefangenschaft brechen oder splittern die Zähne beim Versuch, Betonpfiler oder Stahlstangen aus dem Weg zu räumen. Indischen Tempel-elefanten werden die Stoßzähne aus ästhetischen Gründen gekürzt und in Form geschliffen.

Wenn also kein Nervkanal, was verbirgt sich dann hinter dem unzweifelhaft existierenden Löchlein? Für die Ergründung ei-ner Antwort sind an dieser Stelle vertiefende Ausführungen über die Morphologie des Zahnes allgemein und die des Ele-fantenzahnes insbesondere unumgänglich.



3

Querschnitte durch den massiven Zahnbereich. Im Zentrum jeweils ein rundes bis länglich ausgezogenes Löchlein, bei den beiden rechten Beispielen zusätzlich von einer unregelmäßig mineralisierten Zone umgeben



4

Statuette des Herkules mit kleinem Loch im Schulterbereich, (SKS Inv.Nr.726) Herkules als Bezwinger der Lernäischen Hydra und des Nemäischen Löwen, Christoph Maucher, Danzig, spätes 17. Jahrhundert, Staatliche Museen zu Berlin



5

Detailvergrößerung aus Abbildung 3. Der Durchmesser der Öffnung beträgt 1mm.

Dentinbildung

Die Dentinogenese ist ein hochkomplexer, mehrstufiger Prozess, der an dieser Stelle nur sehr vereinfacht dargestellt werden kann.⁹

Das für die Dentinbildung zuständige Organ ist das Pulpagewebe, eine spezialisierte Form des Bindegewebes, das aus unterschiedlichen Zellen und einer interzellulären Grundsubstanz aus verschiedenen Fasern, Gefäßen und Nerven besteht¹⁰ (Abb. 7). An der Peripherie der Pulpas sind die dentinbildenden Zellen, die so genannten Odontoblasten, angesiedelt. Bereits in ihrer Wachstumsphase beginnt die junge Zelle (Präodontoblast) eine amorphe Grundsubstanz (Dentinmatrix) in Form von unterschiedlichen Kollagenarten sowie weiterer Sekrete auszuscheiden. Die ausgereiften Odontoblasten führen diesen Prozess fort, indem sie die diversen kollagenen und nichtkollagenen Bausteine synthetisieren

und eine organische Vorstufe (Prädentin) sekretieren. Das frisch abgesonderte Prädentin durchläuft einen mehrphasigen Reifungsprozess, an dessen Ende eine mineralisierbare Dentinmatrix steht. Die Mineralisation beginnt jeweils in einer älteren pulpafernen Zone mit der Bildung einzelner Kalkglobuli, die im weiteren Verlauf miteinander verschmelzen, sodass eine durchgehend mineralisierte Dentinschicht entsteht.

Während der Dentinbildung verändert der Odontoblast seine Form und Größe. Die Zellen rücken dichter zusammen und schieben sich in mehreren Reihen übereinander. Der Zellkörper nimmt eine schlanke säulenförmige Gestalt mit einem länglichen zytoplasmatischen Zellfortsatz ein. Über diese markanten Odontoblastenfortsätze wird das Dentin Lebenslang physiologisch unterhalten. Den röhrenförmigen Raum, in dem sich die Fortsätze (neben Gewebsflüssigkeit und anderen organischen Strukturelementen) befinden, be-



6

Längsschnitte entlang der Mittelachse, jeweils durch den massiven Zahnbereich, links: irreguläre Struktur und zwei runde Einschlüsse („Erbsen“), Mitte: starke Verfärbungen und kanalartiger Tunnel, rechts: dunkle Mittellinie

Wachstum des Stoßzahns

zeichnet man als Dentinkanälchen. Diese Dentintubuli bilden ein radial verlaufendes Kanalsystem mit zahlreichen Seitenästen und durchziehen das gesamte, mineralisierte Dentin bis zur Dentin-Zement-Grenze. Das Dentin, das die auskleidende Wand der Dentinkanälchen bildet (peritubuläres Dentin), wird durch einen hohen Mineralisationsgrad und die Abwesenheit von Kollagenfibrillen charakterisiert. Das Dentin zwischen den Kanälchen (intertubuläres Dentin) ist weniger dicht mineralisiert und enthält große Mengen an kollagenen Fasern.

Das Endprodukt Dentin – oder Elfenbein – wird im Allgemeinen als mineralisierte organische Dentinmatrix charakterisiert. Den Hauptbestandteil der kristallinen Einlagerungen bildet ein Carbonat-Hydroxil-Apatit, das als Dahllit bezeichnet wird.

Im Gegensatz zum menschlichen Zahn, bei dem sich die Pulpahöhle zum Kiefer hin verengt, um in einen oder mehrere Wurzelkanäle zu münden, bleibt die Höhlung beim Elefanten geweitet. Über diese Öffnung erfolgt die Versorgung und Ernährung des Pulpagewebes. Wie oben beschrieben, bilden die an der Oberfläche der Pulpahöhle angesiedelten Odontoblasten das Dentin. Abgelagert wird das sekretierte Dentin entlang der Innenseite der Pulpahöhle. Im Verlauf dieser Ablagerung, in der sich jede neue Dentinschicht wie ein eingeschobenes kegelförmiges Hütchen an die zuvor gebildete anlegt, verfüllt sich die eng zulaufende Spitze der Pulpahöhle mit der Folge, dass der Stoßzahn massiv wird.

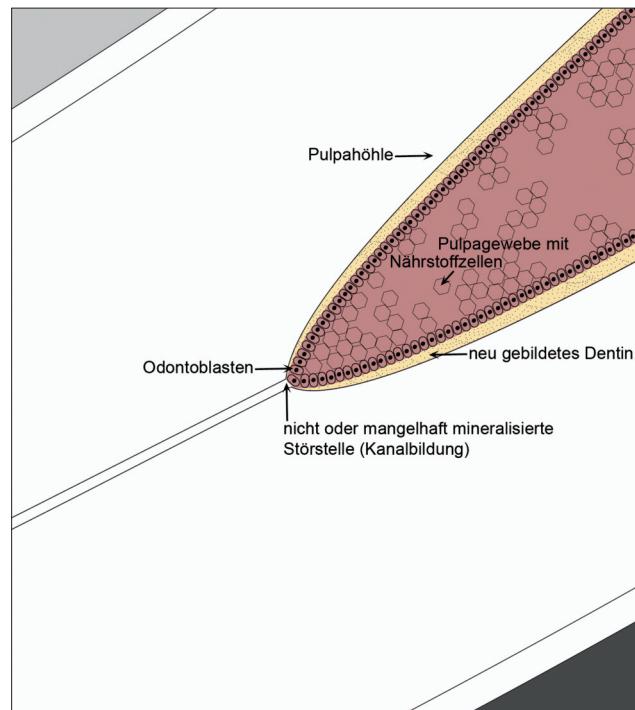
Für das gleichzeitig ablaufende Längenwachstum und – so weit physiologisch möglich – für eine Zunahme des Zahndurchmessers, sorgen die Odontoblasten, die am kiefernahen, stumpfen Pulpasäum angesiedelt sind.

Der Stoßzahn unterliegt demnach zwei separaten, aber simultan ablaufenden Wachstumsmustern: Zum einen zeigt sich dies in einer Zunahme des vorderen massiven Stoß-



7
Stoßzahn mit entnommener Pulpa

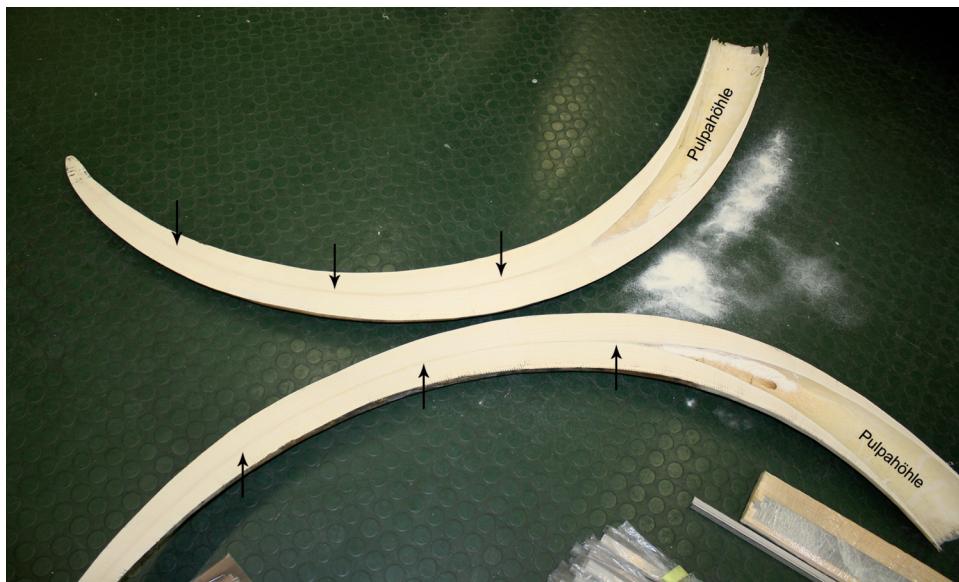
8
Schematische Darstellung zur Kanalbildung



9
Längs aufgeschnittener Stoßzahn.
Im Anschluss an die Pulphöhle
vollständig mineralisierter Bereich,
zur Zahnspitze hin kanalartige
Fehlstelle (Relikt der Pulphöhle)



10
Rückseite „Sündenfall“.
Im Anschluss an die Pulphöhle
vollständig mineralisierte Zone
mit leichten Verfärbungen, ober-
halb der Schlange kanalartige
Fehlstelle (Relikt der Pulphöhle).
(AGOID. 106433), Sündenfall,
Balthasar Griessmann,
ca. 1670–90, Thomson Collection
at the Art Gallery of Ontario



11
Längs aufgeschnittener Stoßzahn.
Komplett mineralisierter massiver
Zahnabschnitt mit feiner, farblich
abgesetzter Mittellinie (siehe
Pfeile), die die ehemalige Lage
der Pulpahöhlenspitze markiert.

zahnanteils, zum andern in einem Nachwachsen des Zahnes aus dem Zahnfach. Der damit verbundene Vorschub der bereits gebildeten Zahnmassen führt im Gesamten zum Längenwachstum.¹¹

In Relation zum Stoßzahnwachstum unterliegen auch die Pulpahöhle und das darin befindliche Gewebe einem gewissen Zuwachs. Während beim Jungtier noch der überwiegende Teil des Zahns von der Höhlung eingenommen wird, verschiebt sich im Laufe eines Elefantenlebens das Größenverhältnis zu Gunsten des massiven Zahnabschnitts.¹²

Mit fortschreitendem Lebensalter kommt es jedoch beim Elefanten zu einer Verengung der Pulpahöhle. Stimuliert durch Abrieb der äußeren Dentinschichten, erhöhen die Odontoblasten ihre Aktivität und lagern Sekundär dentin in der Pulpahöhle ab. Sekundär dentinbildung ist eine Anpassung an die Abnutzung des Stoßzahnes und wirkt der Gefahr der Pulpae xposition entgegen.¹³ Weitere Verengungen des Pulpahöhlenraums erfolgen, wenn durch externe Reize wie eindringende Fremdkörper oder Pulpae xzündungen Tertiär dentin gebildet wird. Hierbei handelt es sich um „irreguläres Dentin“, das keine regelmäßigen Dentinstrukturen zeigt. Die so genannten „Erbosen“ oder „Perlen“ fallen in diese Kategorie.¹⁴

Kanalbildung

Die nachfolgenden Ausführungen zur Entstehung eines kanalartigen Hohlraums stellen die Synthese aus dem schriftlichen und mündlichen Gedankenaustausch mit einer Vielzahl von Fachspezialisten dar. Trotz intensiver Recherche fanden sich keine histologischen Untersuchungen, die gegebenenfalls die hier vorgestellte Hypothese stützen könnten. Ob es im Stoßzahn zur Ausbildung eines zentralen Kanals kommt oder nicht, scheint vor allem von der Form des Pulpakegels abzuhängen. Für die Gestalt der Pulpae (stumpfe oder spitze Kegelform) spielen genetische Faktoren und das Alter des Elefanten eine entscheidende Rolle.¹⁵ Während beim Jungtier noch ein flacher Pulpakegel zu erwarten ist, nimmt

dieser mit fortschreitendem Lebensalter eine steilere Form an. Wie auf Abbildung 7 zu erkennen ist, kann das Pulpage webe auch in einer länglich ausgezogenen Spitze zulaufen. Während der fortschreitenden Dentinablagerung wird der Raum an der Spitze der Pulpahöhle immer beengter. Nach aktueller Vorstellung werden gegebenenfalls die dentinbildenden Odontoblasten in der vorderen Verengung nicht mehr in ausreichendem Maße am Stoffwechsel beteiligt.¹⁶ Durch die Unterversorgung mit Nährstoffen können sie ihrer Aufgabe, Dentinmatrix zu sekretieren und zu mineralisieren, nicht oder nur unvollständig nachkommen. Die Folgen sind unregelmäßiges, defektes oder mangelhaft mineralisiertes Dentin oder im Extremfall eine gänzliche Verhinderung der lokalen Dentinbildung. Das Ergebnis ist eine Fehlstelle, ein kleines Loch (Abb. 8). Erfahrungsgemäß weist die Öffnung einen Durchmesser von ungefähr ein bis zwei Millimetern auf. Bei den schwarzbraunen Rückständen, die sich zuweilen noch inliegend erkennen lassen, handelt es sich um ein getrocknetes Blut und/oder nekrotische Reste des Pulpagewebes.

Zum besseren Verständnis, wie es von einem anfänglichen Löchlein zur Kanalbildung kommt, kann es hilfreich sein, sich einen Dentinpartikel im Umfeld der Pulpahöhlenspitze vorzustellen. Wegen des bereits beschriebenen Vorschubs der früher gebildeten Dentinschichten „wandert“ dieser Dentinpartikel auf einer gedachten Mittellinie im Laufe eines Elefantenlebens in Richtung Stoßzahnspitze. Ebenso verhält es sich mit der Störstelle „Loch“, die sich – gefolgt von weiteren untermineralisierten Störstellen – zum Kanal aufaddiert. Jede beliebige Position entlang eines derartigen Kanals steht für die einstmal hier verortete Pulpaspitze respektive für das vordere Ende der Pulpahöhle. Die Kanalausziehung ist deshalb nicht eine Verlängerung der Pulpahöhle sondern ihr Relikt (Abb. 9, 10).

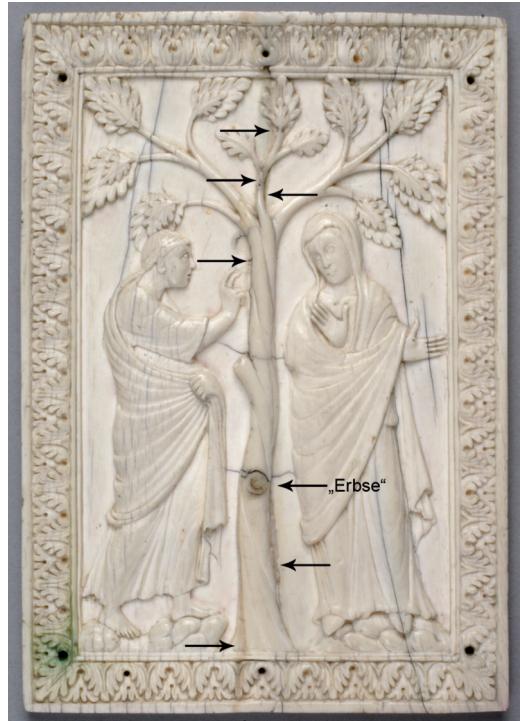
Auch wenn der Zahn perfekt durchmineralisiert ist, markiert sich häufig die ehemalige Lage der Pulpaspitze anhand einer feinen axialen Linie (Abb. 11).

Am verarbeiteten Elfenbeinprodukt kann sich ein mangelhaft mineralisierter Kernbereich je nach Stärke und Ausprägung des Defektes unterschiedlich bemerkbar machen. Nicht im-

12

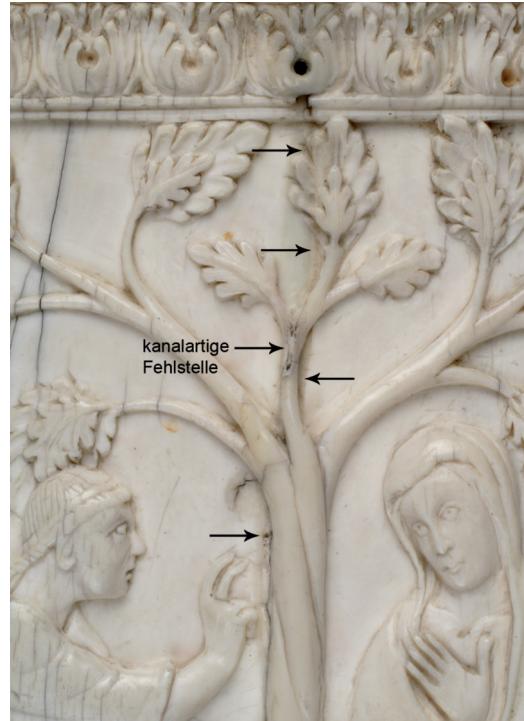
Relief mit Verkündigungsszene. Geschickte Integration der man- gelhaft mineralisierten Mittelzone in die Darstellung: die „Erbse“ er- weckt den Anschein einer Astgabel, inhomogene Dentinstrukturen, Farbabweichungen und kanal-

artige Fehlstellen verbergen sich links und rechts des Baumstam- mes (siehe Pfeile und Detailabbil- dung 13). (SKS Inv. Nr. 567), Ver- kündigung an Maria, westdeutsch, um 1000, Staatliche Museen zu Berlin



13

Detail aus Abb.12. Kanalartige Fehlstelle, inhomogene Dentin- bereiche und Verfärbungen (siehe Pfeile) entlang der Mittelachse markieren die ehemalige Lage der Pulpahöhlenspitze



14

Rückseite der „Verkündigung“ (Abb.12). Markierung der ehemaligen Lage der Pulpahöhlenspitze mittels feiner Linie, leichter Verfärbung und länglicher, kanalartiger Fehlstelle unterhalb des Papier- etiketts



15

Statuette des Herkules mit runder Öffnung (angeschnittenes Pulpahöhlenselkt) im Brustbereich und leicht gelblich verfärbtem Streifen über Hals und Wange

(SKS Inv. Nr. 7843), Jugendlicher Herkules mit Löwenfell und Keule, norddeutsch, Ende 17./Anfang 18. Jahrhundert, Staatliche Museen zu Berlin

mer markiert er sich als kleines Loch, bzw. als Längskanal, auch kleinere Fehlstellen, eine inhomogene, weichere Struktur, Farbabweichungen oder eine stumpfere, weniger gut polierbare Oberfläche sind mögliche Indizien. Besonders die letztgenannten Symptome lassen sich häufig in unmittelbarer Nachbarschaft des Kanals beobachten (Abb. 12–15). Weil die schichtweise Bildung von Präidentin und die Umwandlung in mineralisiertes Dentin keine kontinuierlichen Prozesse darstellen, sondern von Ruhephasen unterbrochen und von stoffwechselbedingten Störungen beeinflusst werden, können Zonen mit perfekt mineralisiertem Kern mit inhomogenen oder defekten Partien abwechseln. Wie bei allen Materialien biogenen Ursprungs beeinflussen zahlreiche Umstände und Faktoren das endgültige Erscheinungsbild. Ein lediglich stellenweises Auftreten der Charakteristika oder unterschiedliche Formen der Ausprägung sind ebenso denkbar wie das komplette Fehlen der beschriebenen Eigenheiten.¹⁷

Fazit

Nach der Literaturrecherche und dem regen Austausch mit Veterinär- und Zahnmedizinern, die sich auf Zahnbehandlung bei Tieren spezialisiert haben, fanden sich keine wissenschaftlichen Belege für die Existenz eines zentralen Nervkanals im Elefantenstoßzahn.

Die Bildung des kanalartigen Charakteristiks steht mit der Dentinogenese in Zusammenhang und ist als pathologisch einzustufen. Sie tritt häufig auf, ist aber nicht zwangsläufig bei jedem Zahn und damit auch nicht bei jedem Elfenbeinartefakt anzutreffen. Den eigenen Beobachtungen zufolge sind bei der überwiegenden Anzahl der Elfenbeinarbeiten, die aus dem relevanten Zahnschnitt gearbeitet sind, Indizien für den beschriebenen Kanal vorhanden.

Nicht allein für unsere Vorstellung vom Stoßzahn, sondern vor allem für unser Verständnis von Elfenbein als Werkstoff, sind fundierte Kenntnisse über das Naturprodukt von Relevanz. Wie das vorliegende Beispiel zeigt, kann eine (partielle) Materialdivergenz auch rohstoffimmanente Ursachen haben und muss nicht Ausdruck eines Schadensbildes sein.

Um in zukünftigen Darstellungen die irreführenden Bezeichnung „Nervkanal“ zu vermeiden, schlägt die Autorin den Begriff „Relikt der Pulpahöhle“ (Pulpahöhlenrelikt) vor. Er ist freilich weniger griffig, beschreibt aber Wesen und Ursache der Kanalbildung.

Danksagung

Der vorgestellten Hypothese gingen zahlreiche Gespräche voraus, so dass personenbezogene Referenzen und Dankesagungen nahezu unmöglich sind. Ich möchte mich deshalb bei allen bedanken, die das „Kanalthema“ so unermüdlich mit mir diskutiert haben. Für den regen Gedankenaustausch danke ich neben den bereits in Anmerkung 10 genannten Personen, Peter Kertesz, praktizierender Zahnarzt (London) und Spezialist für Dentalbehandlungen im veterinären Bereich <http://www.zoodent.com/> (31.10.2014). Für den intensiven E-Mail-Austausch und entscheidende Informationen geht mein ganz besonderer Dank an David A. Fagan, Direktor des Coyler Institutes (San Diego/USA). D. Fagan hat

sich ausgehend von seiner Zahnarztätigkeit zunehmend mit Zahnproblemen bei Tieren befasst. Er gilt weltweit als Koryphäe für Zahnprobleme bei Elefanten. Siehe hierzu: <http://www.coyerinstitute.org/> (31.10.2014)

Bedanken möchte ich mich auch bei Nora Lange (Museum für Naturkunde Berlin), die mich bei der Literaturliteraturbeschaffung hilfreich unterstützt hat, sowie für die Überlassung von Rohmaterial bei Herrn Richter vom Hauptzollamt Gießen und dem Bundesamt für Naturschutz.

Für die grafische Umsetzung (Zeichnung 1 und 2) danke ich herzlich Naja-Anissa Staats, für die Röntgenaufnahmen Christoph Schmidt (Fotograf der Gemäldegalerie der Staatlichen Museen zu Berlin).

Hiltrud Jehle
Skulpturensammlung und Museum
für Byzantinische Kunst
Bode-Museum
Geschwister-Scholl-Straße 6
10117 Berlin

Anmerkungen

1 Das Elefantenjunge hat zunächst Milchzähne, die nach ca. einem Jahr von den permanenten Stoßzähnen ersetzt werden. Hillson 2009, S. 120

2 Für die Nachvollziehbarkeit der Erläuterungen werden die in human- und veterinärmedizinischer Literatur gleichermaßen verwendeten Fachtermini mit angeführt.

3 Das zum Kiefer hin gerichteten Zahnen wird im vorliegenden Text als „Zahnbasis“ bezeichnet, das entgegen gesetzte Zahnen als „Zahnspitze“. Analoges gilt für die Richtungsbezeichnungen der Pulpahöhle.

4 Vgl. Barnett 1997, S. 4, Beukers 1999, S. 10, Cutler 1985, S. 1, Hegemann 1988, S. 13 und S. 15, Jäger 1995, S. 46, Kühn 2001, S. 278 und S. 400, Freund 1999, S. 7 f., Shalem 2014, S. 30, St. Clair/ Parker McLachlan 1989, S. 2, Trusted 2007, S. 115. Pappe 1993, S. 295, bildet in seiner Beschreibung die Ausnahme, indem er (in Bezug auf Grawe 1929, S. 23) lediglich einen Kanal erwähnt.

5 Entsprechende Zeichnungen zum Zahnaufbau und analoge Querverweise sowohl am Rohmaterial, als auch an bearbeiteten Elfenbeinbildwerken hat die Verfasserin in früheren Publikationen und Fachvorträgen vorgestellt. Vgl. Jehle 1995, S. 339 ff. und 1999, S. 17 f.

6 Owen 1857, S. 67

7 Vgl. MacGregor 1985, S. 18 und S. 19, Miles 1967, S. 284, Raubenheimer 1998, S. 970 und 1999, S. 59

8 Mitarbeiter des Museums für Naturkunde Berlin (Peter Giere, Oliver Hampe, Frieder Mayer), Elefantenexperten des Leibniz Instituts für Zoo- und Wildtierforschung Berlin (Thomas B. Hildebrandt, Frank Goeritz), der Elefantenkurator des Berliner Tierparks Friedrichsfelde (Günter Strauss) und Mitarbeiter der Veterinärmedizinischen Universität Wien (Gerald Weissgruber)

9 Für die Erläuterungen der Dentinbildung diente vornehmlich humanmedizinische Fachliteratur. Die nachfolgende Darstellung beruht auf Schroeder 1987, S. 85–141 und Schuhmacher 1997, S. 294–316. Beispiele für weiterführende Literatur: Hillson 2009, Miles 1967

- 10 Aufgrund der zahlreichen Funktionen der Pulpa (Dentinbildung, Ernährung, Innervation des Zahnes, Abwehr und Bekämpfung von Infektionen und körperfremder Stoffe) zeigt das Pulpagewebe keine einheitliche Struktur. Im vorliegenden Kontext wird nur auf die Pulpaoberfläche eingegangen.
- 11 Der Vollständigkeit halber sei noch die so genannte biologische Eruption erwähnt, die ebenfalls zu einer Verlängerung des sichtbaren Stoßzahnabschnitts beiträgt. Faktisch findet während dieses Vorgangs, der parallel zum tatsächlichen Stoßzahnwachstum auftreten kann, kein Längenwachstum statt. Der Zahn wird lediglich durch Aktivitäten des Periodontalligaments aus dem alveolaren Knochen herausgeschoben. (Emails Kertesz 02.09.2014, 05.09.2014)
- 12 Neben dem Lebensalter und den Lebensumständen beeinflusst auch das Geschlecht das Größenverhältnis Zahnhöhle/Zahn. Siehe dazu Steenkamp et al. 2008, S. 25–30
- 13 Die Pulpahöhle kann in den sichtbaren Bereich des Stoßzahnes hineinragen, weshalb bei solchen Zähnen der äußere Abrieb die Gefahr der Pulpalexposition mit sich bringt. Steenkamp et al. 2008, S. 25–30, Weissengruber et al. 2005, S. 388
- 14 Kertesz 1997, S. 195 (Auf Abbildung 6 und 12 sind derartige „Erbsen“ zu erkennen.)
- 15 Steenkamp et al. 2008, S.25–30
- 16 Emails Fagan vom 08.02.2013, 12.02.2013
- 17 Bei der Feststellung eines kleinen Lochs auf der Mittellinie des Stoßzahnes ist zu berücksichtigen, dass es sich auch um die angeschnittene Pulpahöhlenspitze handeln könnte.

Literatur

- Peter Barnet, Gothic sculpture in ivory: An introduction. In: Peter Barnet (Hg.), *Images in Ivory. Precious objects of the Gothic age*. Ausstellungskatalog The Detroit Institute of Art. Detroit 1997
- Klaus Beukers, Einführung. In: Klaus Beukers (Bearb.), *Mittelalterliche Elfenbeinarbeiten aus der Sammlung des Badischen Landesmuseums Karlsruhe*. Badisches Landesmuseum Karlsruhe 1999
- Anthony Cutler, *The craft of ivory. Sources, techniques and uses in the Mediterranean world: A.D. 200–1400*. Dumbarton Oaks 1985
- Anke Freund, Elfenbeinrestaurierung (unveröffentlichte Diplomarbeit). Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, Institut für Technologie der Malerei, Studiengang Restaurierung von archäologischen, ethnologischen und kunsthandwerklichen Objekten, Stuttgart 1999
- Victor Gafe, *Gewerbliche verwendete Tier- und Pflanzenstoffe, synthetische Produkte*. 2. Halbband des 5. Bandes von Gafes Handbuch der organischen Warenkunde mit Einschluß der mechanischen Technologie und technischen Warenprüfung. Stuttgart 1929
- Hans Werner Hegemann, *Das Elfenbein in Kunst und Kultur Europas. Ein Überblick von der Antike bis zur Gegenwart*. Mainz 1988
- Simon Hillson, *Teeth*. 2. Aufl. Cambridge 2005
- Helmut Jäger, *Technik und Werkstoff*. In: *Wiedergewonnen. Elfenbeinkunststücke aus Dresden*, Ausstellungskatalog Deutsches Elfenbeinmuseum Erbach. Erbach/Odw. 1995, S. 42–53
- Hiltrud Jehle, *Elfenbein – Überlegungen zum Material und zu seiner Verarbeitung*. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 9/1995, Heft 2, S. 337–347
- Hiltrud Jehle, *Elfenbein als Werkstoff*. In: *Meisterwerke aus Elfenbein der Staatlichen Museen zu Berlin*, Ausstellungskatalog Staatliche Museen zu Berlin und Herzog Anton Ulrich Museum Braunschweig, Berlin 1999, S. 14–19
- Peter Kertesz, *The principles of elephant tusk therapy*. In: *Proceedings of the fifth world veterinary dental congress*, Birmingham, UK, 1997, S. 195–198
- Hermann Kühn, *Erhaltung und Pflege von Kunstwerken. Material, Technik, Konservierung und Restaurierung*. 3. gründl. überarb. und erw. Auflage, München 2001
- Timothy R. Layser, Irven O. Busse, *Observations on morphological characteristics of elephant tusks*. In: *Mammalia*, Band 49, Heft 3, 1985
- Arthur MacGregor, *Bone, Antler, ivory and horn*. New Jersey 1985
- A. E. W. Miles (Hg.) *Structural and chemical organization of teeth*. Band 1. New York/London 1967
- F. R. S. Owen, *Ivory and teeth of commerce*. In: *Journal of the Society of Arts*, Band 5, Heft 213, 1865, S. 65–73
- Bernd Pappe, *Werkstoffe und Techniken der Miniaturmalerei auf Elfenbein*. In: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* 7/1993, Heft 2, S. 261–310
- E. J. Raubenheimer et al., *Histogenesis of the chequered pattern of ivory of the African elephant (Loxodonta africana)*. In: *Archives of Oral Biology*, Band 43, 1998, S. 969–985
- E. J. Raubenheimer, *Morphological aspects and composition of African elephant (Loxodonta africana) ivory*. In: *Koedoe*. Band 42, Heft 2, 1999, S. 57–64
- Hubert E. Schroeder, *Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks*. 3. überarb. und erw. Auflage. Stuttgart/New York 1987
- Gert-Horst Schumacher, *Anatomie für Zahnmediziner*. Lehrbuch und Atlas. 3. völlig überarb. und erw. Aufl., Heidelberg 1997
- Avinoam Shalem, *Die mittelalterlichen Olifanten*. Berlin 2014
- Archer St. Clair und Elizabeth Parker McLachlan, *The Carver's art. Medieval sculpture in ivory, bone, and horn*. Ausstellungskatalog The Jane Voorhees Zimmerli Art Museum, Rutgers, The State University of New Jersey, New Brunswick 1989
- G. Steenkamp et.al, *Estimating exposed pulp lengths of tusks in the African elephant*. In: *Journal of the South African Veterinary Association*, Band 79, Heft 1, 2008, S. 25–30
- Marjorie Trusted (Hg.), *The Making of Sculpture. The materials and techniques of European sculpture*. V&A Publications 2007
- Gerald E. Weissengruber, M. Egerbacher, G. Forstenprintner, *Structure and innervation of the tusk pulp in the African elephant (Loxodonta africana)*. In: *Journal of Anatomy* Band 206, Heft 4, S. 387–393

Abbildungsnachweis

- Abb. 2 und 8: Naja-Anissa Staats
 Abb. 7: Thomas B. Hildebrandt, Leibniz Institut für Zoo und Wildtierforschung, Berlin
 Abb. 9: Ville de Dieppe, Château-Musée, Bertrand Legros
 Abb. 10: Thomson Collection at the Art Gallery of Ontario
 Abb. 11: Robert Schupfner, Universität Regensburg
 Alle anderen Abbildungen: Hiltrud Jehle