Eine Untersuchung über die Auswirkungen von Tuberkulose auf Anlagerungsfrequenz und Beschaffenheit der Zementringe des menschlichen Zahnes[1]

Gabriela Caplazi

Zusammenfassung

Die Arbeit beinhaltet die Überprüfung der Frage, ob sich Tuberkulose in der Anlagerungsfrequenz oder in der Qualität der Zementringe bemerkbar macht, wobei eine Überprüfung des ersteren von sehr grossem Interesse für die historische Anthropologie ist. Wie allgemein bekannt, war Tuberkulose in der Bevölkerung früherer Zeiten eine häufige Krankheit. Daher wäre die Zementanalyse zur Altersbestimmung bei einer durch Tuberkulose verursachten Änderung der Anlagerungsfrequenz der Zementringe mit einem sehr grossen Fehlerrisiko behaftet. Ein Einfluss auf die Zementring-Anlagerungsfrequenz konnte im Vergleich mit der Kontrollgruppe ausgeschlossen werden. Die Dünnschnittpräparate zeigten auffällige Ringe einerseits innerhalb und andererseits im äussersten Bereich des Zahnzementes. Jene Art von Veränderungen wurde in der Literatur mit einer Verschiebung des Kalziumstoffwechsels begründet. Bei den helleren Ringen, die in der äusseren Zementschicht beobachtet wurden, könnte ein Zusammenhang mit der Tuberkulose bestehen, denn dieses Phänomen wurde bei der Tbc-Gruppe etwas häufiger und in stärkerer Ausprägung als in der Kontrollgruppe beobachtet. Am ausgeprägtesten wurden diese helleren Ringe im äusseren Bereich des Zementes bei einem Zahn eines Individuums mit Knochentuberkulose festgestellt. Bei den helleren Ringen innerhalb des Zahnzementes gab ein in dieser Arbeit untersuchter rezenter Zahn einen ziemlich eindeutigen Hinweis. Bei diesem Zahn konnte ein hellerer Zementring mit ziemlicher Sicherheit einer Schwangerschaft zugeordnet werden; Derartig gestaltete Ringe wurden auch bei den bodengelagerten Zähnen beobachtet, wobei eine Zuordnung nicht möglich war, weil die Lebensdaten nicht bekannt waren.

In Bezug auf das Geschlecht konnte ein Unterschied festgestellt werden. Frauen zeigten in Bezug auf die Korrelation und die lineare Regression gegenüber den Männern bessere
Werte. Nach Überprüfung mit dem Wilcoxon-Test stellte sich heraus, dass der Unterschied nicht signifikant war.

Aus der Literatur ist bekannt, dass mit zunehmendem Alter das mit der Zementanalyse gewonnene Alter zunehmend vom effektiven Alter abweicht. In der hier vorliegenden Studie konnte dies anhand der grösseren Streuung der Punkte in Bezug auf die lineare Regression beobachtet werden. Werden die Daten in prozentualen Abweichungen angegeben, konnte eine solche Tendenz nicht bestätigt werden.

Die Auswertung der Zahnschnitte wurde manuell und mit Hilfe eines Computerprogramms durchgeführt. Das zweitgenannte übersetzt die Hell-Dunkel-Kontrastierung in eine graphische Funktion, an welcher die Zählung der Peaks (Zuwachsringe) durchgeführt wurde. Das Ziel einer solchen Auswertung wäre, dass auch die Zählung der in eine graphische Funktion übersetzten Zuwachsringe durch den Computer durchgeführt würde. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht realisiert werden.

Das Spezielle des in dieser Studie verwendeten Materials besteht darin, dass sowohl die Todesursache wie auch das Todesalter der Individuen bekannt sind. Letzteres begünstigte die Überprüfung der Me-

[1] Diplomarbeit am Anthropologischen Institut der Universität Zürich unter der Leitung von Prof. Dr. Robert. D. Martin, März 2001.

thode in Bezug auf bodengelagerte Zähne, weil sich durch das bekannte Alter der Individuen ein relevanter Vergleich mit Daten von rezenten Zähnen durchführen liess. Dieser ergab eine ähnliche Fehlerabweichung in der Altersschätzung. Somit eignen sich auch bodengelagerte Zähne für diese Art der Altersbestimmung, was die Resultate von Grosskopf (1990) und Wright (1990) bestätigt. Die auf der obengenannten Besonderheit der Skelettsammlung basierende Arbeit bestätigte, dass die Methode allgemein sehr zuverlässig ist, und sie ermöglichte zudem die Überprüfung der Auswirkungen von Tuberkulose auf die Zementringbildung. Die Untersuchungen zeigten, dass sich keine Änderungen in der Anlagerungsfrequenz nachweisen liessen. Dadurch ergibt sich als grundlegende Aussage dieser Arbeit, dass die Altersbestimmung mittels Zahnzement auch bei Zähnen von Tuberkulosekranken anwendbar ist.

Einleitung

Seit den fünfziger Jahren wird die Zahnzementanalyse zur Altersbestimmung angewendet. Anfangs bei Tieren (Land- und Meeressäugetieren) und seit den achtziger Jahren auch beim Menschen, erstmals von Stott et al. (1982). Die Methode beruht darauf, dass jährlich angelagerte Zementringe (Zuwachsringe) im Zahnzement ausgezählt werden und zum Durchbruch des Zahnes, welcher den Beginn der Zementanlagerung darstellt, dazugerechnet werden. Dadurch ergibt sich das Sterbealter des betreffenden Individuums mit einer ungefähren Fehlerabweichung von 10 %. Die historische Anthropologie bedient sich ebenfalls dieser Art der Altersbestimmung, die für sie eine relativ neue Methode darstellt. Sie erlaubt, verglichen mit der herkömmlichen Methode, nämlich der Altersbestimmung anhand des Skelettes, eine genauere Altersschätzung. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei schlechtem Erhaltungsgrad des Skelettes häufig noch Zähne vorhanden sind, welche für eine Altersbestimmung brauchbar sind. Die Zementanalyse wird an Dünnschnitten der Zahnwurzel durchgeführt. Vorgängig muss der Zahn eingebettet und geschnitten werden. Diese Arbeitsgänge sind recht zeitintensiv (zwei bis drei Stunden pro Zahn), was gegenüber der herkömmlichen Altersbestimmungsmethode anhand des Skelettes einen gewissen Nachteil darstellt. Das Ziel dieser Arbeit beinhaltet in erster Linie die Erfassung der Auswirkungen von Tuberkulose auf die Zementringe des menschlichen Zahnes. Dies wird im folgenden genauer beschrieben.

Mögliche Ursachen der Zementringbildung im Zahn

Mit der Auswertung der Zementringe stellt sich natürlich auch die Frage nach deren Ursache, denn diese ist eine wichtige Bedingung für das Verständnis des gesamten Phänomens. Bevor ungeklärte Punkte aufgegriffen werden, sollen nun einige als gesichert geltende Faktoren erläutert werden. Die Zementringe beruhen auf unterschiedlich mineralisierten Strukturen, einer stärker mineralisierten dunklen Bande sowie einer weniger stark mineralisierten hellen Bande. Diese zwei unterschiedlich gestalteten Ringe werden alternierend abgelagert, vergleichbar mit den Jahresringen der Bäume. Anhand von Untersuchungen an Säugetieren konnte gezeigt werden, dass der dunkle, dünnere Ring im Winter und der helle, breitere Ring im Sommer gebildet wird (Geusa et al. 1999), wobei erwähnt werden muss, dass Autoren wie Grue und Jensen (1973) und Wada et al. (1978) die gegenteilige Erfahrung gemacht haben. Je eine dunkle und eine helle Bande entsprechen somit einem Jahr. Die Ursache der Ringbildung wird in den veränderten Lebensumständen gesehen, welche im Zusammenhang mit dem Wechsel der Jahreszeiten stehen (Grue 1976; Grue und Jensen 1979). Spezielle Ausprägungen der Ringe wurden mit der Nahrung, dem Reproduktionszyklus und mit Klimaveränderungen in Verbindung gebracht (Lieberman 1993). Der heutige Mensch steht unter viel geringerem

Einfluss von saisonalen Schwankungen als wildlebende Tiere. Trotzdem weist der Zahnzement Ringe auf, deren Anzahl mit dem Alter korreliert. Die Frage, warum diese unterschiedlich mineralisierten Strukturen entstehen, ist nach wie vor nicht beantwortet. Beim Menschen scheinen metabolische Faktoren bei der Anlagerung der Zementringe von Bedeutung zu sein (Geusa et al. 1999), unter anderem wird die Aktivität eines „Cementum-derived growth factor" diskutiert (Yonemura et al. 1993). Weitere Untersuchungen hinsichtlich der Altersbestimmung mittels Zahnzement beim Menschen sind durchgeführt worden, die wichtigsten Arbeiten und ihre Resultate werden im nächsten Abschnitt erläutert.

Untersuchungen zur Altersbestimmung mittels Zuwachsringen beim Menschen

Wie vorher erwähnt, hatte Stott et al. (1982) als erster beim Menschen die Altersbestimmung mittels Zuwachsringen angewendet. Er stellte eine relativ geringe Fehlerabweichung von 0.5 bis 2 Jahren fest. Eine erste Überprüfung der Methode wurde im grösseren Rahmen von Condon und Charles (1983) durchgeführt. Sie stellten eine höhere Fehlerabweichung fest. Condon et al. (1985) versuchten einige methodische Probleme, die sie in ihrer ersten Arbeit angetroffen hatten, zu lösen. In einem weiteren Artikel erwähnten Condon et al. (1986) die Ermittlung des Sterbealters mit Hilfe einer Regressionslinie. Naylor et al. (1985) beschäftigten sich mit Techniken zur Vorbereitung und Präparation der Zähne. Die Frage, ob die Zahnzementanalyse zur Altersbestimmung angewendet werden kann, und in welchen Fällen diese Methode zu Fehlergebnissen führt, wurde von Stein und Corcoran (1994) behandelt. Weiter untersuchten Kvaal und Solheim (1995) ob die Zuwachsringe jährlich angelagert werden. Alle oben genannten Autoren befürworten die Altersbestimmung mittels Zementringen.

Lipsinic et al. (1986) und Miller et al. (1988) hingegen konnten nur eine zu geringe Ringzahl feststellen. Miller verwendete im Gegensatz zu anderen Untersuchungen aber relativ dicke Zahnschnitte (350 µm), was einen Grund für das bedeutend schlechtere Resultat darstellen könnte. Das Material der oben beschriebenen Untersuchungen stammt einerseits von Leichen, andererseits wurden frisch extrahierte Zähne verwendet. Grosskopf (1989, 1990) arbeitete jedoch mit bodengelagerten und verbrannten Zähnen, auch Wright (1990) und Cipriano-Bechtle et al. (1996) untersuchten archäologisches Material. Kagerer (2000) beschäftigte sich mit der Auswirkung von Krankheiten auf die Zementringbildung und zeigte, dass sich während dem Zahndurchbruch ein speziell strukturierter Ring bildet. Generell kann gesagt werden, dass bis anhin keine Standardisierung in der Altersbestimmungsmethode mittels Zahnzement erreicht worden ist. So herrscht Uneinigkeit hinsichtlich der Vorbereitung der Zähne, der Dekalzifizierung und der Anfärbung. Charles et al. (1986) hatten die besten Resultate von demineralisierten und angefärbten Zahnpräparaten erhalten. Andere Autoren hingegen lehnen solche aufwendigen Verfahren ab, so z.B. Grosskopf (1990) und Kagerer (2000). Auch bezüglich der Frage, ob sich die Zementringe in horizontalen oder vertikalen Schnitten besser darstellen und auszählen lassen, herrschen geteilte Meinungen. In der mikroskopischen Auswertung der Präparate wurden bei gefärbten Zahnschnitten die Hellfeldmikroskopie (Charles et al. 1986; Condon et al. 1986; Lipsinic et al. 1986; Naylor et al. 1985) oder Fluoreszenzmikroskopie (Kvaal and Solheim 1995) angewendet. Naylor et al. (1985) verwendeten zudem die Interferenzmikroskopie und konnten im Vergleich mit der Hellfeldmikroskopie sogar etwas bessere Resultate verzeichnen. Bei ungefärbten Präparaten wurde die Phasenkontrastmikroskopie angewendet (Grosskopf 1990; Cipriano-Bechtle et al. 1996; Kagerer 2000). In einigen Punkten sind sich aber die meisten Autoren einig, nämlich, dass Prämolaren oder Canini für diese Art der Altersbestimmung am geeignetsten sind, dass zur ermittelten Ringzahl das

Durchbruchsalter des Zahnes dazugerechnet werden soll, dass die Auszählung der Zementringe im mittleren bis oberen Drittel der Wurzel am einfachsten ist, dass gesunde Zähne die besten Resultate liefern, und dass Zähne von Individuen, die jünger als 50 Jahre sind, eine genauere Altersschätzung erlauben. Condon et al. (1986) fanden einen Geschlechtsunterschied in der Altersschätzung. Zähne von Frauen lieferten ihren Ausführungen zufolge bessere Resultate. Andere Autoren wie Kvaal and Solheim (1995) und Kagerer (2000) konnten diesen Unterschied nicht bestätigen. Kagerer (2000) erhielt in seiner Arbeit sogar bessere Resultate von Männern. Ein weiterer Punkt wurde von Charles et al (1986) wie auch von Kvaal and Solheim (1995) erwähnt, nämlich, dass die Auszählung der Ringe durch verschiedene Personen zu unterschiedlichen Resultaten führte. Generell scheint das Auszählen der Ringe einen heiklen Punkt darzustellen.

Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Auswirkungen einer chronischen Krankheit, nämlich der Tuberkulose, auf die Ringbildung zu prüfen. In einer vorgängigen Studie von Kagerer (2000) sind die Auswirkungen von verschiedenen Krankheiten untersucht worden. Dabei zeigte sich, dass Ereignisse, die in den Kalziumstoffwechsel eingreifen (Schwangerschaften und Vorfälle, die das knöcherne Skelett betreffen), gut erkennbare Spuren im Zahnzement hinterlassen. Der eigentliche Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Erfassung der Anlagerungsfrequenz der Zementringe in den Zähnen von Tuberkuloseopfern. Dabei wird die Anlagerungsfrequenz der Zähne von Individuen, die an Tuberkulose gestorben sind, mit derjenigen von Individuen, die einem akuten Vorfall erlagen, verglichen. Kann kein Unterschied in der Anlagerungsfrequenz festgestellt werden, dann würde dies bedeuten, dass die Altersbestimmungsmethode mittels Zahnzement in Bezug auf Tuberkulosefälle anwendbar ist. Dies ist in Anbetracht dessen, dass in der früheren Bevölkerung ein Grossteil der Menschen an Tuberkulose erkrankte, für die Art der Altersbestimmung sehr wichtig, weil sonst die Methode vor allem in der historischen Anthropologie nur begrenzt einsetzbar wäre.

Wie im oberen Abschnitt erwähnt wurde, hatte Grosskopf (1990) als erste eine grössere Anzahl von bodengelagerten Zähnen ausgewertet. Sie konnte zeigen, dass Zähne unabhängig von der Liegedauer und dem Liegemilieu für eine Altersdiagnose verwendet werden können. Eine eigentliche Überprüfung der Methode in Bezug auf archäologisches Material konnte aber nicht durchgeführt werden, weil lediglich das morphologisch bestimmte Alter der Individuen bekannt war. Das Material dieser Arbeit beinhaltet bodengelagerte Zähne bekannten Alters. Daher kann eine genaue Überprüfung der Methode in Bezug auf bodengelagerte Zähne vorgenommen werden.

Weitere Ziele der Arbeit

Es wird der Versuch unternommen, die Zementringe nicht direkt, sondern erst nach Umsetzung in eine graphische Funktion auszuzählen. Diese Art des Auszählens wird mit der herkömmlichen Art verglichen und die Anwendungsmöglichkeit zur Erfassung der Beschaffenheit der Zementringe diskutiert.

Von Condon et al. (1986) und Kagerer (2000) wurde ein Unterschied in der Effizienz der Methode in Hinsicht auf das Geschlecht festgestellt; daher wird überprüft, wie weit sich ein Geschlechterunterschied in dieser Studie manifestiert.

Wie oben erwähnt, zeigen Zähne von älteren Individuen eine schlechtere Altersschätzung. Es wird untersucht, wie weit sich dies auch in dieser Studie zeigt.

Anatomie der menschlichen Zähne

Aufbau der Zähne

Sie besitzen Wurzeln, die im Kiefer verankert sind (thekodont).
Die einzelnen Zähne eines Gebisses sind unterschiedlich geformt (heterodont).
Es findet ein Zahnwechsel statt (diphydont).

Der Zahn besitzt eine Zahnkrone (Corona dentis) und eine Wurzel (Radix). Der Zahnhals (Cervix dentis) verbindet die Zahnkrone und die Wurzel. Im Zahninnern befindet sich die Pulpakammer (Cavitas dentis). Sie besteht aus Bindegewebe mit eingelagerten Nerven und Gefässen. An ihrer Oberfläche findet man Zahnbeinbildner (Odontoblasten). Die Zahnkrone wird vom Zahnschmelz (Enamelum), die Wurzel vom Zement (Cementum) überdeckt. Unter dem Schmelz-Zementmantel findet sich das Zahnbein (Dentinum).

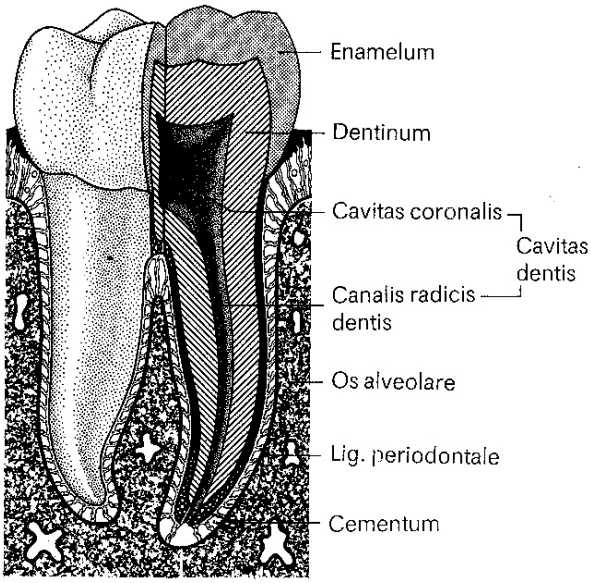


Abb. 1: Aufbau des Zahnes (Schumacher et al. 1990).

Zahnhalteapparat

Die an der Verankerung des Zahnes beteiligten Strukturen bilden das Periodontium.
Dieses besteht aus:

- dem Zahnzement (Cementum)
- dem Periodontalligament (Ligamentum periodontale)
- dem Alveolarknochen (Os alveolare)
- dem Zahnfleisch (Gingiva)

Aufbau des Gebisses

Das Gebiss eines Erwachsenen besitzt in der Regel 32 Zähne, das Milchgebiss 20 Zähne. Diese reihen sich im Ober- und Unterkiefer dicht aneinander und bilden die zwei Zahnbögen (Arcus dentales). Das Dauergebiss besteht aus verschiedenen Zahntypen: zwei Schneidezähnen (Dentes incisivi), einem Eckzahn (Dentes canini), aus zwei Vormahlzähnen (dentes premolares) und aus drei Mahlzähnen (Dentes molares) (Schumacher et al. 1990).

Wurzelzement

„Wurzelzement ist ein mineralisiertes, aber uneinheitliches Bindegewebe, das die äussere Oberfläche der Zahnwurzel bedeckt“ (Schroeder 2000). Es ist für die Befestigung des Zahnes in der Alveole verantwortlich und ist an adaptiven und reparativen Prozessen beteiligt. Eine strukturbiologische Ähnlichkeit zwischen gewissen Zementformen und dem Knochen ist erkennbar (Cate 1994). Das Zement lagert sich einer weiteren Hartsubstanz, dem Dentin, auf und ist im Gegensatz zum Knochen nicht vaskularisiert. Drei Zelltypen, aus dem Ektomesenchym entstanden, sind für die Entwicklung des Zementes verantwortlich:

- Die Zementoblasten: Es sind Zellen, die den Osteoblasten ähnlich sind. Sie gehören zu den Protein- und Polysaccharid synthetisierenden Zellen.

- Die Zementozyten: Aus Zementoblasten, welche im Laufe der Zementogenese eingeschlossen werden, entstehen Zementozyten. Die Aktivität der Zementozyten ist niedriger als die der Zementoblasten. Sie besitzen lange Fortsätze, die mit anderen Zementozyten in Kontakt stehen. Sie synthetisieren kollagene Fibrillen und Grundsubstanz und übernehmen resorptive Funktionen. Man findet sie ausschliesslich in bereits gebildeten Schichten des zellulären Eigenfaserzementes. In der Struktur und der Funktion sind sie den Osteozyten sehr ähnlich.

- Fibroblasten: Sie bilden den azellulären Fremdfaserzement, und man findet sie in unmittelbarer Nachbarschaft zur Wurzeloberfläche, assoziiert mit den senkrecht einstrahlenden Kollagenfasern (Schroeder 2000).

Es werden 4 Typen von Zement beschrieben, die sich in der Morphologie und der Funktion voneinander unterscheiden:

- Azellulär-afibrilläres Zement: Es enthält weder Zementozyten noch kollagene Fibrillen.

- Azelluläres Fremdfaserzement: Es wird von den Fibroblasten gebildet und besteht ausschliesslich aus dicht gepackten, von aussen einstrahlenden kollagenen Fibrillen (Sharpeyschen Fasern). Es besitzt ein gleichmässiges Strukturbild, das nur durch zur Zementoberfläche parallel verlaufenden Linien, den Wachstumslinien, unterbrochen wird.

- Zelluläres Eigenfaserzement: Es besteht aus gebündelten, parallel zur Wurzeloberfläche verlaufenden zementeigenen Fasern. Zellen, wie die Zementozyten, können in variablen Dichten darin enthalten sein. Es wird von Zementoblasten gebildet und ist auch an reparativen Prozessen beteiligt.

- Zelluläres Gemischtfaserzement: Es wird aus alternierend aufeinandergelagerten Schichten aufgebaut, die aus azellulärem Fremdfaser- und zellulärem Eigenfaserzement bestehen. Es sind von aussen einstrahlende wie auch zementeigene Fasern enthalten (Schroeder 2000).

Azelluläres Fremdfaserzement

- Entstehung: Azelluläres Fremdfaserzement bildet sich prä- und posteruptiv. Im Verlaufe der Wurzelbildung wird an der Oberfläche eine unverkalkte Dentinmatrix aufgebaut. Darauf entsteht zunächst ein kurzer Rasen aus kollagenen Fibrillen, welcher in koronaler Richtung an Dichte zunimmt. Dieser Rasen entspricht der Matrix des Fremdfaserzementes, die später verkalkt. Die Fibrillenbündel werden verlängert und am Ende des Zahndurchbruches mit gingivalen und desmodontalen Fasern verknüpft. Dieser ersten Schicht werden posteruptiv noch weitere Schichten aufgelagert, welche im späteren Verlauf verkalken und nachher aus dichtgepackten Bündeln kollagener Fibrillen und wenig Grundsubstanz bestehen. Bei der Mineralisation des azellulären Fremdfaserzementes werden Kristalle gebildet, die aus Hydroxylapatit

bestehen. Die Dickenzunahme ist das Produkt der Mineralisation der Wurzeloberfläche benachbarter desmodontaler Fasern. Der azelluläre Fremdfaserzement nimmt mit einer Geschwindigkeit von 0.01 bis 0.1 µm/ Tag an Dicke zu. Es wächst also sehr langsam.

- Lokalisation: Im zervikalen Drittel der Wurzeloberfläche kommt ausschliesslich azelluläres Fremdfaserzement vor. In der apikalen Region wird azelluläres Fremdfaserzement erst sekundär gebildet und dem zellulären Gemischtfaserzement aufgelagert.

- Funktion: Es verankert den Zahn in der Alveole.

- Struktur: Das azelluläre Fremdfaserzement zeigt eine faserige und geschichtete Struktur. Die Abgrenzung zum Dentin ist nicht genau bestimmbar, es zeigt sich jedoch in der Nähe der Dentin-Zement-Grenze eine auffällig helle Linie; diese wird mit dem Zahndurchbruch in Beziehung gebracht (Kagerer 2000). Die regelmässig verlaufenden Fibrillen und streng angeordneten Kristalle geben dieser Zementart ein monotones Aussehen. Einzig die parallel zur Oberfläche verlaufenden Linien (Anlagerungs- oder Wachstumslinien) unterbrechen diese gleichmässige Struktur. Dadurch, dass das Zement schubweise wächst, entstehen diese Wachstumslinien, die den Ruhephasen (Kay et al. 1984) zwischen zwei Zementbildungsperioden entsprechen und eine sehr dichte Struktur zeigen (Schroeder 2000). Sie erscheinen in der Phasenkontrastmikroskopie als schwarze, von breiteren helleren Banden umgebene Linien (Provenza and Seidel 1986). Einer äusseren, meist deutlich helleren Linie folgt gegen die Oberfläche hin noch eine organische Matrix, welche mehr oder weniger mineralisiert ist (Kagerer 2000).

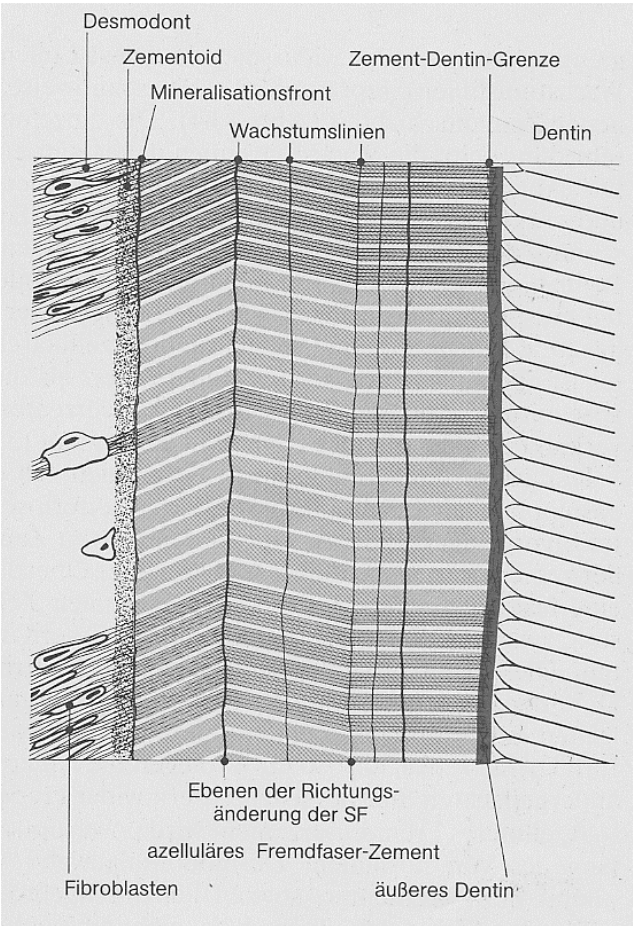


Abb. 2. Strukturschema des azellulären Fremdfaserzementes, mit den Zuwachsringen (Wachstumslinien) (Schroeder 2000).

Wie schon erwähnt, besteht eine strukturbiologische Ähnlichkeit zwischen Knochen und Zahnzement (Schroeder 2000). Daher sind Hormone, die den Knochenaufbau und –abbau regulieren, sicherlich auch an Prozessen im Zahnzement beteiligt.

Physiologie des Knochens

Die extrazelluläre Matrix des Knochens besteht aus Kollagenen und daran gebundenen Kalzium- und Phosphationen, die als Hydroxylapatit vorliegen. Die Physiologie dieser Matrix wird von Hormonen und Vitaminen, die den Kalziumstoffwechsel regulieren, beeinflusst. Der Organismus versucht eine Homöostase des Kalziumspiegels im Blut zu erhalten, weil Kalzium für Prozesse wie Blutgerinnung, Zellteilung, Regulation der Muskelkontraktion und Erhaltung des Membranpotential von grosser Bedeutung ist. Die Erhaltung dieses Gleichgewichts erfolgt mit Hilfe von Parathormon, Calcitonin und Vitamin D.

Parathormon (PTH)

Dieses Hormon wird in der Nebenschilddrüse gebildet und beim Absinken des Kalziumspiegels ausgeschüttet. Es bewirkt eine Demineralisation des Knochens und erhöht die Osteoklastentätigkeit. In der Niere erhöht das PTH die Rückresorption des Kalziums, zudem stimuliert es die Biosynthese von Vitamin D.

Calcitonin (CT)

Dieses Hormon wird in den C-Zellen der Schilddrüse gebildet und senkt den Kalziumspiegel im Blut. Es bewirkt eine Mineralisation des Knochens und fördert die Osteoblastenaktivität (Hadley 1992).

Vitamin D

Vitamin D3 (Cholecalciferol) bildet sich in der Haut von Tieren. Vitamin D2 (Ergocalciferol) unterscheidet sich nur wenig vom Vitamin D3, es entsteht durch UV- Strahlung aus dem pflanzlichen Ergosterin. D2 und D3 werden erst nach dem Umbau in der Leber und der Niere aktiv. Sie bewirken einen Anstieg der Kalziumkonzentration im Blut, indem sie die Aufnahme von Kalzium im Darm und die Freisetzung von Kalzium aus den Knochen fördern (Voet und Voet 1992).

Es gibt noch weitere Hormone, die auf die Mineralisation des Knochens wirken.

Cortisol

Dies ist ein Nebennierenrindenhormon, das unter anderem bei Stress ausgeschüttet wird. Es bewirkt zudem einen Verlust von Knochenmatrix und fördert die Demineralisation des Knochens (Norman and Litwack, 1997).

Auch Katecholamine (Adrenalin und Noradrenalin) nehmen Einfluss auf den Mineralisationsstoffwechsel. So wird z.B. in Stressituationen das vegetative Nervensystem in Richtung sympathischer Stoffwechsellage verschoben, was zu einer verminderten Mineralisation des Knochens und zu einer Mobilisation der Mineralien aus dem Knochen führt (Kagerer 2000).

Tuberkulose (Tbc)

Die Tuberkulose ist eine weltweit verbreitete Infektionskrankheit, deren Häufigkeit im Wesentlichen mit sozialen Faktoren im Zusammenhang steht.

- Erreger:
Der Erreger ist das *Mycobacterium tuberculosis*, in selteneren Fällen das *Mycobacterium bovis*.

- Infektion:
Die Übertragung der Tuberkulose erfolgt meistens durch Tröpfcheninfektion. Infektionsquelle ist vor allem der erkrankte Mensch, ein infiziertes Rind oder ein Haustier.

Pathogenese: Es können zwei Tbc-Formen unterschieden werden:

1. Primäre Tbc: Diese Form wird vorwiegend im Kindesalter beobachtet. Sie verläuft eher symptomarm.

2. Postprimäre Tbc: Es ist eine Streuung der Tuberkelbakterien im Organismus entweder aus einem Primärherd oder aus einem alten Herd zu beobachten. Frühform: Es sind Herde im ganzen Organismus zu finden. Ein schweres Krankheitsgefühl mit hohem Fieber ist vorhanden. Spätform: Sie zeigt eine Knochen- oder Gelenkstuberkulose, und weitere Organe wie die Niere können betroffen sein (Hildebrandt 1994).

Geschichte

Erste Veränderungen am Skelett, die eindeutig mit der Tuberkulose in Zusammenhang gebracht werden können, stammen aus dem Neolithikum. Tuberkulosefälle wurden danach immer wieder beobachtet und auch beschrieben, wie zum Beispiel von Autoren, welche Hippokrates zitierten. Im Mittelalter herrschten in England und auf dem europäischen Kontinent feudale Herrschaftsformen vor. Die Menschen der niederen Schichten betätigten sich hauptsächlich als Bauern und lebten in Familienverbänden, die wenig soziale Kontakte mit anderen Gruppen pflegten. Daher konnte sich die Tuberkulose nur begrenzt ausbreiten. Im 17. Jahrhundert konnte ein deutlicher Anstieg der Tuberkulosefälle beobachtet werden, der mit dem Übergang vom bäuerlichen zum städtischen Leben erklärt wird. Ein weiterer Grund wird in der vermehrten Milchproduktion für die oberen Schichten gesehen. In den Städten entstanden Kuhställe, in denen Tiere auf engstem Raum untergebracht wurden. Dadurch erhöhte sich die Ansteckungsgefahr für Infektionskrankheiten wie die Tuberkulose. Diese betraf sowohl die Rinder untereinander wie auch Mensch und Rind. Im frühen 19. Jahrhundert wurde die Tuberkulose zur häufigsten Todesursache (Aufderheide and Rodrigues-Martin 1998). In Basel registrierte man jährlich 432 Todesfälle pro 100‘000 Einwohner aufgrund von Tuberkulose (Burckhard 1908).

Die Forschung versuchte der Krankheit auf den Grund zu gehen. 1882 identifizierte Koch das *Mycobacterium tuberculosis*. Dadurch wurde der infektiöse Charakter der Tuberkulose erkannt, und die Behandlung und Prävention dementsprechend gestaltet. Um die Jahrhundertwende entstanden die ersten Sanatorien. Durch die Anwendung des Antibiotikums Streptomycin konnten die Tuberkulosefälle ab 1946 weiter reduziert werden (Aufderheide and Rodrigues-Martin 1998). Heute liegen die Tuberkuloseneuerkrankungen in den Entwicklungsländern bei 200 und in den westlichen Ländern bei 30 neuen Fällen pro Jahr und pro 100‘000

Einwohner (Hildebrandt 1994). Die Krankheit konnte sich vor allem im Zusammenhang mit Aids wieder vermehrt ausbreiten.

Material und Methoden

Material

Die Zähne dieser Studie stammen aus der Skelettsammlung des Naturhistorischen Museums Basel, welche freundlicherweise von der Universität Basel für wissenschaftliche Zwecke auch anderen Universitäten zur Verfügung gestellt wird. Die Individuen dieser Sammlung stammen aus dem Spitalfriedhof St. Johann. Sie alle waren im Bürgerspital von Basel gepflegt worden und starben auch dort; meist waren es sehr arme Leute. Deren Leichen hatten vorerst der Wissenschaft und der universitären Lehre zu dienen (Etter et al. 1993). Unter Professor Jung wurde jeder Todesfall in einem Sterberegister des Spitals eingetragen. Auf dem Gebiet des ehemaligen Spitalfriedhofs entstand später eine Gärtnerei, diese gestaltete man in den Jahren 1988/89 zu einem Park um. Daher wurden die menschlichen Gebeine gehoben und konnten dank dem Sterberegister in den meisten Fällen identifiziert werden (Etter et al. 1993). Aus den zudem vorhandenen Krankengeschichten können weitere Informationen bezogen werden. Für diese Arbeit war das Todesalter wie die Krankheit, an der die betreffenden Menschen gestorben sind, von Interesse.

Der hier präsentierten Untersuchung liegen insgesamt 49 Zähne von 14 Frauen und 35 Männern zugrunde. Die Geschlechterverteilung ist nicht ausgewogen, weil schon in der Ursprungssammlung der Anteil der Männer zweimal höher ist (Etter et al. 1993). Es wurden Prämolaren verwendet, weil diese weniger variable Durchbruchszeiten haben (Grosskopf 1990), vorwiegend Prämolaren des Unterkiefers, denn die des Oberkiefers sind zum Teil zweiwurzelig, was die Zählung in gewissen Bereichen komplizierter macht (Kagerer 2000). In dieser Serie wurden vier Individuen zwei Zähne, einem weiteren drei Zähne entnommen. Das Sterbealter der Individuen liegt zwischen 16 und 60 Jahren. 29 Zähne stammen von Individuen, die an Tuberkulose verstorben sind, 20 Zähne von solchen, die nicht an einer chronischen, auszehrenden Krankheit gestorben sind; diese bilden die Kontrollgruppe. In der Tabelle 1 sind die Todesursachen der einzelnen Individuen aufgeführt.

Zu erwähnen ist, dass zusätzlich noch ein rezenter Zahn untersucht und auf qualitative Veränderungen geprüft wurde. Diese konnten einem Ereignis (Schwangerschaft) zugeordnet werden, weil die Lebensdaten der Person bekannt waren.

Methode

In Bezug auf die Methodik hielt man sich zum grössten Teil an die Angaben der Gruppe von G. Grupe von der Universität München, weil Grupe und ihre Mitarbeiter über eine langjährige Erfahrung im Umgang mit dieser Altersbestimmungsmethode verfügen. Sie untersuchten sowohl rezente wie auch bodengelagerte Zähne.

Tab. 1. Angaben zu den untersuchten Zähnen.

Grab-Nummer	Zahntyp (Prämolar)	Todesursache	Sterbealter (effektives Alter in Jahren)	Geschlecht
8	P2 UK re	Tbc	25	männlich
9	P1 UK li	Tbc	30	männlich
11	P2 UK li	Tbc	21	männlich
14	P1 UK re	Tbc	38	männlich
17 1. Zahn	P2 UK li	Tbc	29	männlich
17 2. Zahn	P OK	Tbc	29	männlich
56	P1 UK li	Niederkunft	32	weiblich
83	P2 UK re	Tbc	42	männlich
90	P1 UK li	Tbc	57	männlich
91	P1 UK li	Tbc	19	männlich
94	P2 UK re	Tbc	38	männlich
97	P2 UK li	Tbc	21	weiblich
106	P2 UK li	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	28	männlich
181	P2 UK li	Tbc	22	männlich
211	P2 UK re	Tbc	21	männlich
239 1. Zahn	P	Tbc	43	weiblich
239 2. Zahn	P	Tbc	43	weiblich
251	P2 UK re	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	24	männlich
266	P2 UK li	Tbc	38	weiblich
269	P2 UK re	Tbc	22	männlich
285	P2 OK li	Beinfrass	39	männlich
311 1. Zahn	P1 UK li	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	28	männlich
311 2. Zahn	P2 OK li	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	28	männlich
317	P2 UK re	Herzentzündung	41	weiblich
349	P1 UK li	Tbc	45	männlich
421	P1 UK li	Brandwunde (Unfall)	50	männlich
426	P2 UK re	Tbc	57	männlich
432 1. Zahn	P2 UK li	Verletzung der Eingeweide	33	männlich
432 2. Zahn	P2 UK re	Verletzung der Eingeweide	33	männlich
432 3. Zahn	P1 OK li	Verletzung der Eingeweide	33	männlich
557 1. Zahn	P1 UK re	Herzleiden	48	weiblich
557 2. Zahn	P2 UK li	Herzleiden	48	weiblich
578	P2 UK re	Tbc	40	weiblich
767	P2 OK re	Rotlauf	53	männlich
841	P2 UK li	Tbc	37	männlich
1100	P1 OK re	Tbc	60	männlich
1203	P2 UK li	Tbc	48	männlich
1224	P2 UK li	Tbc	21	männlich
1300	P2 UK re	Tbc	45	männlich
1301	P1 OK li	Tbc	16	weiblich
1404	P OK	Tbc	44	weiblich
1412	P2 OK re	Skrophulose (Tbc)	22	weiblich
1639	P2 UK li	Herzvergrösserung	34	männlich
1650	P2 UK re	Tbc	37	männlich
1704	P2 UK re	Hirnerweichung	50	männlich
1720	P2 UK li	Herzfehler	27	weiblich
1739	P2 UK li	Luftröhrenerweiterung	31	männlich
1813	P1 UK re	Entzündung des Felsenbeins	28	männlich
1830	P	Gebärmutterentzündung	26	weiblich

Herstellung der Dünnschnittpräparate

Einbettung: Die nicht vorbehandelten Zähne wurden in Kunststoff (Biodur) eingebettet Dieses Material besteht aus der Grundsubstanz E12 und dem Härter E1. Die beiden Stoffe wurden im Verhältnis 100:28 gemischt. Die Zähne wurden einzeln in beschriftete Plastikbehälter von 5 cm Durchmesser und 2 cm Höhe gelegt und mit dem Biodurgemisch übergossen, bis sie vollständig bedeckt waren. Die Präparate wurden anschliessend zwei Tage bei -0.8 bar vakuiert. Dadurch konnten Luftblasen entfernt werden, und die Zähne wurden optimal vom Kunststoff umgeben. Die Proben wurden für 24 Stunden bei 50°C (Kagerer 2000) oder während fünf Tagen bei Zimmertemperatur ausgehärtet (Martelli 1999).

Schneiden: Schliesslich wurden die Präparate auf einen Sockel geklebt, damit sie sich in der Innenlochsäge (Leica SP 1600) einspannen liessen. Es wurden mindestens fünf 60-100µm dicke Horizontalschnitte im Bereich des oberen bis mittleren Drittels der Zahnwurzel angefertigt. Die Darstellung der Zuwachsringe im zervikalen Bereich der Wurzel ist zwar besser, jedoch ist die Fehlerquote, falls diese Bereiche nicht mehr desmodontal bedeckt sind, signifikant erhöht (Kagerer 2000). Nachdem die Schnitte getrocknet waren, wurden sie mittels Eukitt auf einem Objektträger fixiert und mit einem Deckglas abgedeckt. Die so entstandenen Dauerpräparate musste man noch einen Tag trocknen lassen.

Auswertung der Dünnschnittpräparate

Mikroskopieren

Zur Auswertung der Zahnschnitte wurde vor allem die Phasenkontrastmikroskopie angewendet (Zeiss Standardmikroskop). Diese Art der Mikroskopie ist für ungefärbte Präparate geeignet, denn durch die unterschiedlichen Brechungsindices der enthaltenen Strukturen werden Phasendifferenzen erzeugt, welche sich als Helligkeitsunterschiede erkennen lassen (Böck et al. 1989). Die Proben wurden anfangs bei einer 25fachen Vergrösserung (10er Objektiv) betrachtet, um die allgemeine Qualität der Zementschicht zu begutachten. Häufig waren schon bei dieser Vergrösserung Zementringe sichtbar, und es liess sich bereits erkennen, welche Stellen für die weitere Auswertung in Betracht gezogen werden konnten. Dabei wurden breitere Bereiche bevorzugt, weil die schmaleren Stellen häufig zuwenig Ringe aufweisen. Man sollte sich aber immer vergewissern, dass bei den breiteren Stelle keine Hyperzementosen vorliegen. Dabei handelt es sich um eine übermässige Produktion von Zahnzement, die einerseits lokal (hervorgerufen durch Entzündungen) oder anderseits generalisiert (hervorgerufen durch eine systemische Erkrankung) auftreten kann (Mjör and Fejerskov 1979). Nachdem eine geeignete Stelle gefunden worden war, wurde diese bei 100facher Vergrösserung (40er Objektiv) und normalem Durchlicht betrachtet. Häufig liessen sich die Zementringe aber bei leicht verschobenem Phasenkontrastring, also in einem Zwischenbereich, zwischen Phasenkontrast und Durchlicht, besser darstellen. Durch Fokussieren lassen sich bestimmte Ebenen des Präparates darstellen, in denen die Linienstruktur besonders klar definiert ist. Dabei kann es zu Beugungsfehlern kommen. Diese wirken sich jedoch für unsere Zwecke nicht negativ aus (Kagerer 2000). Von mindestens je einer Stelle der fünf Schnitte wurde bei möglichst optimalen Einstellungen des Mikroskops und der Kamera (Zeiss MC 63) sechs oder mehr Fotos gemacht, die dann entwickelt und ausgewertet wurden.

Zusätzlich wurde von jedem Zahn noch ein interferenzmikroskopisches Bild angefertigt (Olympus Bx 51). Wie in der Einleitung erwähnt, hatten auch schon Naylor et al. (1985) diese Art der Mikroskopie zur Auswertung ihrer Proben verwendet. Die Interferenzmikroskopie erzeugt durch unterschiedliche Dichten bzw. Dicken durchstrahlter Objekte seitliche Verschiebungen bildüberlagerter Interferenzstreifen, welche als Hell-Dunkel-Kontrast sichtbar ge-

macht werden können (Bogenrieder et al. 1985). Die Einstellungen wichen auch diesmal etwas von den Vorgaben ab, so wurde hauptsächlich ohne Kondensor gearbeitet. Die von einer Kamera (Olympus Camedia C-2000) aufgenommenen Bilder wurden im GJP-Format auf einen Chip geladen und in den Computer eingelesen. Sie wurden dekomprimiert und im TIF-Format abgespeichert. Die Auswertung der Bilder im TIF-Format erfolgte direkt am Macintosh.

Quantitative Auswertung der Zementringe

Auszählen

Die Zählung der dunkleren Ringe erfolgte einerseits an den Fotos, anderseits am Computer. Es wurden drei bis fünf gute Fotos pro Zahn ausgewählt, an denen zwei- bis dreimal pro Bild ausgezählt wurde. An den Interferenzbildern hatte man je drei Zählungen vorgenommen. Gesamthaft kam man auf 15 Zählungen; 12 Zählungen pro Zahn stammten von den normalen Fotos und drei Zählungen pro Zahn vom Interferenzbild. Die Zählung wird an der hellen Durchbruchslinie - und zwar am innersten Ring des markanten Linienbündels - angesetzt und erstreckt sich bis zum äussersten hellen Bereich (Abb. 3). Dem liegt noch eine Schicht aus organischer Matrix auf, diese Abschlussschicht wird je nach Mineralisationsgrad mitgezählt und je nachdem müssen diese biologischen Restmonate, analog den kalendarischen auf- bzw. abgerundet werden (Kagerer, 2000). In der vorliegenden Arbeit wurden diese Restmonate nicht mitgezählt, weil bei den Individuen meistens nur das Geburtsjahr vorhanden und somit das Todesalter nicht bis auf die Monate genau bekannt war.

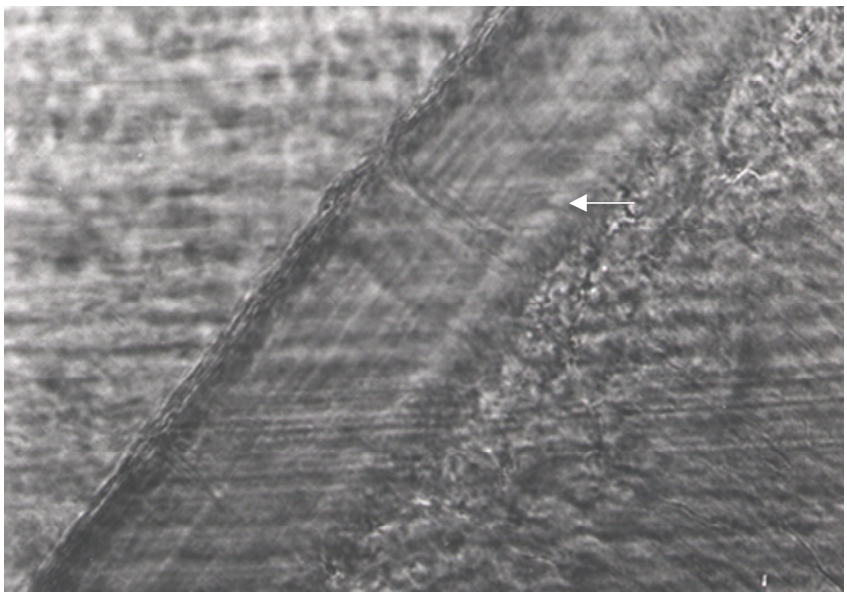


Abb. 3. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme. Der erste Zuwachsring der Durchbruchslinie ist mit einem Pfeil markiert.

Die Zementringe sind manchmal nicht durchgehend vom Ausgangspunkt bis zum Schluss auszählbar. Es ist in solchen Situationen hilfreich, versetzt auszuzählen (Abb. 4).

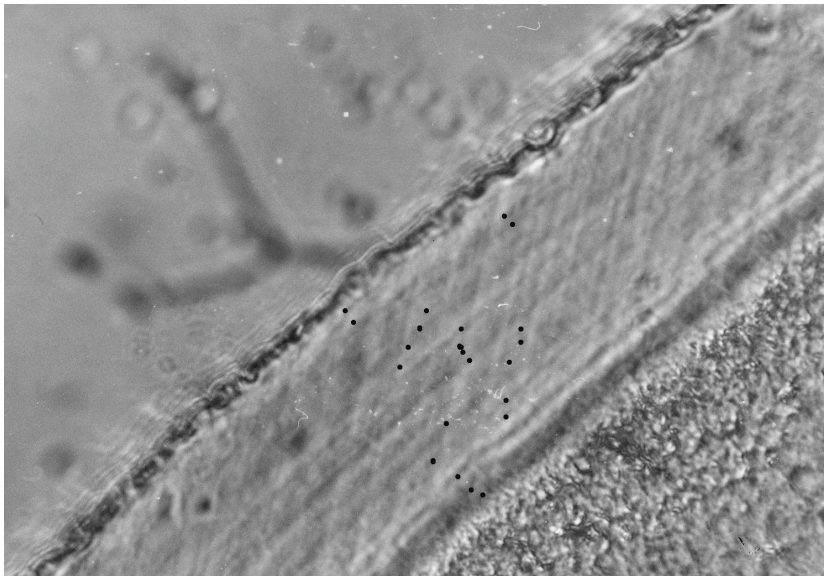


Abb. 4. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme. Die Punkte markieren die zu zählenden Zementringe.

An den Fotos wurden die Ringe beim Zählen mit einem Stift markiert, am Computer hatte man sich zur Orientierung den Mauszeiger zu Hilfe genommen. Zum Durchschnitt der 15 Zählungen wurde das geschlechtsspezifische Durchbruchsalter des jeweiligen Zahnes dazugerechnet (Tab. 2 und 3).

Geschlechtsspezifische Zahndurchbruchsalter

Abb. 6: Tabelle mit dem Ausschnitt aus der Chronologie des Zahndurchtrittes der bleibenden Zähne bei Mädchen (in Jahren) (Helm and Seidler 1974).

Maxilla	sehr früh	früh	Mittelwert	spät	sehr spät
1. Prämolar	7.54	8.82	10.1	11.38	12.66
2. Prämolar	8.16	8.58	11.0	14.42	13.84
Mandibula	sehr früh	früh	Mittelwert	spät	sehr spät
1. Prämolar	7.4	8.7	10.0	11.3	12.6
2. Prämolar	8.14	9.57	11.0	12.43	13.86

Abb. 7: Tabelle mit dem Ausschnitt aus der Chronologie des Zahndurchtrittes der bleibenden Zähne bei Knaben (in Jahren) (Helm and Seidler 1974).

Maxilla	sehr früh	früh	Mittelwert	spät	sehr spät
1. Prämolar	7.68	9.14	10.6	12.06	13.52
2. Prämolar	8.46	9.93	11.4	12.87	14.34
Mandibula	sehr früh	früh	Mittelwert	spät	sehr spät
1. Prämolar	7.74	9.22	10.7	12.18	13.66
2. Prämolar	8.62	10.06	11.5	12.94	14.38

Auswertung der Bilder anhand eines Plots

Es wurde versucht, die Auswertung der Bilder mit Hilfe des Computers vorzunehmen. Man hatte die Schwarz-Weiss-Kontrastierung der Zementringe mit Hilfe einer Funktion des Programms NIH in eine Graphik übersetzt und an dieser die Peaks, welche den schwarzen Linien (Zementringen) auf den Fotos entsprechen, ausgezählt.

Pro Foto werden an zwei Stellen, an denen die Wachstumslinien durchgehend vorhanden sind, Plots gelegt. Diese werden an der hellen Durchbruchslinie, und zwar am innersten Ring des markanten Linienbündels, angesetzt und bis zum äusseren hellen Bereich gezogen. Man erhält auf diese Weise zwei Plots, die miteinander verglichen werden können. Daher ist es sinnvoll, diese übereinander anzubringen, denn so kann der einzelne Peak eines Plots seinem Pendant auf dem anderen Plot zugeordnet werden. Man kennzeichnet diese Zuordnung, indem man einen Strich (Pfeil) vom einen zum anderen Peak zieht. Die so gewonnenen Verbindungsstriche (Pfeile) werden ausgezählt (1. Zählung). Die Wachstumslinien sind in der Zementschicht nicht immer gleich deutlich zu erkennen, dies ergibt dann auch die unterschiedlich geformten Peaks. Es kann vorkommen, dass eine Wachstumslinie kaum oder gar nicht mehr sichtbar und eine Zuordnung der Peaks nicht mehr eindeutig ist. Daher erfolgt auch noch eine Zählung der Peaks an den einzelnen Plots (2. und 3. Zählung). Diese Zählung besteht im Auszählen der Peaks, die zugeordnet werden konnten, sowie den verbliebenen Peaks, die sich nicht zuordnen liessen, jedoch nur aus denen, welche eine bestimmte Grösse nicht unterschreiten. In dem Falle werden nur die Peaks gezählt, deren Höhe grösser ist als 6 % der Distanz vom tiefsten bis zum höchsten Punkt des entsprechenden Plots. Diese Einschränkung ist wichtig, weil es sich bei solchen Peaks, die sich weder einem anderen zuordnen lassen noch eine bestimmte Grösse aufweisen, um Artefakte handeln kann. Aus den so erhaltenen drei Zählungen errechnet man den Mittelwert.

Legen eines Plots

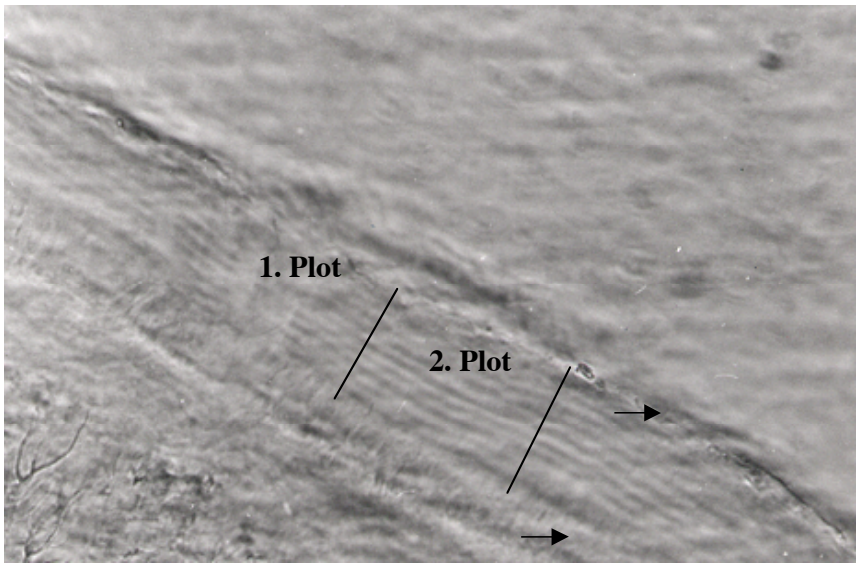


Abb. 4. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme: Pro Foto werden zwei Plots gelegt. Diese werden bei der Zahndurchbruchsstelle (unterer Pfeil) angesetzt und bis zum äusseren hellen Rand (oberer Pfeil) gezogen.

Auswerten eines Plots

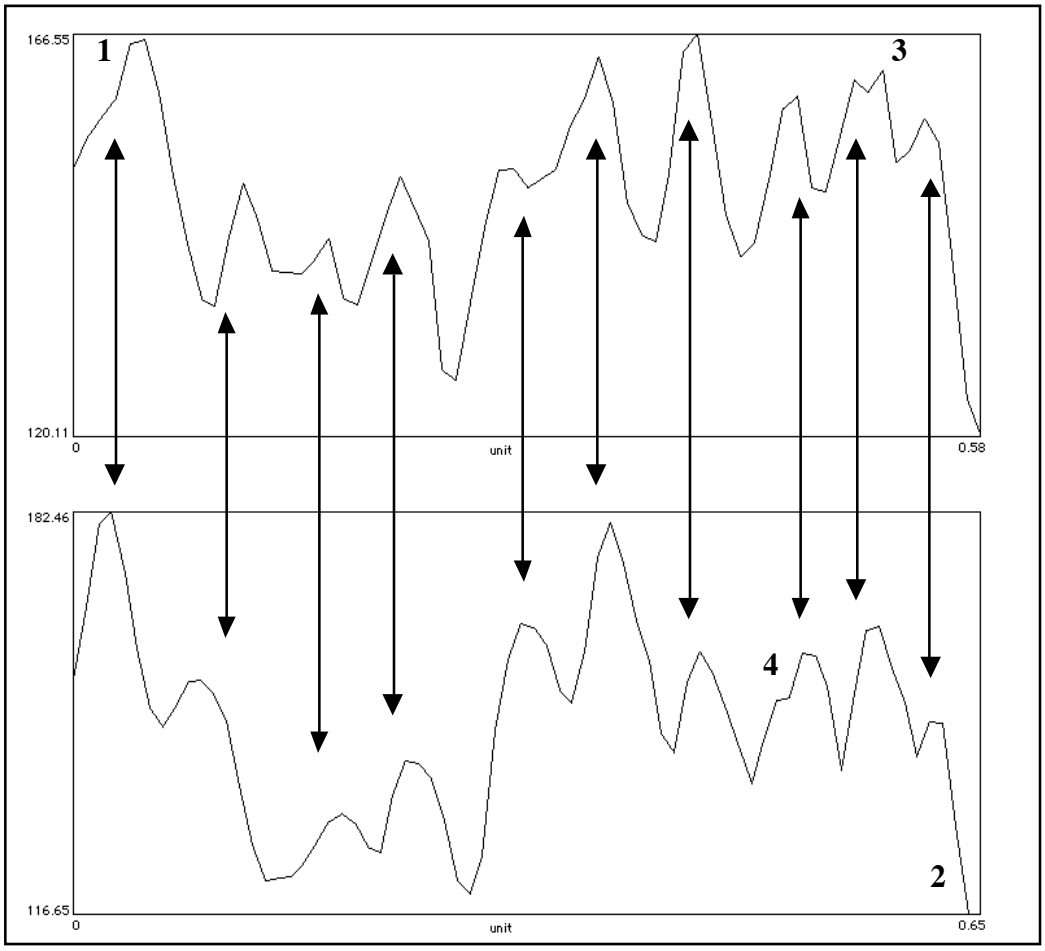


Abb. 5. Plot des Bildes von Abb. 4.
1 Höchster Punkt
2 Tiefster Punkt
3 Peak, dessen Höhe grösser ist als die 6 % der Distanz vom höchsten bis zum tiefsten Punkt.
4 Peak, dessen Höhe kleiner ist als die 6 % der Distanz vom höchsten bis zum tiefsten Punkt.

Zählung der Pfeile (zugeordnete Plots).	Resultat: 10
Zählung der Peaks am oberen Plot.	Resultat: 11
Zählung der Peaks am unteren Plot.	Resultat: 10

Abgerundeter Mittelwert: 10

Schleifen, Polieren und Einfärben der Schnittpräparate

Um die Zuwachslinien besser erfassen zu können, wurden die Schnittpräparate geschliffen und poliert. Dadurch sollten Schliffspuren eliminiert werden, und es konnte eine Toluidine- und Zementlinefärbung (Dickson 1984) vorgenommen werden. Diese Färbetechnik wurde

von Naylor et al (1985) als eine geeignete Methode für nicht dekalzifizierte Zähne beschrieben.

Qualitative Auswertung der Zementringe

Um mögliche Veränderungen im Zahnzement erfassen zu können, wurden die Bilder miteinander verglichen. Besonders genau wurde der äusseren Bereich, das heisst die zuletzt gebildeten Ringe, begutachtet. Die häufig in diesem Bereich beobachteten helleren Ringe wurden anhand einer Skala beurteilt (Null bis Drei). Die Wertung Null bezeichnet kein Auftreten, die Wertung Drei eine starke Ausprägung dieses Phänomens.

Die Auswertung der Daten

Im ersten Teil des Resultate-Kapitels werden die Daten der Kontroll- und der Tbc-Gruppe miteinander verglichen. Mehrere Autoren (Condon et al 1986; Lipsinic et al. 1986; Kvaal and Solheim 1995; Stein and Corcoran 1994) zeigten, dass die Auswertung der Zementringe bei Zähnen von Individuen mit zunehmendem Alter schlechtere Resultate liefern. Ein Unterschied in der Effizienz der Altersbestimmung mittels Zahnzement zwischen den Geschlechtern wurde von Condon et al (1986) erwähnt. Um eine zuverlässigere Aussage über einen Unterschied zu bekommen, werden hier Gruppen zusammengestellt, die in Hinsicht auf Alter und Geschlecht gleiche Voraussetzungen mit sich bringen. Die Unterschiede zwischen den Gruppen werden anhand des Wilcoxon-Tests (Siegel 1997) überprüft. Weiter wird besprochen, wie ein qualitativer Unterschied zwischen den zwei Gruppen überprüft wurde. Im zweiten Teil werden die Daten der beiden Geschlechter miteinander verglichen. Im dritten Teil wird aufgrund der schlechteren Altersbestimmung bei älteren Individuen die prozentuale Fehlerabweichung der Altersschätzung bei jüngeren Individuen mit dieser von älteren Individuen verglichen. Im vierten Teil wird die Effizienz der Ermittlung des Sterbealters mit Hilfe von Plots untersucht. Im letzten Teil der Auswertungen wird der gesamte Datensatz verwendet. Anhand der Korrelation, der linearen Regression und der prozentualen Abweichung wird die Effizienz der Methode in Bezug auf bodengelagerte Zähne überprüft.

Die Auswertung wird mit den statistischen Programmen SPSS und STATVIEW durchgeführt.

Resultate

Von den 49 geschnittenen Zähnen konnten 43 für die Auswertung verwendet werden. Die Resultate von zwei Zähnen, deren Schnitte versuchsweise poliert und eingefärbt wurden, hatte man konsequenterweise aus der statistischen Untersuchung ausgeschlossen. Von den verbliebenen 47 Zähnen zeigten unter dem Mikroskop Schnittpräparate von vier Zähnen starke Veränderungen, die ein Auszählen der Zementringe verunmöglichten. Somit konnten in dieser Untersuchung 9.3 % der Zähne aufgrund von zerstörter Zementschicht nicht für die Altersbestimmung verwendet werden. Das Durchschnittsalter der gesamten Gruppe liegt bei 34.5 Jahren.

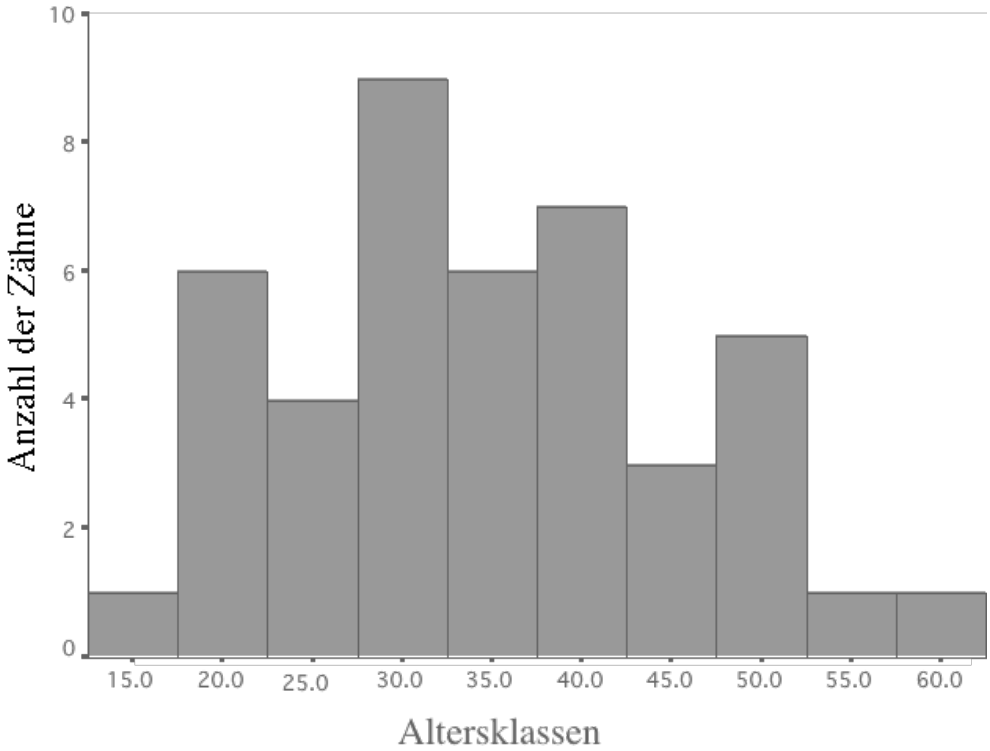


Abb. 6. Histogramm der effektiven Alter der 43 ausgewerteten Zähne.

Vergleich der Tbc- mit der Kontrollgruppe

Quantitativer Vergleich

Erst wurden die gesamten Daten der Tbc- und der Kontrollgruppe bezüglich der Korrelation und der linearen Regression miteinander verglichen. Die Kontrollgruppe zeigt etwas bessere Werte als die Tbc-Gruppe. In der Tbc-Gruppe fällt ein Ausreisser auf (Abb. 12). Es handelt sich dabei um den Zahn eines 60jährigen Individuums (Gr. 1100). Nach der Eliminierung dieses Ausreissers steigt die Korrelation auf 0.87 und die Steigung auf 0.7. Diese Werte liegen nun näher beim Optimum als die Werte der Kontrollgruppe. Wenn man die Altersverteilung der zwei Gruppen miteinander vergleicht, sieht man, dass diese stark divergiert. Auch bezüglich der Geschlechterverteilung ist ein Unterschied vorhanden. Aufgrund dieser Tatsachen wurde versucht, möglichst identische Gruppen in Bezug auf Alter und Geschlecht zusammenzustellen. Die Untersuchung beinhaltete in dem Fall noch sieben Zähne pro Gruppe.

In dem Fall zeigt die Tbc-Gruppe eine höhere Korrelation. In Bezug auf die lineare Regression ist nur ein geringer Unterschied erkennbar (Abb. 7). Ob statistisch gesehen ein Unterschied zwischen den zwei Gruppen vorhanden ist, wird mit dem Wilcoxon-Test überprüft. Vorerst wird die Altersverteilung (effektiven Alter) der beiden zusammengestellten Gruppen verglichen, ein Unterschied konnte nicht festgestellt werden (Wilcoxon, $p = 0.3$). Ein Vergleich der histologisch ermittelten Alter innerhalb der Altersklassen zeigte, dass sich diese statistisch gesehen nicht unterscheiden ($p = 0.38$). Auch wenn die Über- und Unterschätzungen der realen Alter in den einzelnen Altersklassen getestet wurden, konnte kein relevanter Unterschied festgestellt werden ($p = 0.44$).

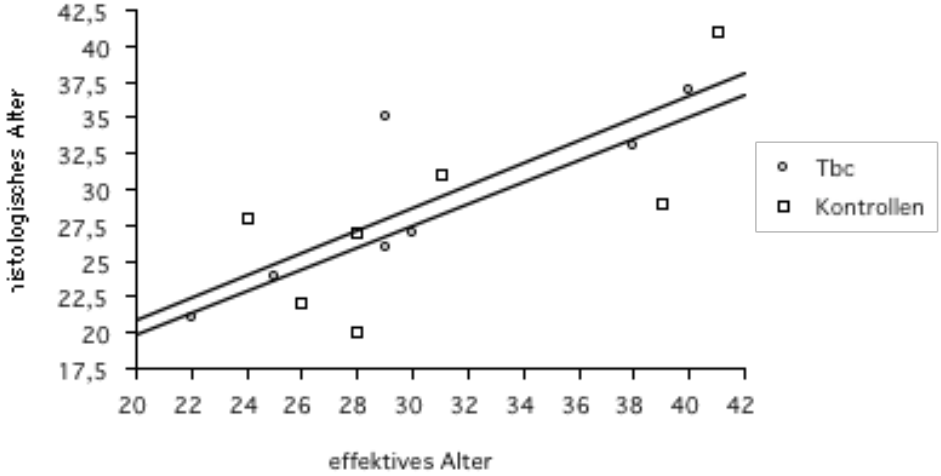


Abb. 7. Regressionslinie der Daten der Tbc- und der Kontrollgruppe. Die obere Regressionslinie steht für die Tbc-Gruppe, die untere für die Kontrollgruppe.

Qualitativer Vergleich

Es wurde versucht, einen qualitativen Unterschied zwischen den Zuwachsringen der beiden Gruppen festzustellen. Mehrere mikroskopische Aufnahmen der Tbc-Gruppe wurden mit denen der Kontrollgruppe verglichen. Dabei versuchte man, die Breite, die Farbintensität und die Regelmässigkeit der Zuwachsringe zu erfassen. Die Tatsache, dass die Zementringe eines Zahnes schon innerhalb eines Schnittpräparates und innerhalb verschiedener Schnittpräparate sehr variabel sind, erschwerte eine objektive Aussage.

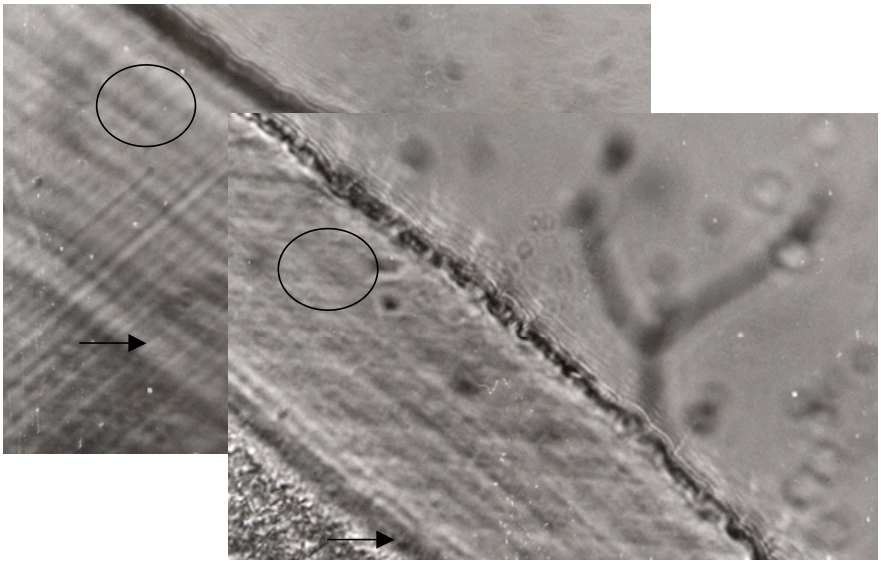


Abb. 8. Diese zeigt phasenkontrastmikroskopische Aufnahmen zweier Schnitte eines Zahnes. Die weissen Bereiche des einen Bildes erscheinen im anderen Bild schwarz, dies ist mit der nicht ganz identischen Phasenringverschiebung zu erklären. Die Pfeile unten markieren sehr ähnlich aussehende Strukturen. Die durch Ringe markierten Stellen zeigen deutlich unterschiedliche Zementringe.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die äusserste Schicht, das heisst auf die zuletzt angelagerten Ringe, geworfen. Veränderungen in Bezug auf Tuberkulose würde man am ehesten in diesem Bereich erwarten: Häufig wurden hellere Zementringe beobachtet. Das Ausmass dieses Phänomens wurde anhand einer Skala (Null bis Drei) beurteilt. Im Gesamten wurden derartige Veränderungen sowohl bei der Kontrollgruppe wie auch in der Tbc-Gruppe beobachtet, wobei dies in der letzteren doch häufiger und auch in ausgeprägterer Form zu verzeichnen war.

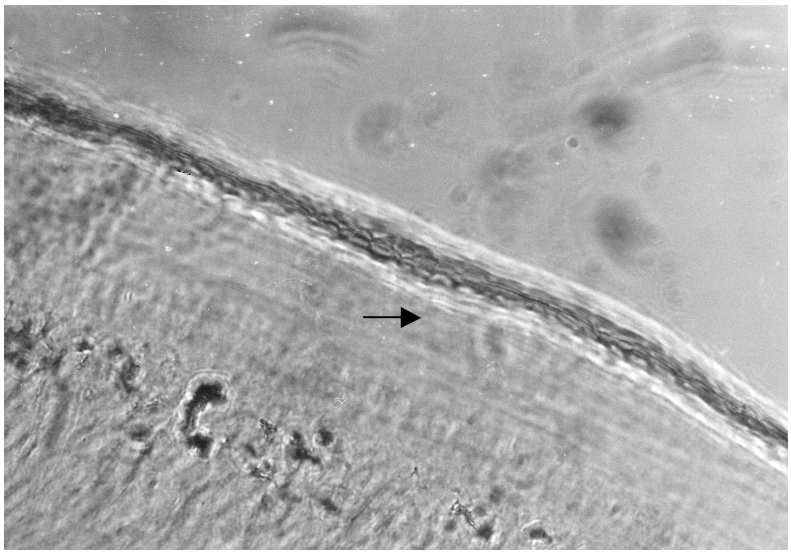


Abb. 9. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme, der Pfeil markiert die hellen Ringe.

Auswertung von geschliffenen, polierten und eingefärbten Schnittpräparaten

Wie erwähnt, wurden die Schnittpräparate geschliffen, poliert und angefärbt. Dieses Procedere war relativ zeitaufwendig, und die Darstellung und Auswertung der Zementringe war nicht besser durchführbar, als wenn man die Schnitte unbehandelt unter dem Lichtmikroskop betrachtete.

Vergleich von Männern und Frauen

Es wurde je die gesamten Daten der Frauen- und Männergruppe bezüglich der Korrelation und der linearen Regression miteinander verglichen. Die weiblichen Zähne zeigten bessere Werte, dies wurde auch schon Condon et al. (1986) festgestellt. Um mehr Klarheit zu schaffen, wurden in Bezug auf das Alter zwei möglichst identische Gruppen zusammengestellt. Die Zusammensetzung hinsichtlich der Tbc Fälle ist in den zwei zu vergleichenden Gruppen nicht ganz identisch; dies ist im Anbetracht der Ergebnisse des quantitativen Vergleichs zu vernachlässigen. Ein Unterschied zwischen den zwei Gruppen war wiederum erkennbar, er war zwar weniger deutlich, als wenn der gesamte Datensatz der beiden Gruppen verwendet wurde.

Der Unterschied wurde mit dem Wilcoxon-Test überprüft. Die Altersverteilung (effektiven Alter) der beiden zusammengestellten Gruppen wurde verglichen, ein Unterschied konnte diesbezüglich nicht festgestellt werden ($p = 0.41$). Ein Vergleich der histologisch ermittelten Alter innerhalb der Altersklassen zeigte, dass sich diese statistisch gesehen nicht unterschei-

den (p = 0.35). Auch wenn die Über- und Unterschätzungen der realen Alter in den einzelnen Altersklassen getestet wurden, konnte kein relevanter Unterschied festgestellt werden (p = 0.37).

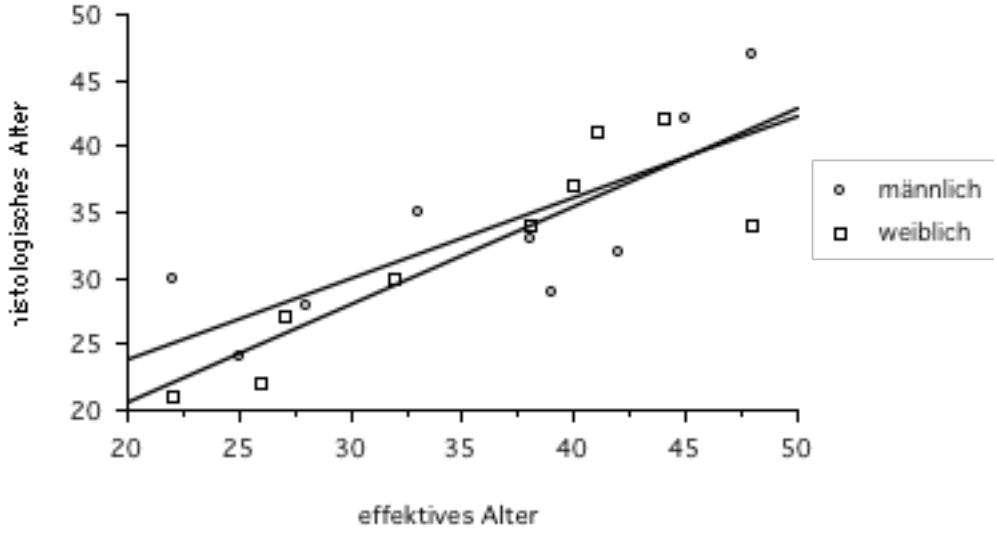


Abb. 10. Regressionslinien der Daten der männlichen und weiblichen Gruppen, die Regressionslinie mit der grösseren Steigung und dem kleineren y-Abschnitt steht für die weiblichen Individuen, die andere für die männlichen.

Altersbestimmung mittels Zementringen bei älteren Individuen

In der Literatur wird erwähnt, dass Zähne von älteren Individuen eine schlechtere Altersschätzung aufweisen. Die Fehlerabweichung des histologischen Alters wurde in dieser Arbeit unter anderem in Prozenten angegeben, dies soll auch im Vergleich der Effizienz der Methode bezüglich des Alters durchgeführt werden. Die prozentuale Fehlerabweichung einer Gruppe, bestehend aus Zähnen von jüngeren Individuen (16-25 Jahre) wird mit einer Gruppe, bestehend aus Zähnen von älteren Individuen (45-53 Jahre) verglichen. Die Gruppen enthalten je sieben Individuen (fünf Männer, zwei Frauen). Die ermittelte Fehlerabweichung der jüngeren Gruppe beträgt 10.9 %, die der älteren Gruppe 8.8 %.

Überprüfung der Auszählung anhand von Plots

Die mittels der Plots gewonnenen Auszählungen wurden mit den direkt am Bild erzielten Auszählungen der Zuwachsringe verglichen. Pro Bild wurden drei Zählungen anhand von zwei Plots sowie drei manuelle Zählungen der Zuwachsringe durchgeführt. Gesamthaft wurden 56 Bilder ausgewertet. Jede der drei Zählungen wurde gemittelt, und der Betrag der Abweichung vom realen Alter ausgerechnet. Die Gesamtabweichung der beiden Auszählungsarten wurde getrennt berechnet und als Prozentzahl der Summe der effektiven Alter angegeben.

Ein Vergleich der beiden Zählmethoden zeigt, dass die prozentuale Abweichung bei der Auszählung der Zuwachsringe direkt am Foto etwas tiefer liegt und dass beim Auszählen anhand der Plots tendenziell häufiger zu tiefe Zählwerte erhalten werden.

Tab. 4. Übersicht über die Fehlerabweichungen

Auszählungsart	Summe der effektiven Alter	Summe der Beträge der Abweichungen	Prozentuale Abweichung	Prozentuale Unterschätzung der effektiven Alter.
Auszählung anhand von Plots	942 Jahre	116 Jahre	12.3 %	7.7 %
Auszählung der Zuwachsringe direkt am Foto	942 Jahre	101 Jahre	10.7 %	7.3 %

Vergleich der anhand der Plots gewonnenen Zählungen zweier Personen

Die Auszählung der Peaks anhand der Plots führten zwei Personen unabhängig voneinander durch. Die Zählung wurde an zehn Plotpaaren durchgeführt.

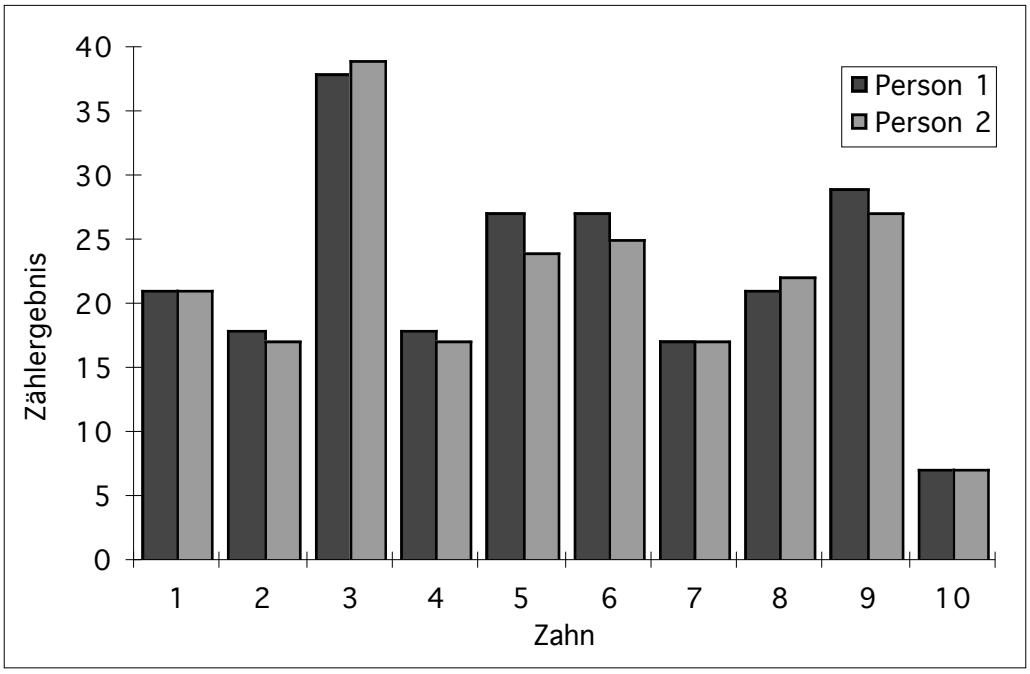


Abb. 11. Zählergebnisse der zwei Personen.

Es zeigt sich, dass die Person 2 häufiger tiefere Zählergebnisse erhalten hatte. Ein relevanter Unterschied der Resultate der beiden Personen konnte nach Überprüfung mit dem Wilcoxon-Test nicht verzeichnet werden ($p = 0.08$).

Übersicht über die gesamten Daten

Nachdem die Auswertungen im oberen Teil keine Unterschiede zwischen den Gruppen ergaben, konnte der gesamte Datensatz ausgewertet und mit anderen Arbeiten verglichen werden.

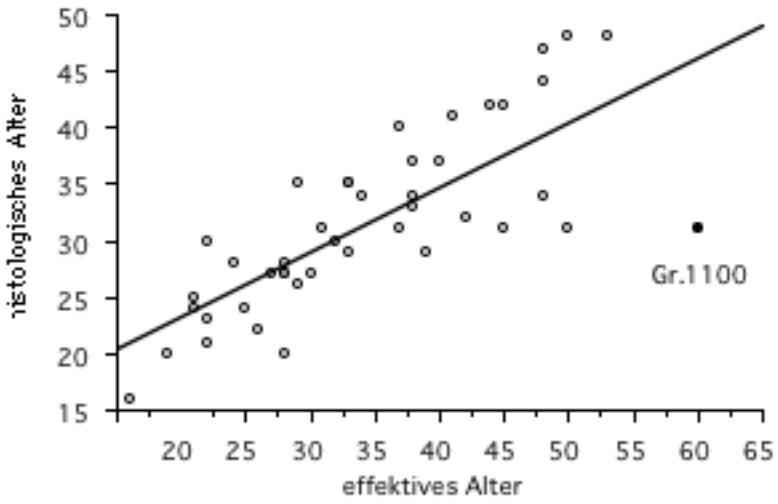


Abb. 12:. Regressionslinie der Daten der gesamten Gruppe.

Der Korrelationskoeffizient zwischen dem effektiven und dem histologisch ermittelten Alter betrug 0.75, der Steigungswert der reduzierten Hauptachse betrug 0.75. Dieser errechnet sich aus dem Steigungswert der Regressionslinie, dividiert durch den Korrelationswert. Nachdem der markante Ausreisser (Abweichung vom effektiven Alter beträgt 29 Jahre) entfernt worden war, stieg der Korrelationswert auf 0.84 und der Wert für die Steigung der reduzierten Hauptachse auf 0.81. Diese Werte sind mit anderen Arbeiten vergleichbar. Condon et al. (1986) erhielten eine Korrelation von 0.78 und Kvaal and Solheim (1995) eine Korrelation von 0.84. Der Steigungswert der reduzierten Hauptachse betrug in der Arbeit von Condon et al. (1986) 0.75.

Autoren wie Grosskopf (1990) und Kagerer (2000) haben die Effizienz der Methode anhand der prozentualen Abweichung beurteilt. Weil in dieser Arbeit nach den gleichen methodischen Arbeitsweisen vorgegangen worden ist, scheint ein Vergleich mit diesen zwei Arbeiten sehr sinnvoll. Daher wurden die prozentualen Abweichungen der ermittelten Alter zu den effektiven Altern ausgerechnet. Die prozentuale Abweichung ist, verglichen mit der absoluten Abweichung von grösserer Aussagekraft, denn die absolute Abweichung muss immer im Zusammenhang mit dem effektiven Alter gesehen werden.

Die prozentuale Abweichung des histologisch ermittelten Alters zum effektiven Alter beträgt 13.1 %, nach der Eliminierung des markantesten Ausreissers noch 11.6 %. Dieser Wert ist mit anderen Arbeiten vergleichbar. Grosskopf (1990) erhielt eine Abweichung von 9.3 %, Kagerer (2000) eine Abweichung von 9.8%.

Elimination von Ausreissern

In den Arbeiten von Condon et al. (1986), Grosskopf (1990) und Kagerer (2000) wurden Zähne mit auffälligen Abweichungen von der Auswertung ausgeschlossen. Zu tiefe Ergebnisse konnten zum Teil auf periodontale Erkrankungen zurückgeführt werden, bei zu hohen Resultaten konnte in gewissen Fällen ein Doubling nachgewiesen werden. In der vorliegenden Arbeit ist kein gesicherter Fall von Parodontopathie vorhanden. Jedoch liefern im Fall der

Gräber 557 und 311 die ersten Zähne (557.1 und 311.1) im Gegensatz zu den zweiten massiv schlechtere Resultate. Bei diesen Zähnen könnte die Anlagerung der Zuwachsringe durch eine Krankheit im Zahnhalteapparat gestört worden sein. Die makroskopische Betrachtung der Zähne zeigte im Fall von Zahn 557.1 leichte Auflagerungen im Wurzelbereich, im Fall von 311.1 keine Auffälligkeiten. Beim Zahn des Grabes 269 zeigte sich ein mögliches Doubling. Das ermittelte histologische Alter betrug 30 Jahre, das effektive Alter 22 Jahre. Nach der Rückrechnung (durchschnittlich ermittelte Ringzahl dividiert durch zwei, plus das Durchbruchsalter) ergab sich ein Wert von 21 Jahren, welcher praktisch mit dem effektiven Alter übereinstimmt. Die obengenannten Zähne wurden daher aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

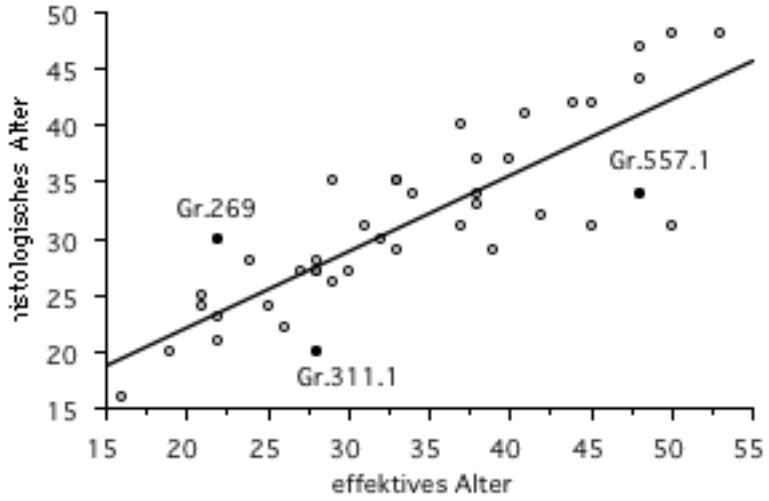


Abb. 13. Regressionslinie der Daten der gesamten Gruppe (ohne Gr. 1100), die ausgefüllten Punkte bezeichnen die im Text beschriebenen Zähne, welche aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden.

Nachdem die obengenannten Zähne zusätzlich zum Zahn des Grabes 1100 aus der Untersuchung ausschieden, ergab sich ein Korrelationswert von 0.87 und eine Steigung der reduzierten Hauptachse von 0.82.

Diskussion

Die Altersbestimmung mittels Zuwachsringen wird schon über 40 Jahre angewendet, trotzdem ist die Frage, warum sich im Verlauf eines Jahres zwei unterschiedlich mineralisierte Strukturen bilden, noch ungeklärt. Wie in der Einleitung erwähnt, wird die Ringbildung von einigen Autoren (Grue 1976; Grue and Jensen 1979) mit dem Klima in Zusammenhang gebracht. Aber nicht nur dieser eine Faktor kann für die Unterschiede in der Mineralisation des Zementes verantwortlich sein, denn auch Zähne von Haustieren zeigen dieses Phänomen, wenn auch in weniger starker Ausprägung (Grue and Jensen 1976) Weiter können laut Lieberman (1993) die Ernährung und laut Yoneda (1982) die Fortpflanzung bei der Ausbildung der Ringe eine Rolle spielen. Weil die Zementringe auch bei relativ konstanten exogenen Ein-

flüssen gebildet werden (bei Haustieren und beim heutigen Menschen), scheint eine endogene Regulierung der Zuwachsringbildung sehr wahrscheinlich zu sein (Mitchell, 1967; Kolb, 1978; Grosskopf 1990. Generell handelt es sich bei der Ausbildung der Zementringe am ehesten um ein multifaktorielles Geschehen (Grue and Jensen 1979; Kagerer 2000) bei dem ein zircaannualer Rhythmus der Ringbildung in einem engen Zusammenhang mit dem endokrinen System steht (Alt und Türp 1997). In der Abb. 14 sind die möglichen Ursachen der Zementringbildung und die Einflüsse, welche sich auf die Beschaffenheit der Ringe auswirken können, aufgeführt. Ein besonderes Augenmerk soll auf den unter den exogenen Einflüssen aufgelisteten möglichen Einfluss einer Krankheit gerichtet werden.

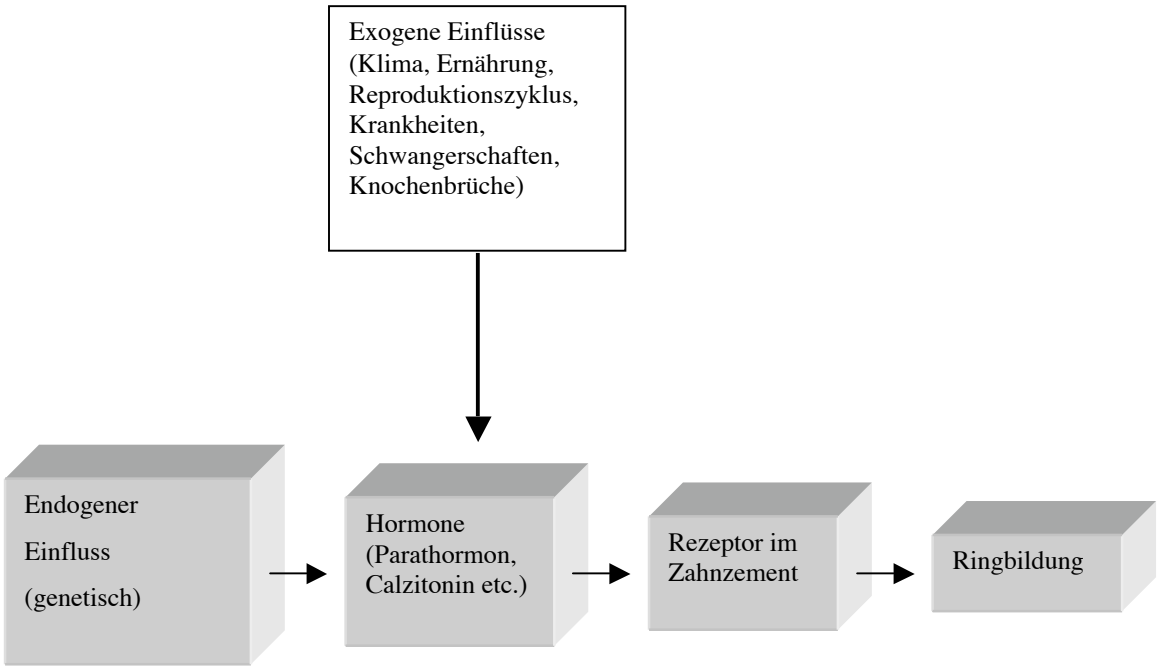


Abb. 14. Zusammenstellung der möglichen Faktoren, welche bei der jährlichen Anlagerung der Zementringe eine Rolle spielen.

Mögliche Auswirkungen der Tuberkulose auf die Zementringe

Wie im oberen Teil beschrieben, spielen Hormone bei der Ausbildung der Zuwachsringe eine grosse Rolle (Anlagerung des Zahnzementes). Eine Krankheit versetzt den Körper in eine Stresssituation, welche mehr oder weniger starken Einfluss auf den Hormonhaushalt nehmen kann. Stress bewirkt unter anderem eine Erhöhung des Cortisolspiegels im Blut und fördert die Katecholaminausschüttung. Cortisol führt zu einem Verlust von Knochenmatrix und fördert die Demineralisation des Knochens (Norman and Litwack 1997). Knochen und Zahnzement sind ähnliche Gewebe (Schroeder 2000), und daher könnte sich eine Verschiebung des Cortisolspiegels auch im Zahnzement bemerkbar machen. Durch die Ausschüttung von Katecholaminen wird das Mineraldepot reduziert und die Mobilisation der Mineralien erhöht. Ein solches Geschehen lässt sich nach Cipriano-Bechtle (noch in Bearbeitung) im Zahnzement eindeutig nachweisen (Kagerer 2000).

Kagerer (2000) zeigte in seiner Arbeit, dass Vorfälle, die in den Kalziumstoffwechsel eingreifen (Schwangerschaften, Heilung von Knochenbrüchen etc.), erfassbare Spuren qualitativer Art im Zahnzement hinterlassen. In quantitativer Hinsicht konnte er nur geringe Abweichungen vom erwarteten Wert feststellen. Im Fall von Tuberkulose wäre somit eher eine Auswirkung auf die Beschaffenheit der Ringe als auf die Frequenz der Ringbildung zu erwarten. Die Zähne, welche von Individuen stammen, die an Tuberkulose gestorben sind, sollten Veränderungen vor allem in den äusseren, zuletzt angelagerten Zementringen zeigen, weil die Endphase der Krankheit mit grosser Wahrscheinlichkeit die grösste Belastung für den Körper darstellte. Die Zuwachsringe könnten sich in Helligkeit, Dicke oder Homogenität von den weiter innen liegenden und von denen der gesamten Zahnzementschicht der Kontrollgruppe unterscheiden. Generell wurden bei mehreren Zähnen heller ausgebildete Zementringe beobachtet, wobei sich dieses Phänomen sowohl in der Kontroll- wie auch in der Tbc-Gruppe manifestierte. In der Tbc-Gruppe wurde es etwas häufiger und auch in stärkerer Ausprägung beobachtet. In der Kontrollgruppe konnte man bei den Zähnen von Gr. 317, 251, 557, 767, 1639, 1739, 1830 derartig gestaltete Ringe beobachten. Für diese gibt es keine Erklärungen, weil es sich bei den Todesursachen (Tab. 1) kaum um Ereignisse handelt, die direkten Einfluss auf den Kalziumstoffwechsel nehmen. Ob es sich bei diesen helleren Strukturen effektiv um weniger stark mineralisierte Strukturen handelt, oder ob es eher ein optisches Phänomen (Artefakte) darstellt, ist nicht ganz einfach zu beurteilen. Zu bemerken ist, dass sich diese helleren Ringe nicht auf allen Fotos bzw. Schnitten eines Zahnes nachweisen liessen. Diese Beobachtung machte auch schon Kagerer (2000).

Würde sich die Tuberkulose auf das Skelett ausweiten, wäre eine Auswirkung auf die Zementringe eher denkbar, als wenn sich die Tuberkulose nur auf sonstige Organe beschränkt. So hat Kagerer (2000) weder bei Schilddrüsenerkrankungen, Diabetes, Lebererkrankungen noch bei Mangelernährung qualitative Veränderungen der Zementringe festgestellt; auch Osteoporose zeigt nur qualitative Veränderungen bei Vorfällen, die Reparaturprozesse im Knochen nötig machten. Da die Krankengeschichten der Individuen der Sammlung von St. Johann zum grössten Teil noch nicht bearbeitet sind, können auch keine Daten über eine mögliche Knochentuberkulose erfasst werden. Folglich müssen Beobachtungen am Skelett diese Frage beantworten. Im Fall von Grab 14 fand sich diesbezüglich ein Hinweis bei Etter et al. (1993). Bei Grab 1412 sind starke Veränderungen am Skelett diagnostiziert worden, ob diese auf Tuberkulose zurückzuführen sind, konnte laut Lörcher (1996) nicht mit Sicherheit bestätigt werden. Jedenfalls liessen sich im Fall von Grab 14 auf mehreren Fotos (Phasenkontrast- und Interferenzbilder), zum Teil in ausgeprägter Form, helle Zementringe im äussersten Bereich des Zementes feststellen, im Fall von Grab 1412 konnten derartige Veränderungen im Zahnzement in etwas subtilerer Form beobachtet werden. Die Begründung für das Zustandekommen solcher eventuell mindermineralisierten Strukturen könnte sicherlich mit der Verschiebung des Kalziumhaushaltes, verursacht durch Knochentuberkulose, erklärt werden. Die Frage, ob es sich in den Fällen von Grab 14 und 1412 und bei den anderen Zähnen der Tbc-Gruppe, bei welchen dieses Phänomen aufgetreten ist, um das Resultat einer Knochentuberkulose handelt, bleibt offen. Weitere Untersuchungen wären zur Klärung dieser Fragen erforderlich.

Auswirkungen der Tuberkulose auf die Anlagerungsfrequenz der Zementringe

Die entscheidende Frage dieser Arbeit ist, ob die Anzahl der Zuwachsringe bei Zähnen von Tuberkulosekranken mehr vom erwarteten Wert abweicht als bei Zähnen der Kontrollgruppe.

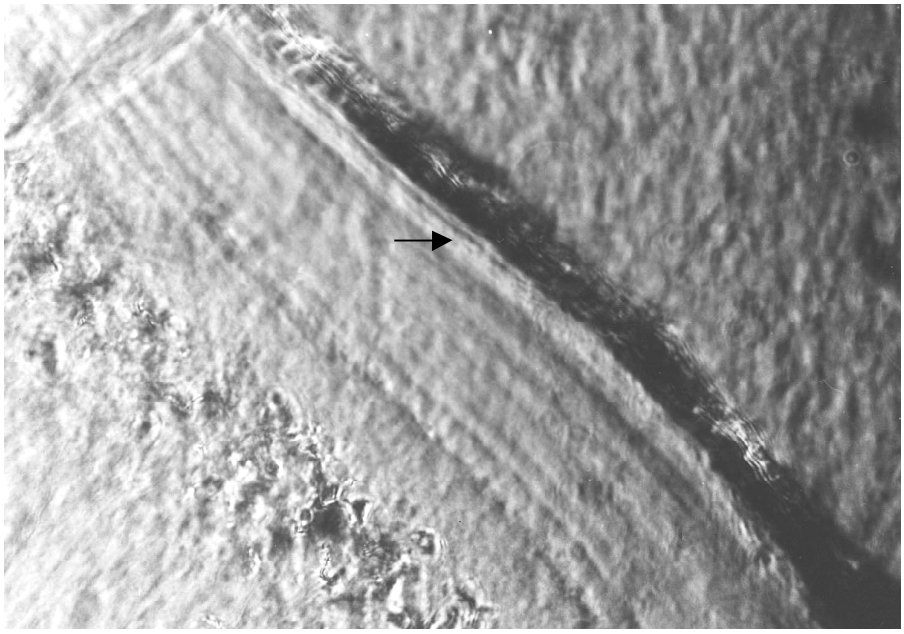


Abb. 15. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme, der Pfeil markiert die heller ausgebildeten Zementringe.

Im Abschnitt über den quantitativen Vergleich. wurde die Korrelation und Regression des effektiven Alters zum histologischen Alter der Tbc- und Kontrollgruppe ermittelt. Die Werte der zwei Gruppen wurden verglichen. Wenn je der gesamte Datensatz der zwei Gruppen verglichen wurde, zeigte die Tbc-Gruppe leicht schlechtere Werte als die Kontrollgruppe. Wenn man Gruppen zusammenstellte, die in Bezug auf die Geschlechter- und Altersverteilung praktisch identisch waren, zeigte die Tuberkulosegruppe bessere Werte als die Kontrollgruppe. Ob die Unterschiede signifikant sind, wurde mit dem Wilcoxon-Test geprüft. Dieser wurde mit den zwei zusammengestellten, oben erwähnten, Gruppen durchgeführt. Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Differenz der histologisch ermittelten Alter zu den effektiven Altern zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden, weder in den Altersklassen noch in Bezug auf die effektiven Abweichungen.

Die Bestätigung, dass eine Krankheit wie die Tuberkulose keinen Einfluss auf die Anlagerungsfrequenz der Zuwachsringe nimmt, ist für die Art der Altersbestimmung sehr wichtig. Ansonsten wäre die Methode vor allem in der historischen Anthropologie nur begrenzt einsetzbar, weil doch ein Grossteil der früheren Bevölkerung an Tuberkulose erkrankte. Im Zusammenhang mit dem oben beschriebenen Resultat scheint die Möglichkeit, dass andere Krankheiten Einfluss auf die Anlagerungsfrequenz nehmen könnten, eher unwahrscheinlich, zumal auch Kagerer (2000) zeigte, dass Schilddrüsenerkrankungen, Diabetes, Lebererkrankungen, Mangelernährung, Osteoporose und Schwangerschaften keinen erfassbaren Einfluss auf die Quantität der Zuwachsringe nehmen. Die Zementringanlagerung scheint einen sehr konstanten Vorgang darzustellen, der quantitativ kaum exogenen Einflüssen unterworfen ist.

Qualitative Veränderungen innerhalb des Zahnzementes

Im Gegensatz zu den obengenannten helleren Ringen im äusseren Bereich des Zementes, wurden derartige Veränderungen auch innerhalb des Zementes festgestellt. Diese wurden - unabhängig ob in der Tbc- oder Kontrollgruppe - bei mehreren Zahnschnitten beobachtet. Weil derartige Auffälligkeiten bei mehreren Schnitten eines Zahnes festgestellt werden

konnten, handelt es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht um eine zufällige Abnormität eines Zementringes. Bei diesen Ringen könnte eine verminderte Kalzifikation vorliegen, die mit einer Schwangerschaft, einem Knochenbruch usw. im Zusammenhang stehen könnte. An den Dünnschnitten des einen rezenten Zahnes wurde eine derartige Auffälligkeit entdeckt; diese konnte mit grosser Wahrscheinlichkeit auf eine bekannte Schwangerschaft im 29. Lebensjahr zurückgeführt werden. Der markante Ring konnte ca. an 15. Stelle beobachtet werden (Abb. 16); wird zu dieser Zahl das Durchbruchsalter des betreffenden Zahnes (10.5 Jahre) dazugerechnet, kommt man auf 26 Jahre mit einer Fehlerabweichung von ca. 10%. Die auffälligen Ringe auf den Zahnschnitten der bodengelagerten Zähne hängen wohl auch mit bestimmten Vorfällen zusammen. Diese konnten aufgrund der Tatsache, dass die Krankengeschichten noch nicht bearbeitet worden waren, keinen eindeutigen Ereignissen zugeordnet werden. Jedenfalls wurde beobachtet, dass derartige Veränderungen bei Frauen häufiger, nämlich bei 36 % der weiblichen Individuen, bei den männlichen hingegen nur bei 17 % auftraten.

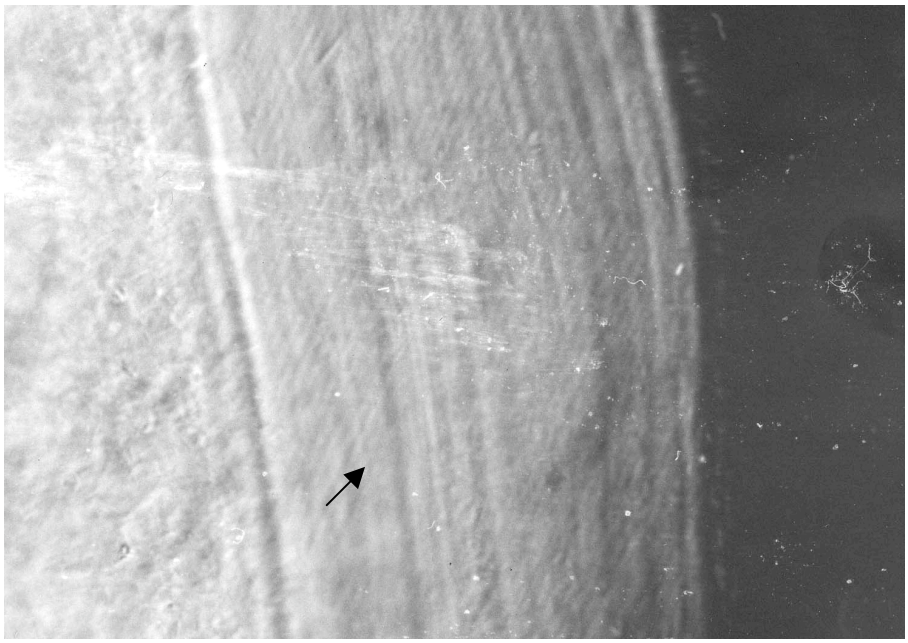


Abb. 16. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme, der Pfeil markiert den speziell ausgebildeten Zementring. Dieser erscheint auf der Aufnahme dunkel, was mit dem Verschieben des Phasenringes zusammenhängt.

Unterschiede zwischen Frauen und Männern

In dieser Arbeit konnte ein Unterschied in der Altersschätzung zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. In den zwei zusammengestellten Gruppen, die sich statistisch in ihrer Altersverteilung nicht unterschieden, verzeichneten die Frauen in Bezug auf Korrelation und lineare Regression bessere Werte als die Männer. Dieser Unterschied konnte aber mit dem Wilcoxon-Test nicht bestätigt werden. Dass bei Zähnen von Frauen die Altersschätzung bessere Resultate lieferte, wurde schon von Condon et al. (1986) erwähnt. Auch Kagerer (2000) konnte in seiner Untersuchung einen Unterschied zwischen den Geschlechtern feststellen, in seiner Arbeit zeigten hingegen Zähne von Männern die besseren Resultate. In der Studie von Kvaal and Solheim (1995) konnte ein Unterschied zwischen den Geschlechtern nicht bestätigt werden. Kagerer (2000) erklärte die besseren Werte der Männer damit, dass in seiner Studie

bei Frauen eher die Tendenz vorhanden war, Zähne länger zu erhalten, sie also erst bei einem schlechteren Zustand extrahieren zu lassen. Bei solchen Zähnen ist die Wahrscheinlichkeit grösser, dass die Zementschicht durch Periodontalkrankheiten beeinträchtigt wurde. Condon et al. (1986) gaben keine Begründung an, warum in ihrer Studie Zähne von Frauen die besseren Resultate lieferten. Auch in der hier vorliegenden Studie ergaben Zähne von Frauen tendenziell die bessere Altersschätzung. Dabei könnte es sich aber auch um ein zufälliges Phänomen handeln, vor allem weil sich nach Überprüfung mit dem Wilcoxon-Test herausstellte, dass der Unterschied nicht signifikant ist. Um die Frage, ob und warum ein Unterschied in der Altersschätzung zwischen den Geschlechtern besteht, eindeutig zu klären, müssten sicherlich weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Altersbestimmung mittels Zahnzement bei älteren Individuen

Dass Zähne von Individuen mit zunehmendem Alter eine schlechtere Altersschätzung aufweisen, wurde von mehreren Autoren (Condon *et al.*, 1986; Lipsinic *et al.*, 1986; Kvaal and Solheim, 1995; Stein and Corcoran, 1994) erwähnt. Auch in dieser Studie zeigten Zähne älterer Individuen grössere Abweichungen (in Jahren) als jüngere; dies ist unter anderem an der grösseren Streuung der Punkte in höherem Lebensalter zu erkennen (siehe Abb. 22).

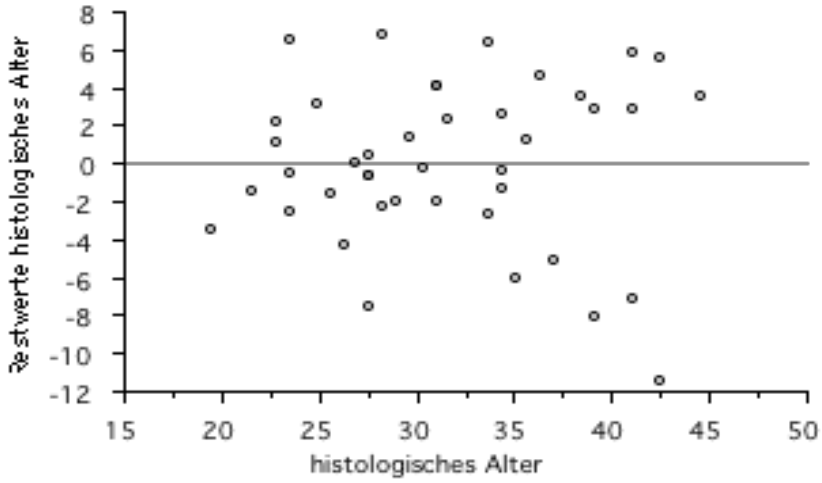


Abb. 17. Restwerte (Abweichungen der histologisch ermittelten Alter in Bezug zur Regressionslinie) der gesamten Daten (ohne Gr. 1100).

Werden die Abweichungen aber in Bezug auf das Alter gesehen, das heisst als prozentuale Abweichung zum Alter angegeben, zeigen jüngere Individuen (16-25 Jahre) höhere Abweichungen als ältere (45-53 Jahre). In dieser Untersuchung wurden keine Zähne von Individuen über 60 Jahren untersucht, dies wäre aber erforderlich, um die Frage, ob ältere Individuen eine schlechtere Altersschätzung aufweisen, definitiv zu beantworten. Ein Grund, warum Zähne von älteren Individuen schlechtere Resultate liefern, kann mit dem Zustand der Zähne zusammenhängen. Zähne älterer Individuen sind sicherlich mehr von Periodontalkrankheiten betroffen, und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Grossteil der Zementschicht in Mitleidenschaft gezogen wurde, ist relativ gross. Ein weiterer Grund können die mit zunehmendem Alter näher beisammenliegenden Zementringe sein, denn dies erschwert die Erkennung der

einzelnen Ringe mit der Folge, dass man zu tiefe Zählergebnisse erhält. Möglicherweise könnte sich die Anlagerungsfrequenz der Zementringe mit zunehmendem Alter verlangsamen (Condon et al. 1986). Weitere Untersuchungen, die zur Klärung dieser Fragen beitragen würden, wären für diese Art der Altersbestimmung sicherlich von Nutzen.

Methodische Punkte

Schleifen und Polieren der Zahnschnitte

Wie beschrieben, erbrachten die geschliffenen und polierten Zahnschnitte keine besseren Resultate als die unbehandelten. Diese Aussage beruht zwar nur auf dem Vergleich der Zählergebnisse eines Zahnes, von dem unbehandelte und behandelte Zahnschnitte angefertigt wurden. Aber auch Grosskopf (1990) und Kagerer (2000) erwähnen in ihren Arbeiten, dass solch aufwendige Verfahren keine bessere Altersbestimmung erlauben. Im Gegenteil, Kagerer (2000) schreibt, dass die Zementringerkennung dadurch eher erschwert wird (Abb. 18/19).

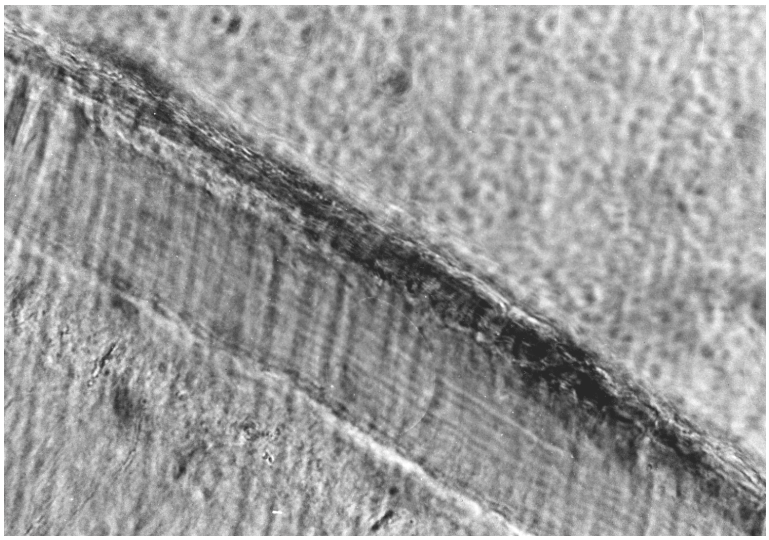


Abb. 18. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme: unpoliert

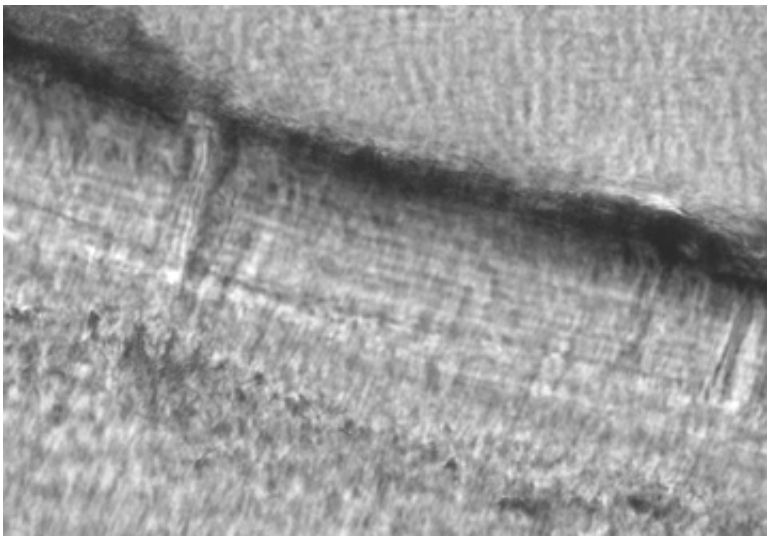


Abb. 19. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme: poliert

Färben

Wenn Zahnschnitte eingefärbt werden sollen, müssen diese vorgängig geschliffen und poliert werden, damit die Farbe nicht in den Rillen anhaftet. Nach Einfärbung des Zementes konnten zwar einige Zementringe dargestellt werden, doch traten diese nur verschwommen und ungleich stark angefärbt in Erscheinung. Daher wurden keine weiteren Versuche in diese Richtung unternommen, unter anderem auch, weil Grosskopf (1990) und Kagerer (2000) von solch zeitintensivem Prozedere abraten.

Mikroskopische Techniken

In der hier vorgelegten Studie wurde vor allem mit dem Durchlichtmikroskop bei leicht verschobenem Phasenkontrastring gearbeitet. Diese Art der Mikroskopie verwendeten sowohl Grosskopf (1990), Cipriano-Bechtle et al (1996) wie auch Kagerer (2000). Sie alle arbeiteten auch mit ungefärbten Präparaten. Zudem wurde noch je ein Bild eines Zahnes ausgewertet, bei welchem die Interferenzmikroskopie angewendet wurde. Der untenstehende Vergleich zeigt, dass sich die Zementringe mit dieser Art der Mikroskopie auch sehr gut darstellen lassen. Der Vergleich der beiden Bilder lässt den Verdacht aufkommen, dass sich die Ringe mit der Interferenzmikroskopie präziser darstellen lassen. Im Allgemeinen kann aber nicht gesagt werden, welche Mikroskopieart zu bevorzugen ist, denn dies muss von Fall zu Fall neu entschieden werden.

Vergleich Phasenkontrast- und Interferenzbild

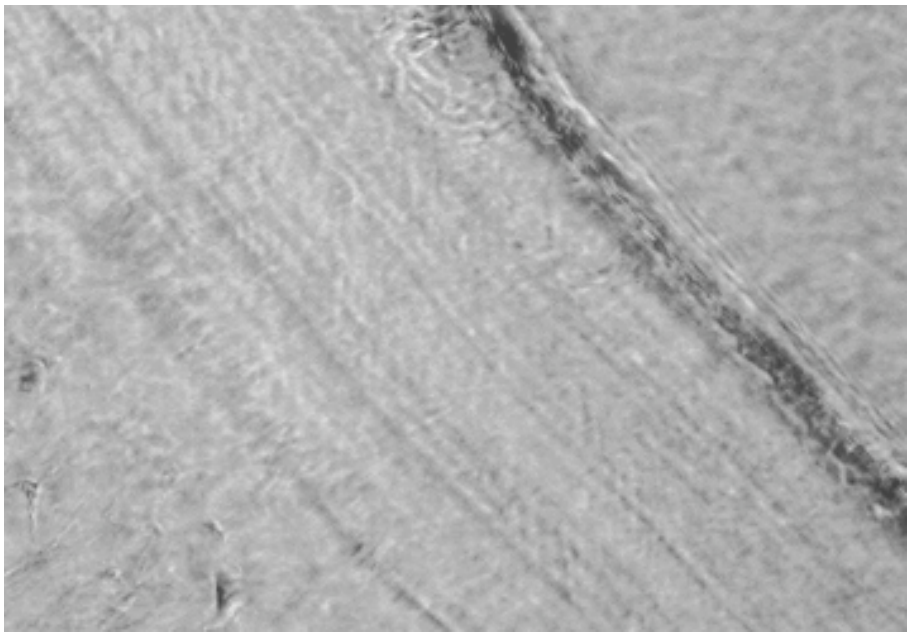


Abb. 20. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme

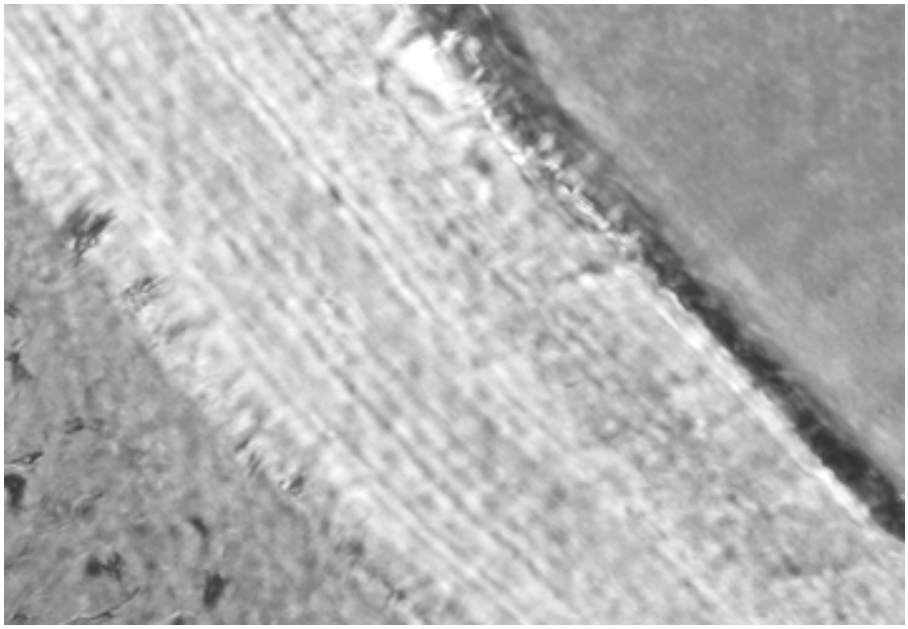


Abb. 21. Interferenzmikroskopische Aufnahme

Auszählen der Ringe

Das Zählen der Zementringe stellt einen heiklen Punkt dar, weil die Erfassung der Ringe nicht immer ganz einfach ist. Häufig sind die Zuwachsringe nur andeutungsweise oder in gewissen Bereichen gar nicht zu erkennen, dies kann unter Umständen dazu führen, dass man zu tiefe Zählergebnisse erhält. Demgegenüber können Artefakte fälschlicherweise als Zuwachsringe interpretiert werden, was dann zu hohe Zählergebnisse zur Folge hat. Häufig sind die Zuwachsringe nicht durchgehend gleich gut erkennbar. In diesen Fällen kann ein versetztes Auszählen von Vorteil sein. Der äusserste Bereich des Zementes enthält mitunter diffus erscheinende Zementringe, und es ist nicht immer einfach zu erkennen, welches der zuletzt gebildete Zementring ist; erschwert wird dies noch durch zum Teil am äusseren Rand vorhandene „Spiegelungen“ (Abb. 22). Bei der Anwendung eines neueren Mikroskops waren diese Spiegelungen, bei denen es sich höchstwahrscheinlich um ein optisches Phänomen (Artefakte) handelt, weniger häufig zu beobachten. Das Auszählen der Ringe kann direkt am Computer oder an Abzügen erfolgen. In dieser Arbeit wurden die Auszählungen vor allem an den Fotos vorgenommen, nur bei den Interferenzbildern erfolgte sie direkt am Bildschirm. Welche Art des Auszählens einfacher und genauer ist, hängt sicherlich vor allem mit der Person zusammen, welche diese ausführt. Ein Vorteil des direkten Auszählens am Bildschirm ist, dass das Entwickeln der Fotos, welches zusätzliche Zeit beansprucht, wegfällt.

Auszählen der Zementringe mit Hilfe von Plots

Das Auszählen der Zementringe, nach deren Umsetzung in eine graphische Darstellung (Plot), wurde in dieser Arbeit als weitere Variante zur Auszählung der Zementringe vorgeschlagen. Ob sich diese Auszählungsart von einer weiteren Person wiederholen lässt, wurde, wie beschrieben, getestet. Diese Art des Auszählens zeigte verglichen mit der herkömmlichen nur leicht schlechtere Resultate, doch ist das Anfertigen und Auswerten der Plots mit zusätzlicher Arbeit verbunden.

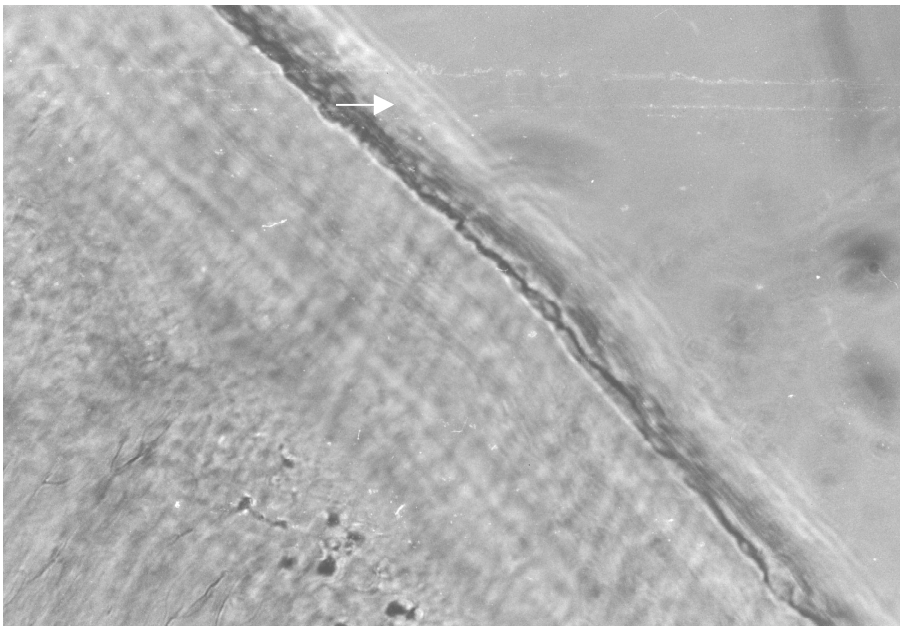


Abb. 22. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme, der Pfeil markiert die Spiegelungen.

Die Auszählung der Peaks (Zuwachsringe) erfolgte manuell, doch wäre das Ziel einer solchen Auswertung der Zementringe, dass die Auszählung durch den Computer ausgeführt würde. Dafür wären noch mehr Investitionen erforderlich. Ein weiteres Potential dieser Art der Zementringauswertung könnte die Erfassung von Mineralisationsunterschieden der Zementringe sein, welche sich anhand des Graustufenanteils (Helligkeit des Zementes) erfassen lassen. Derartige Mineralisations- unterschiede können, wie schon mehrmals erwähnt, mit Schwangerschaften, Knochenbrüchen und weiteren Vorfällen zusammenhängen.

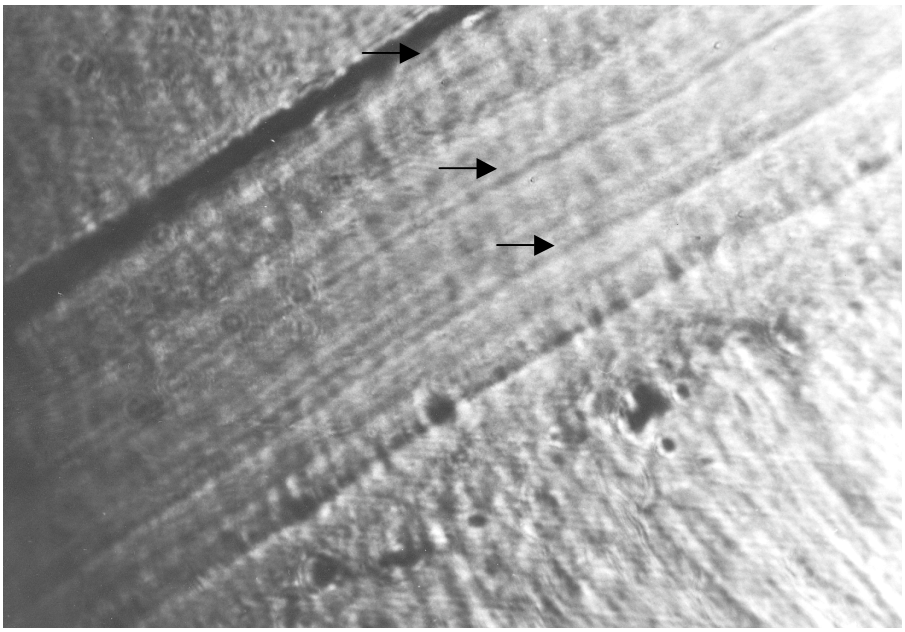


Abb. 23. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme, die Pfeile markieren die speziell ausgebildeten Zementringe.

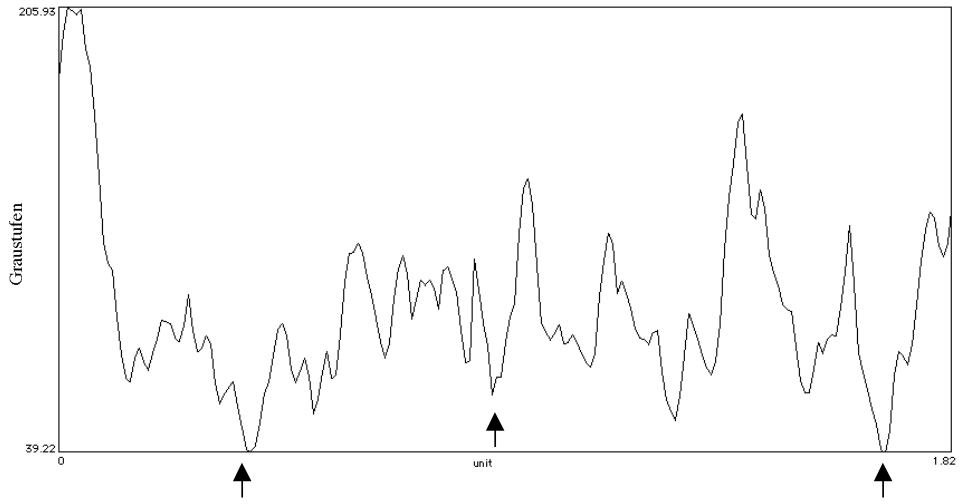


Abb. 24. Plot der Abb. 23; die Pfeile markieren die speziell ausgebildeten Zementringe.

Anzahl der Zahnschnitte und Fotos pro Zahn

Charles et al. (1986) haben in ihrer Arbeit erwähnt, dass die Genauigkeit der Altersbestimmung steigt, wenn mehr Schnitte beziehungsweise mehr Abzüge von den Schnitten gemacht werden. In dieser Studie sind fünf Schnitte pro Zahn und mindestens sechs Abzüge gemacht worden, was verhältnismässig wenig ist, verglichen mit anderen Arbeiten. Dies erklärt eventuell unter anderem die etwas weniger guten Resultate. Mehr Zählungen durchzuführen verbessert die Altersschätzung nach Charles et al. (1986) nur um ein Geringes.

Anzahl der untersuchten Zähne pro Individuum

In dieser Arbeit war vorgesehen, einen Zahn pro Individuum zu schneiden. In einigen Fällen wurde mehr als ein Zahn verwendet, weil der erste Zahn eine starke Abweichung in der Altersschätzung vom effektiven Alter aufwies. Von den zweiten Zähnen erhielt man eine gute Altersbestimmung. Die Untersuchung mehrerer Zähne würde die Genauigkeit der Altersbestimmung mit Sicherheit verbessern. Dies wäre aber noch mit viel mehr Aufwand verbunden, als wenn mehr Schnitte und Abzüge angefertigt würden. Neben der Altersbestimmung mittels Zahnzement sollte immer noch eine Altersschätzung mit Hilfe des Skelettes durchgeführt werden. Ist das Skelett in einem schlechten Zustand oder gar nicht vorhanden, wäre es von Vorteil, mehr als einen Zahn zu untersuchen, denn bei makroskopischer Betrachtung eines bodengelagerten Zahnes kann zwar der Zustand des Zementes erfasst werden, doch lässt sich kaum voraussagen, ob der Zahn für eine gute Altersschätzung zu gebrauchen ist.

Altersbestimmung an bodengelagerten Zähnen

Schon Condon et. al. hatten einen bodengelagerten Zahn untersucht. Sie konnten eine Zählung der Zementringe vornehmen, obwohl die Zuwachsringe, ihrer Angabe nach, weniger deutlich zu erkennen waren als bei rezenten Zähnen. Grosskopf (1990) hatte eine grössere Anzahl bodengelagerter Zähne mit unterschiedlicher Liegezeit und Liegemilieu untersucht. Sie hatte eine Altersbestimmung mittels Zahnzement durchgeführt und mit den morphologischen Daten

verglichen. In den meisten Fällen erhielt sie vergleichbare Werte. Auch die Untersuchung von Wright (1990) ergab ähnliche Ergebnisse. Eine Überprüfung der histologisch ermittelten Alter konnten aber weder Grosskopf noch Wright vornehmen, weil das tatsächliche Alter der Individuen nicht bekannt war. Die Zementringe könnten durch längere Bodenlagerung verändert werden, daher scheint es sinnvoll, die Effizienz dieser Altersbestimmungsart in Bezug auf bodengelagerte Zähne nochmals genauer zu überprüfen und die Resultate mit denen von rezenten Zähnen zu vergleichen. Dafür wurde hier vorerst der gesamte Datensatz ausgewertet. Sinnvollerweise wurde ein markanter Ausreisser (Abweichung von –29 Jahren) aus der Statistik ausgeschlossen. Dabei ergaben sich ein Korrelationswert von 0.84 und ein Steigungswert der reduzierten Hauptachse von 0.81. Werden zudem Zähne mit möglichen Parodontopathien und Doubling aus der Auswertung ausgeschlossen, lassen sich noch leicht bessere Werte verzeichnen. Die oben erwähnten statistischen Parameter dieser Studie liegen im Rahmen anderer Arbeiten. Wobei erwähnt werden muss, dass dort bezüglich der Methodik eine andere Vorgehensweise gewählt wurde. Daher war es sinnvoll, die vorliegenden Ergebnisse mit denjenigen von Grosskopf (1990) und Kagerer (2000) zu vergleichen, welche ähnlich arbeiteten. Um die Effizienz der Methode zu überprüfen, errechneten sie die prozentuale Abweichung des histologisch ermittelten Alters vom effektiven Alter. Dabei erhielten sie eine Fehlerabweichung von ca. 9-10 %. In dieser Arbeit lag die Fehlerabweichung bei ca. 11 %. Der leicht schlechtere Wert kann mit verschiedenen Faktoren zusammenhängen. So wurden in der hier vorgelegten Studie deutlich weniger Zahnschnitte angefertigt, was, wie schon früher erwähnt, die Genauigkeit der Altersschätzung herabsetzt. Auch entspricht das hauptsächlich in dieser Studie verwendete Mikroskop nicht mehr ganz den heutigen Anforderungen. Mit einem neueren Mikroskop kann sicherlich eine höhere Qualität in der Darstellung der Zementringe erreicht werden.

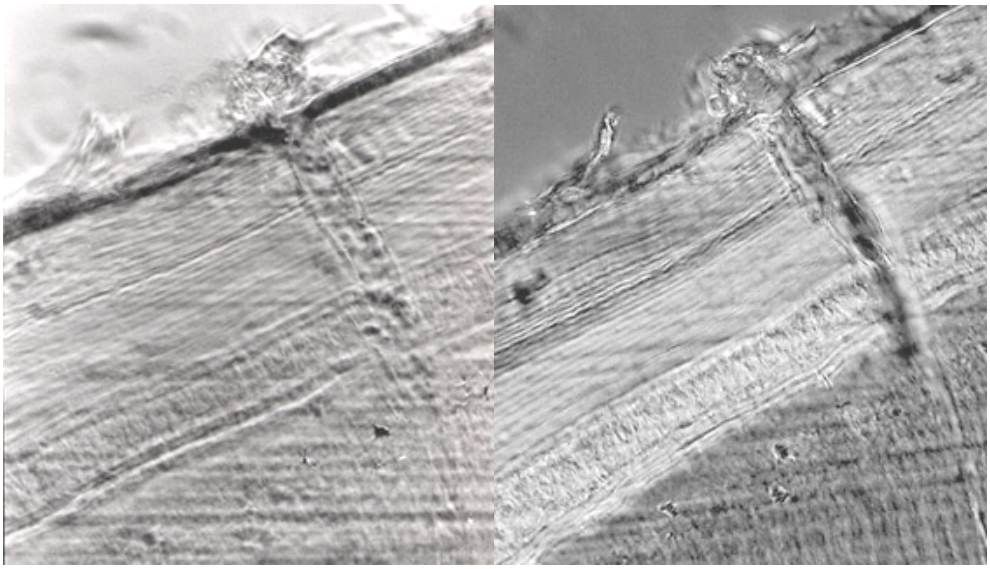


Abb. 25. Phasenkontrastbild (altes Mikroskop) Phasenkontrastbild (neues Mikroskop)

Das durchschnittliche Sterbealter der Individuen, deren Zähne in dieser Studie untersucht worden sind, liegt, verglichen mit demjenigen aus der Arbeit von Grosskopf (1990) und Kagerer (2000), relativ tief. Mehrere Autoren (Condon et al. 1986; Lipsinic et al. 1986; Stein and Corcoran 1994; Kvaal and Solheim 1995) erwähnten in ihren Arbeiten, dass Zähne von älteren Individuen eine schlechtere Altersbestimmung aufweisen. Aufgrund dieser Annahme

sollten die Resultate dieser Arbeit - verglichen mit anderen Studien - dementsprechend besser ausfallen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die prozentuale Abweichung der Altersschätzung bei älteren Individuen effektiv höher liegt. Die prozentualen Abweichungen in der Altersschätzung von 16-25jährigen wurden in dieser Studie mit denen von 45-53jährigen verglichen. Es zeigte sich, dass die jüngere Altersgruppe sogar leicht höhere Abweichungen aufwies. Um diesbezüglich eine eindeutige Aussage zu machen, müsste die prozentuale Abweichung in der Altersschätzung bei noch älteren Individuen untersucht werden. Die prozentuale Fehlerabweichung in dieser Studie muss aufgrund des tieferen Durchschnittsalters der Individuen, deren Zähne untersucht worden sind, nicht zwingend tiefer liegen. Es soll hier erwähnt werden, dass Gründe vorliegen, die sowohl ein schlechteres wie auch ein besseres Resultat zur Folge haben könnten. In Bezug auf die Korrelation, die Steigung der reduzierten Hauptachse wie auch die prozentuale Fehlerabweichung liegen die Werte dieser Studie allgemein gesehen im Bereich anderer Arbeiten. Daraus folgt, dass die Altersbestimmung mittels Zahnzement auch auf bodengelagertes Material angewendet werden kann, was für die historische Anthropologie von grossem Interesse ist, weil die herkömmliche Altersbestimmungsmethode anhand des Skelettes nur bei guter Erhaltung der Knochen durchgeführt werden kann. Zähne werden meistens besser überliefert als Knochen und daher kann man in vielen Fällen, in denen die Knochen schlecht erhalten oder nur zum Teil vorhanden sind, die Altersbestimmungsmethode mittels Zuwachsringen im Zahnzement einsetzen.

Weitere Vergleiche mit anderen Arbeiten

Doubling

Dieses Phänomen, bei dem zwei Zementringe pro Jahr gebildet werden, konnte schon in tierexperimentellen Studien beobachtet werden (Spinage 1976; Grue and Jensen 1979; Stott et al. 1980) In der hier vorliegenden Arbeit konnte nur bei einem Zahn, das heisst bei 2.3 % der gesamthaft untersuchten Zähne ein mögliches Doubling beobachtet werden. Dieser prozentuale Anteil liegt, verglichen mit Arbeiten von Condon et al (1986) und Cipriano-Bechtle et al. 1996), relativ tief, wobei auch Kagerer (2000) nur bei 1.25 % der Zähne ein Doubling feststellen konnte.

Periodontalkrankheiten

Definition: Es handelt sich dabei um entzündliche, degenerative und involutive Prozesse im Parodontium (Lautenbach 1992). Das Parodontium besteht aus dem Wurzelzement und der Wurzelhaut (Periodontium, Desmodont), dem marginalen Zahnfleischsaum und dem Alveolarknochen (Thiele et al. 1980) Weil ein funktionstüchtiges Desmodont für die Zementanlagerung erforderlich ist (Schroeder 2000), kann eine Erkrankung dieses Gewebes zu einer gestörten Zementanlagerung führen. In den Studien von Kagerer (2000) und Condon et al. (1986) wurden schlechtere Resultate in der Altersschätzung unter anderem mit periodontalen Prozessen in Verbindung gebracht. Diese Erkrankung lässt sich bei frisch extrahierten Zähnen weit einfacher nachweisen als bei bodengelagerten Zähnen. In der hier vorgelegten Arbeit konnte bei gewissen Zähnen ein periodontaler Vorgang vermutet werden. So wiesen die ersten Zähne von je zwei Individuen eine schlechte Altersbestimmung auf. Die Untersuchung von je einem weiteren Zahn derselben Individuen ergab eine gute Altersschätzung. Aufgrund dessen könnte bei den ersten geschnittenen Zähnen ein periodontaler Prozess für die schlechtere Altersbestimmung verantwortlich gewesen sein.

Keine Zuwachsringe

In der Arbeit von Condon et al. (1986) wurde erwähnt, dass ein kleiner Anteil von Zähnen keine oder unvollständig ausgebildete Zementringe zeigten. In dieser Untersuchung liessen sich bei allen Zahnpräparaten Zementringe darstellen, wenn auch in sehr unterschiedlicher Qualität.

Reduzierte Hauptachsen-Regression

Diese spezielle Art der allometrischen Analyse ist für biologische Daten sehr geeignet, weil ein Fehler in beiden Variablen erlaubt ist (Harvey and Pagel 1991). Condon et al. (1986) verwendeten diese Methode, mit der Begründung, dass bei einer jährlichen Anlagerung der Zementringe eine Steigung von Eins und ein y-Achsen Abschnitt von Null zu erwarten wäre.

Dank

Herrn Prof. Dr. R. D. Martin danke ich für die Leitung und Betreuung der Diplomarbeit; bei der A. H. Schultz-Stiftung möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung bedanken.
Ganz herzlich bedanke ich mich bei Frau Elisabeth Langenegger für die ausgezeichnete praktische Instruktion und die aufmerksame Betreuung während der ganzen Zeit meiner Diplomarbeit.
Ein Dank geht auch an Herrn PD Dr. Hu. F. Etter von der Universität Basel, der mir freundlicherweise das Material für diese Untersuchung zur Verfügung stellte, sowie an Frau Marianne Lörcher, die mir bei der Materialbesorgung geholfen hat.

Ich bedanke mich auch bei Frau Prof. Dr. G. Grupe von der Universität München und ihren Mitarbeitern für die an ihrem Institut gewährte Gastfreundschaft und die wertvollen weiterführenden Hinweise.
Ein weiterer Dank gilt auch Frau PD Dr. Charlotte Hemelrijk für die Betreuung im Bereich der Statistik.
Ein Dank geht ferner an Markus Gisi für das Entwickeln der Fotos und die vielen hilfreichen Tipps in Bezug auf den Computer und zudem an Beno Schoch für die praktischen Hilfeleistungen.
Bedanken möchte ich mich bei Frau Jocelyne Leclerc und bei Frau Kati Zlinszky für die Unterstützung in der Laborarbeit.
Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir das Studium ermöglichten und auch bei meinem Freund Silvan, der mir immer hilfreich zur Seite stand.

Bibliographie

Alt K. W., Türp J. C. 1997
Die Evolution der Zähne: Phylogenie-Ontogenie-Variation. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin.

Aufderheide A. C., Rodrigues-Martin C. 1998
The Cambridge encyclopedia of human paleopathology. Cambridge University Press, Cambridge.

Böck P., Denk H, Künzle H., Plenk H., Rüschoff J., Sellner W. 1989
Romeis Mikroskopische Technik. 17. Auflage. Urban und Schwarzenberg, München.

Bogenrieder A., Collatz K.G., Kössel H., Osche G. 1985
Lexikon der Biologie. Herder, Freiburg.

Burckhardt A. 1908
Demographie und Epidemiologie der Stadt Basel während der letzten drei Jahrhunderte 1601 - 1909. F. Reinhardt Universitätsdruckerei, Basel.

Charles D. K., Condon K., Cheverud J. M. and Buikstra J. E. (1986)
Cementum annulation and age determination in *Homo sapiens*. I. Tooth variability and observer error. Am. J. Phys. Anthrop. 71, 311-320.

Cipriano-Bechtle A., Grupe G., Schröter P. 1996
Ageing and life expectancy in the early Middle Ages. *Homo* 46, 267-279.

Condon K., Charles D. K. (1983)
Evaluation of the cemental annulation ageing technique. Am. J. Phys. Anthrop. 60, 183 (abstract).

Condon K., Charles D. K., Buikstra J. E. 1985
Quantitative evaluation of the cementum annulation ageing technique in humans. Am. J. Phys. Anthrop. 66, 157 (abstract).

Condon K., Charles D.K., Cheverud J.M. and Buikstra J.E. 1986
Cementum annulation and age determination in *Homo sapiens*. II. Estimates und accuracy. Am. J. Phys. Anthrop. 71, 321-330.

Dickson G.R. 1984
Methods of calcified tissue preparation. Elsevier, Amsterdam.

Etter Hu. F., Bockmühl P., Heinrichs Ch., Hitz I., Hotz G., Lörcher M., Rigert E., Schröder S., Uhl, A. 1993
Armut, Krankheit, Tod im frühindustriellen Basel. Der Spitalfriedhof St. Johann in Basel. Funde und Befunde aus einer anthropologischen Ausgrabung. Veröff. Naturhist. Mus. Basel Nr. 25.

Geusa G., Bondioli L., Capucci E., Cipriano A., Grupe G., Savorè C., Macchiarelli R. 1999
Dental cementum annulations and age at death estimation. Digital Archives of human Paleobiology. 2. CD-ROM.

Grosskopf B. 1989
Incremental lines in prehistoric cremated teeth. Z. Morph. Anthrop. 77, 309-311.

Grosskopf B. 1990
Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement bodengelagerter menschlicher Zähne. Z. f. Rechtsmed. 103, 351-359.

Grue H. 1976
Non-seasonal incremental lines in tooth cementum of domestic dogs *(Canis familiaris* L.*)*. Dan. Rev. Game Biol. 10, 1-8.

Grue H., Jensen B. 1973
Annular structures in canine tooth cementum in red foxes *(Vulpes vulpes L.)* of known age. Dan. Rev. Game Biol. 8, 1-12.

Grue H., Jensen B. (1976)
Annual cementum structures in canine teeth in arctic foxes *(Alopex lagopus* L.*)* from Greenland and Denmark. Dan. Rev. Game Biol. 10 no. 3.

Grue H., Jensen B. 1979
Review of the formation of incremental lines in tooth cementum of terrestrial mammals. Dan. Rev. Game Biol. 11, 1-48.

Hadley M. E. 1992
Endocrinology. 3th Edition. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.

Harvey P., Pagel M. 1991
The comparative methode in evolutionary biology. Oxford University Press, Oxford.

Helm S., Seidler B. 1974
Timing of permanent tooth emergence in Danish children. Comm. Dent. Oral Epid. 2, 122-129.

Hildebrandt H. (Hrsg.) 1994
Pschyrembel: Klinisches Wörterbuch. 257. Auflage. Walter de Gruyter, Berlin.

Kagerer P. 2000
Die Zahnzementzuwachsringe - Stumme Zeugen oder dechiffrierbare Annalen in der Paläopathologie, Paläodemographie und Rechtsmedizin? Diss. Fakultät für Biologie, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Kay R. F., Rasmussen D. T. and Beard K. C. 1984
Cementum annulus counts provide a means for age determination in *Macaca mulatta* (Primates, Anthropoidea). Folia Primatol. 42, 85-95.

Kolb H. 1978
The formation of lines in the cementum of premolar teeth in foxes. J. Zool. Soc., Lond. 185, 259-263.

Kvaal S. I., Solheim T. 1995
Incremental lines in human dental cementun in relation to age. Eur. Oral Sci. 103, 225-230.

Lautenbach E. 1992
Wörterbuch Zahnmedizin. Zahn, Mund, Kiefer, Gesicht. Verlag für Zahnmedizin, Hanau.

Lieberman D. 1993
Life history variables preserved in dental cementum microstructure. Science 261, 1162-1164.

Lipsinic F. E., Paunovich E., Houston G. D. and Robinson S. F. 1986
Correlation of age and incremental lines in the cementum of human teeth. J. Forens. Sci. 31, 982-989.

Lörcher M. 1996
Der äussere St. Johann-Gottesacker zu Basel: Frauenbestattungen erzählen. Unpubl. Diplomarbeit Sem f. Ur- und Frühgesch. Univer. Basel.

Martelli S. 1999
Manual für Einbettungstechnik der Zahnzementanalyse. Anthrop. Instit. der Universität Zürich.

Miller C.S., Dove S.B. and Cottone J.A. (1988) Failure of use of cemental annulations in teeth to determine the age of humans. J. *Forens. Sci.* 33, 137-143.

Mitchell B. 1967
Growth layers in dental cement for determining the age of red deer (*Cervos elaphus L.).* J. Anim. Ecol. 36, 267-293.

Mjör I. A., Fejerskov O. 1979
Histology of the human tooth. 2nd Edition. Munksgaard, Copenhagen.

Naylor J. W., Miller W. G., Stokes G. N. and Stott G. G. 1985
Cemental annulation enhancement: A technique for age determination in man. Am. J. Phys. Anthrop. 68, 197-200.

Norman A.W., Litwack G. 1997
Hormones. 2nd Edition. Academic Press, San Diego.

Provenza D. V., Seidel W. 1986
Oral histology: Inheritance and development. 2nd Edition. Lea and Febiger, Philadelphia.

Schroeder H. E. 2000
Orale Strukturbiologie. 5. Aufl. G. Thieme Verlag, Stuttgart.

Schumacher G. H., Schmidt H., Börnig H., Richter W. 1990
Anatomie und Biochemie der Zähne. 4. Aufl. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Siegel S. 1997
Nichtparametrische statistische Methoden. 4. Auflage. Verlag Dietmar Klotz GmbH, Frankfurt.

Spinage C. A. 1976
Incremental cementum lines in the teeth of tropical African mammals. J. Zool. Soc., Lond. 178, 117-131.

Stein T. J. and Corcoran J. F. 1994
Pararadicular cementum deposition as a criterion for age estimation in human beings. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 77, 266-270.

Stott G. G., Sis R. F. and Levy B. M. 1980
Cemental annulation as an age criterion in the common marmoset (*Callithrix jacchus)*. J. Med. Primatol. 9, 274-285.

Stott G. G., Sis R. F. and Levy B. M. 1982
Cemental annulation as an age criterion in forensic dentistry. J. Dent. Res. 61, 814-817.

Ten Cate A.R. 1994
Oral histology: Development, structure and function. Mosby, St. Louis.

Thiele G., Tutsch D., Walter H. 1980
Handlexikon der Medizin. Urban und Schwarzenberg, München.

Voet D., Voet J. G. 1992
Biochemie. VCH, Weinheim.

Wada K., Ohtaishi N., Hachiya N. 1978
Determination of age in the Japanese monkey from growth layers in the dental cementum. Primates 19, 775-784.

Wright L. E. 1990
An archeological application of cemental annulation at Tipu, Belize. Am. J. Phys. Anthrop. 81, 320 (abstract).

Yoneda M. 1982
Growth layers in dental cementum of *Saguinus* monkeys in South America. Primates 23, 460-464.

Yonemura K., Raines E., Ahn N., Narayanan A. 1993
Mitogenic signaling mechanisms of human cementum-derived growth factor. J. Biol. Chem. 285, 26120-26126.

Anschrift

Gabriela Caplazi
Anthropologisches Institut und Museum
der Universität Zürich-Irchel
Winterthurerstrasse 190
8057 Zürich

Anhang

Zählungen aller Zähne

Grab Nummer	Durchschnitt der Zählungen	Standardabweichung
8	12.00	1.46
9	16.67	2.16
17 1. Zahn	13.6	1.64
17 2. Zahn	14.67	1.29
56	19.00	2.30
83	20.80	3.12
91	9.67	1.11
94	26.07	1.33
106	15.07	1.53
181	11.4	1.18
211	13.87	1.46
251	16.80	1.26
266	22.67	1.95
269	18.27	2.37
285	17.33	1.63
311 1. Zahn	8.80	0.94
311 2. Zahn	15.53	1.46
317	30.07	2.25
349	31.33	5.83
421	20.20	2.70
432 1. Zahn	23.53	1.88
432 2. Zahn	17.67	3.04
432 3. Zahn	24.30	4.55
557 1. Zahn	23.93	4.86
557 2. Zahn	32.53	2.20
578	26.27	1.75
767	36.60	4.07
841	28.87	4.41
1100	19.93	1.98
1203	35.40	1.96
1224	12.00	1.41
1300	19.53	3.70
1301	6.20	0.68
1404	31.07	3.17
1412	9.60	0.74
1639	22.53	1.68
1650	19.07	2.22
1704	36.27	3.65
1720	15.87	1.25
1739	19.33	2.47
1813	17.47	1.19
1830	11.27	1.53

Übersichtstabellen

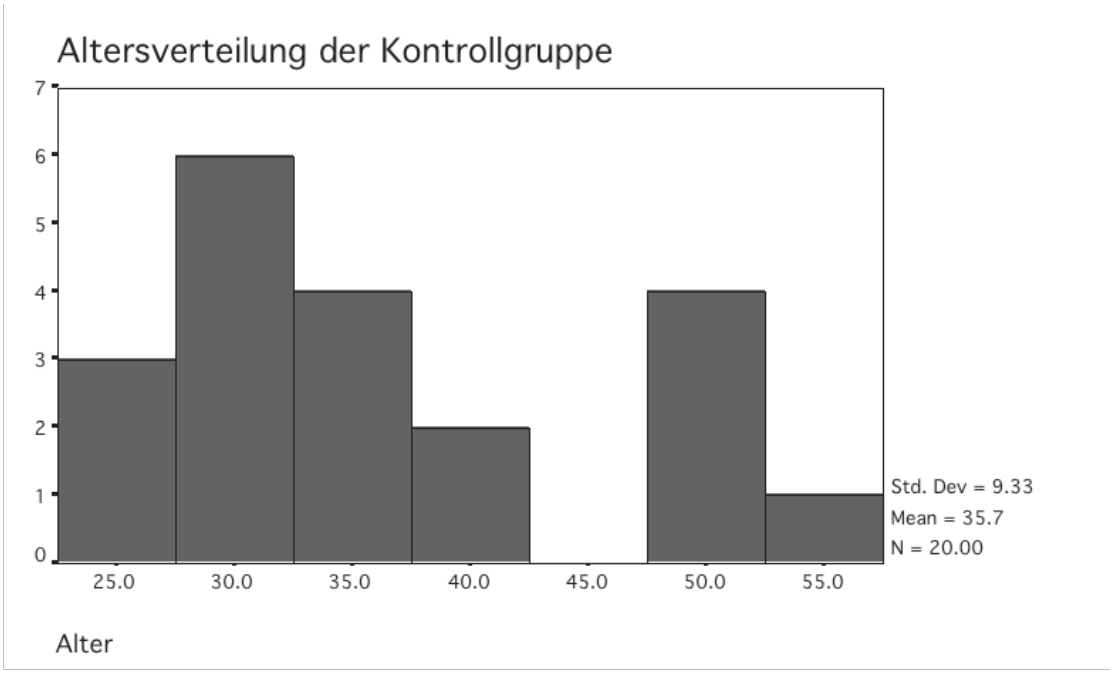
Tbc-Gruppe

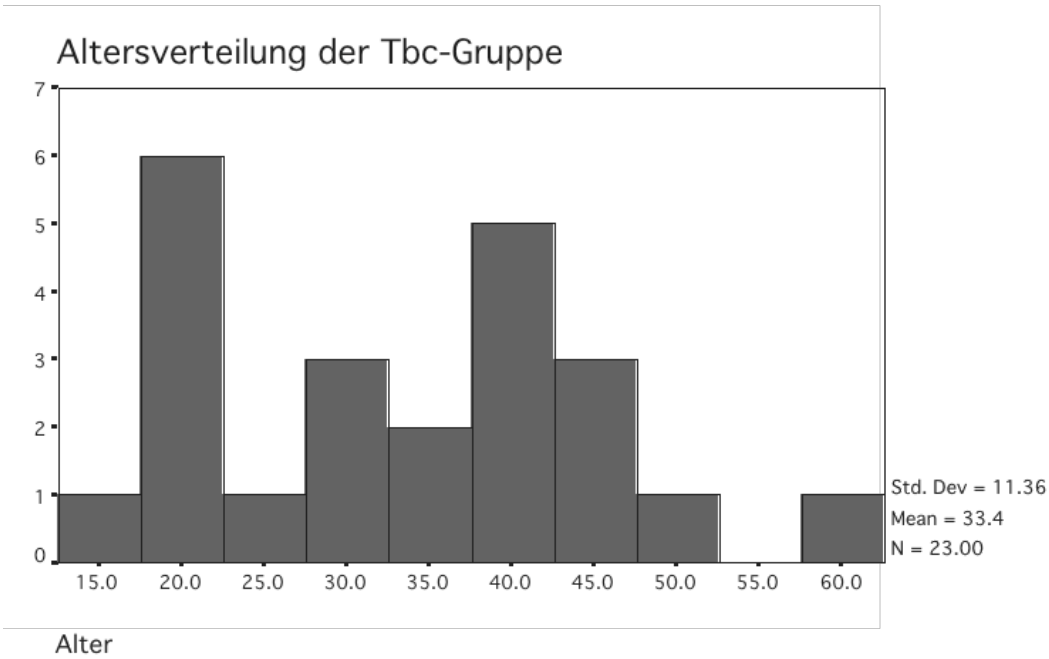
Grab-Nummer	Geschlecht	Mittel der Zählungen	Zahndurch-bruch	Effektives Alter	Histologisches Alter	Restwert
8	männlich	12	11.5	25	24	1
9	männlich	16.7	10.7	30	27	3
14	männlich	22.3	10.7	38	33	5
17.1	männlich	13.6	11.5	29	35	-6
17.2	männlich	14.7	11	29	26	3
83	männlich	20.8	11.5	42	32	10
91	männlich	9.7	10.7	19	20	-1
94	männlich	26.1	10.7	38	37	1
181	männlich	11.4	11.5	22	23	-1
211	männlich	13.9	11.5	21	25	-4
266	weiblich	22.7	11	38	34	4
269	männlich	18.3	11.5	22	30	-8
349	männlich	31.3	10.7	45	42	3
578	weiblich	26.3	11	40	37	3
841	männlich	28.9	11.5	37	40	-3
1100	männlich	19.9	10.6	60	31	29
1203	männlich	35.4	11.5	48	47	1
1224	männlich	12	11.5	21	24	-3
1300	männlich	19.5	11.5	45	31	14
1301	weiblich	6.2	10.1	16	16	0
1404	weiblich	31.1	10.6	44	42	2
1650	männlich	19.1	11.5	37	31	6
1412	weiblich	9.6	11	22	21	1

Kontrollgruppe

Grab-Nummer	Geschlecht	Mittel der Zählungen	Zahndurch - bruch	Effektives Alter	Histologisches Alter	Restwert
56	weiblich	19	11	32	30	2
106	männlich	15.1	11.5	28	27	1
251	männlich	16.8	11.5	24	28	-4
285	männlich	17.3	11.4	39	29	10
311.1	männlich	8.8	11.5	28	20	8
311.2	männlich	15.5	11.4	28	27	1
317	weiblich	30.1	11	41	41	0
421	männlich	20.2	10.7	50	31	19
432.1	männlich	23.5	11.5	33	35	-2
432.2	männlich	17.7	11.5	33	29	4
432.3	männlich	24.3	10.6	33	35	-2
557.1	weiblich	23.9	10	48	34	14
557.2	weiblich	32.5	11	48	44	4
767	männlich	36.6	11.4	53	48	5
1639	männlich	22.5	11.5	34	34	0
1704	männlich	36.3	11.5	50	48	2
1720	weiblich	15.9	11	27	27	0
1739	männlich	19.3	11.5	31	31	0
1813	männlich	17.5	10.7	28	28	0
1830	weiblich	11.3	10.5	26	22	4

Altersverteilungen der Kontroll- und Tbc-Gruppe





Vergleich von Zählungen anhand der Plots mit Zählungen anhand der Fotos

Zählungen anhand der Fotos

Grab Nummer	Durchschnitt der Zählungen	Standardabweichung
8	13.7	0.98
9	17.00	2.00
14	22.83	2.48
17 1. Zahn	13.67	2.07
17 2. Zahn	14.67	1.63
56	17.33	2.07
83	22.17	3.19
94	25.67	1.75
106	14.50	1.38
251	16.67	1.37
266	23.00	0.89
285	17.17	1.72
311 1. Zahn	9.17	0.41
311 2. Zahn	15.00	0.89
317	30.17	1.72
349	37.17	2.23
432 1. Zahn	26.33	5.01
557 1. Zahn	22.33	2.88
557 2. Zahn	31.67	2.34
578	27.50	1.38
1301	6.50	0.55
1404	31.00	0.89
1412	10.00	0.63
1639	23.00	1.26
1650	17.17	1.47
1720	16.17	0.75
1739	21.33	0.82
1813	16.83	1.33

Zählungen anhand der Plots

Grab-Nummer	Durchschnitt der Zählungen	Standardabweichung
8	15.00	2.97
9	19.17	2.23
14	22,50	5.01
17 1. Zahn	15.67	4.76
17 2. Zahn	14.50	3.51
56	18.17	3.31
83	21.33	2.58
94	25.33	2.07
106	16.33	1.03
251	20.00	1.41
266	22.00	1.26
285	17.83	1.47
311 1. Zahn	9.67	1.51
311 2. Zahn	15.00	2.97
317	25.50	1.64

Grab-Nummer	Durchschnitt der Zählungen	Standardabweichung
349	35.50	3.51
432 1. Zahn	26.00	0.89
557 1. Zahn	21.83	2.64
557 2. Zahn	26.83	2.04
578	26.33	1.51
1301	6.33	0.82
1404	27.83	0.75
1412	10.83	0.98
1639	23.33	1.63
1650	17.50	3.62
1720	16.83	1.33
1739	20.00	0.89
1813	15.67	1.51

Qualitative Beurteilung des äusseren Bereiches des Zahnzementes

Grab Nummer	Todesursache	Geschlecht	Hellere Ringe im äusseren Bereich (Skala 1-3), in phasenkontrastmikroskopischen Aufnahmen.
8	Tbc	männlich	2
9	Tbc	männlich	-3 (auch auf Interferenzbilder)
11	Tbc	männlich	
14	Tbc	männlich	3 (auch auf Interferenzbilder)
17 1. Zahn	Tbc	männlich	2
17 2. Zahn	Tbc	männlich	0
56	Niederkunft	weiblich	1
83	Tbc	männlich	-3 (auch auf Interferenzbilder)
90	Tbc	männlich	
91	Tbc	männlich	2
94	Tbc	männlich	-3 (nicht auf Interferenzbilder)
97	Tbc	weiblich	
106	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	männlich	1
181	Tbc	männlich	-3 (auch auf Interferenzbilder)
211	Tbc	männlich	-3 (nicht auf Interferenzbilder)
239 1. Zahn	Tbc	weiblich	
239 2.Zahn	Tbc	weiblich	
251	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	männlich	2
266	Tbc	weiblich	1
269	Tbc	männlich	1
285	Beinfrass	männlich	-2
311 1. Zahn	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	männlich	-2
311 2. Zahn	Nervenfieber (Typhus abdominalis)	männlich	0
317	Herzentzündung	weiblich	2
349	Tbc	männlich	0 (äusserer Bereich schwarz)
421	Brandwunde (Unfall)	männlich	0
426	Tbc	männlich	
432 1. Zahn	Verletzung der Eingeweide	männlich	1
432 2. Zahn	Verletzung der Eingeweide	männlich	-1
432 3. Zahn	Verletzung der Eingeweide	männlich	0
557 1. Zahn	Herzleiden	weiblich	-2
557 2. Zahn	Herzleiden	weiblich	2
578	Tbc	weiblich	-2
767	Rotlauf	männlich	2
841	Tbc	männlich	-1
1100	Tbc	männlich	1
1203	Tbc	männlich	0
1224	Tbc	männlich	0
1300	Tbc	männlich	-3 (auch auf Interferenzbilder)
1301	Tbc	weiblich	1
1404	Tbc	weiblich	-1
1412	Skrophulose (Tbc)	weiblich	1

1639	Herzvergrösserung	männlich	2
1650	Tbc	männlich	1
1704	Hirnerweichung	männlich	0
1720	Herzfehler	weiblich	-1
1739	Luftröhrenerweiterung	männlich	2
1813	Enzündung des Felsenbeins	männlich	0 (äusserer Bereich schwarz)
1830	Gebärmutterentzündung	weiblich	2