

# Die Zahnzementannulation im Vergleich zu konventionellen Methoden der Sterbealtersbestimmung an den bandkeramischen Skelettresten aus dem Gräberfeld von Schwetzingen<sup>1</sup>

MICHAEL FRANCKEN und JOACHIM WAHL

## Vorbemerkung

Bei der Untersuchung menschlicher Knochenreste besteht einer der ersten und für die spätere Auswertung wesentlichen Schritte in der möglichst genauen Bestimmung des Sterbealters der vorliegenden Skelettindividuen. Aufgrund einer Vielzahl unterschiedlicher endo- und exogener Faktoren sind insbesondere bei Erwachsenen die konventionellen Verfahren nicht in der Lage, über einen Näherungswert hinaus exakte Angaben zu liefern. So sind z.B. die Obliteration der Schädelnähte u. a. abhängig vom Geschlecht, von pathologischen oder traumatischen Befunden und evtl. genetischen Dispositionen, und die Zahnkronenabrasion von der Härte und Dicke des Zahnschmelzes, von Bissdysfunktionen sowie der Nahrungszusammensetzung und -aufbereitung oder der Verwendung des Gebisses als ‚dritte Hand‘. Degenerative Veränderungen im Bereich des Postkraniums sind nicht nur altersabhängig, sondern können infolge starker körperlicher Belastungen auch in jungen Jahren erhebliche Ausmaße erreichen. Zudem erlaubt dieses Methodenspektrum lediglich Hinweise auf das biologische Alter einer Person, das durchaus nicht unerheblich vom chronologischen Alter abweichen kann. Diesen Unsicherheitsfaktoren wird in der Regel dadurch Rechnung getragen, dass das individuelle Sterbealter in Form einer Altersspanne angegeben wird.

In den 1950er Jahren wurde eine Methode zur Altersdiagnose von Wildtieren entwickelt, die seit über zwanzig Jahren auch verstärkt bei menschlichen Überresten angewendet wird.<sup>2</sup> Sie basiert auf der mit fortschreitendem Alter kontinuierlich stattfindenden Anlagerung von Zahnzement in Ringform um die Zahnwurzel eines jeden Zahnes und ist unter der Bezeichnung „Zahnzementannulation“, abgekürzt TCA (von Tooth Cementum Annulation), bekannt.<sup>3</sup> Im Gegensatz zu den bisherigen Altersbestimmungsmethoden soll auf diese Weise das kalendarische (= chronologische) Alter eines Individuums ermittelt werden können.<sup>4</sup> Die TCA kam im Rahmen einer Studie an den Skeletten des bandkeramischen Friedhofs von Schwetzingen, Rhein-Neckar-Kreis, zum Einsatz. Die Ergebnisse wurden mit denjenigen der üblichen konventionellen, auf morphognostischen Parametern beruhenden Methoden verglichen.

---

1 Der vorliegende Beitrag basiert auf der Magisterarbeit von M. FRANCKEN, Zahn um Zahn – Die Zahnzementannulation als Methode zur Altersdiagnose (Tübingen 2006).

2 R. M. LAWS, A new method of age determination for mammals. *Nature* 169, 1952, 972 f.

3 Inzwischen ist eine größere Zahl von Publikationen zu diesem Phänomen erschienen; z. B.: P. KAGERER/G. GRUPE, On the validity of individual age-at-death diagnosis by incremental line counts in human dental cementum. Technical considerations. *Anthr. Anz.* 59, 2001, 331–342. – U. WITTEW-BACKOFEN/H. BUBA, Age estimation by tooth cementum annulation: perspectives of a new validation study. In: R. D. HOPPA/J. W. VAUPEL (eds.), *Paleodemography. Age distributions from skeletal samples* (Cambridge u. a. 2002) 107–128. – U. WITTEW-BACKOFEN/J. GAMPE/J. VAUPEL, Tooth cementum Annulation for Age Estimation: Results From a Large Known-Age Validation Study. *Am. Journal Physical Anthr.* 123/2, 2004, 119–129. – S. LENZ, Altersdiagnose der Alemannen von Kirchheim Teck durch Zahnzementringe (Diss. Ulm 2004).

4 Bei genauerer Betrachtung beinhaltet jedoch auch diese Methode durch Einbeziehung des Zahndurchbruchs einen Anteil biologischen Alters (s. u.).

## Das Fundmaterial

Das linearbandkeramische Gräberfeld von Schwetzingen wurde im Zuge von Erschließungsmaßnahmen für das Wohngebiet ‚Schälzig‘ im Herbst 1988 entdeckt. Bei Arbeiten an einem Abwasserkanal stieß K. FICHTNER auf Bruchstücke von Keramik und menschlichen Knochen. Die daraufhin stattfindende Notuntersuchung unter der Leitung von C. EIBNER<sup>5</sup> erbrachte die Reste von zwei Gräbern. Weitere sechs Bestattungen wurden bei einer anschließenden Begehung entdeckt. Sie ließen sich anhand des beiliegenden Scherbenmaterials durchgehend der bandkeramischen Kultur zuordnen.

Dank der milden Witterung konnte bereits im Januar des Folgejahres mit der Ausgrabung begonnen und diese nach neun Monaten abgeschlossen werden. Insgesamt wurden 214 Bestattungen geborgen, darunter Körper- und Brandgräber sowie einige wenige Doppelbestattungen. Die Körpergräber setzen sich aus Skeletten von 76 Kindern und Jugendlichen und 135 Erwachsenen zusammen. Von den 135 Erwachsenen sind 50 als Männer und 63 als Frauen bestimmt, während bei 22 Individuen aufgrund schlechter Knochenerhaltung oder zweifelhafter Formmerkmale eine Geschlechtsdiagnose unterbleibt. Alles in allem sind über 56% der Bestatteten jünger als 20 Jahre einzustufen.<sup>6</sup>

Nach Schätzungen des Ausgräbers R.-H. BEHRENDTS waren durch die Bauarbeiten vermutlich ca. 25 Gräber zerstört worden, bevor sie archäologisch erfasst werden konnten. Der größte Teil der Brandgräber dürfte infolge der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung der Fläche verloren gegangen sein. Wie acht teilweise erhaltene Beispiele zeigen, waren diese nur flach eingetieft. Ihr ursprünglicher Anteil kann nur grob geschätzt werden, allerdings sind neben den vorhandenen acht Brandgräbern noch bei sieben Körperbestattungen Leichenbrandreste gefunden worden.<sup>7</sup> Die Frage, ob es sich bei diesen um intentionelle, birituelle Doppelbestattungen oder zufällige Beimengungen durch bei der Grablege aufgearbeitete, ältere Brandgräber handelt, muss meist zugunsten letzterer entschieden werden. 18 Fundpunkte werden als Reste abgepflügter Körperbestattungen angesprochen.<sup>8</sup>

Die meisten Bestattungen waren verhältnismäßig reichhaltig mit Beigaben versehen. Den größten Anteil daran haben Steinartefakte und Keramik. Eine zum Gräberfeld gehörige Siedlung ist bislang nicht gefunden worden, allerdings wurden in einem benachbarten Neubaugebiet angeschnittene Siedlungsgruben beobachtet.

Ausgehend von Form, Technik und Verzierung des Scherbenmaterials datiert die Schwetzingener Nekropole in die Linienbandkeramik. Die feinchronologische Einstufung deutet auf eine Zweiteilung des Gräberfelds hin,<sup>9</sup> nach der neben der älteren Linienbandkeramik auch eine Belegung während der mittleren Linienbandkeramik stattfand. Der Fundplatz ähnelt damit dem bekannten Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen.<sup>10</sup>

## Material und Methode

Für die vorliegende Studie wurden aus der Gruppe der dokumentierten Bestattungen 109 Individuen ausgewählt, die einer Reihe von Kriterien entsprachen. Von besonderer Bedeutung waren

5 Institut für Ur- und Frühgeschichte Heidelberg.

6 Die Voruntersuchungen von J. WAHL sind bislang noch unveröffentlicht.

7 I. TRAUTMANN, *Cremations of the Linearbandkeramik Culture in Relation to the Burial Practices of Early Neolithic Communities in South-Western Germany. The Cemeteries of Schwetzingen und Fellbach-Oeffingen* (Magisterarbeit Tübingen 2003).

8 R.-H. BEHRENDTS, *Ein Gräberfeld der Bandkeramik von Schwetzingen, Rhein-Neckar-Kreis. Arch. Ausgr. Baden-Württemberg* 1989, 45–48.

9 Die archäologische Untersuchung des Fundguts erfolgte durch CLAUDIA GERLING im Rahmen ihrer Magisterarbeit: *Das linienbandkeramische Gräberfeld von Schwetzingen, Rhein-Neckar-Kreis* (Würzburg 2006).

10 Zuletzt u. a. T. D. PRICE/J. WAHL/C. KNIPPER/E. BURGER-HEINRICH/G. KURZ/R. A. BENTLEY, *Das bandkeramische Gräberfeld vom ‚Viesshäuser Hof‘ bei Stuttgart-Mühlhausen: Neue Untersuchungsergebnisse zum Migrationsverhalten im frühen Neolithikum. Fundber. Baden-Württemberg* 27, 2003, 23–58.

dabei die Vollständigkeit des Skeletts sowie das Erreichen des Erwachsenenalters. Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde bei der TCA darauf geachtet, bei allen Individuen jeweils den gleichen Zahn auszuwählen. Da in der Literatur einwurzelige Zähne empfohlen und der erste rechte Prämolare des Unterkiefers<sup>11</sup> am häufigsten überliefert war, wurde dieser Zahn bevorzugt für die Untersuchung entnommen. War dieser infolge prä- oder postmortaler Defekte bzw. Verlusts nicht nutzbar, wurde auf den entsprechenden Prämolare der linken Seite zurückgegriffen.<sup>12</sup> Stand auch dieser nicht zur Verfügung, kamen andere einwurzelige Zähne in Frage. Insgesamt stammen 62% der untersuchten Zähne von der primär angepeilten Zahnposition – entweder als isolierte Stücke oder nach behutsamer Lösung aus dem Kieferverband.

Nach der Entnahme wurden die Zähne für die mikroskopische Untersuchung weiter aufbereitet. Dazu wurden sie in Kunstharz eingebettet und aus der Zahnwurzel horizontal bis zu fünf Scheibchen mit einer Dicke von jeweils maximal 70–80 µm herausgeschnitten. Unter dem Mikroskop erfolgte die Auszählung der Ringe bei 200- bis 400facher Vergrößerung, wobei die hellen oder die dunklen Ringe gezählt wurden. Um eine möglichst breite Datenbasis zu erhalten, wurde jedes Präparat an verschiedenen Stellen des Querschnitts mehrfach ausgezählt, im Idealfall an fünf Positionen. In der Theorie sollten diese 25 Zählungen ein identisches Ergebnis liefern. In der Praxis traf dies in keinem Fall zu. Dementsprechend konzentriert sich ein großer Teil der Arbeit auf die Überprüfung der möglichen Ursachen für die teilweise enormen Spannweiten innerhalb einzelner Zahnproben. Die Zählergebnisse wurden hinsichtlich evtl. Fehler bei der Auszählung, von Abhängigkeiten von der Zahnposition, Geschlecht sowie mutmaßlichem Alter und Zahnpathologien des jeweiligen Individuums untersucht. Abhängig von der zugrunde liegenden Methode, wurde aus den Ergebnissen entweder ein Mittelwert berechnet<sup>13</sup> oder der häufigste Wert der Auszählungen verwendet.<sup>14</sup> In beiden Fällen wird die gefundene Ringzahl mit dem durchschnittlichen Durchbruchsalter des Zahnes<sup>15</sup> addiert und die mittlere Abweichung des Zahndurchbruchs von 2,5 Jahren als Fehlerspanne hinzugefügt. Die individuelle Altersangabe ergibt sich dann nach dem Schema:

$$\text{Ringzahl} + \text{Durchbruchsalter} = \text{Sterbealter} \pm 2,5 \text{ Jahre.}$$

Zu Vergleichszwecken wurden die so beprobten Skelette mit drei der gängigsten, traditionellen, und einem bislang noch unpublizierten morphologischen Verfahren altersbestimmt. Es waren dies die kombinierte Methode von ACSÁDI/NEMESKÉRI,<sup>16</sup> die Obliteration der Schädelnähte nach PERIZONIUS,<sup>17</sup> die Zahnkronenabrasion nach BROTHWELL<sup>18</sup> und die Nahtverknöcherung nach CZARNETZKI.<sup>19</sup>

11 Zahnposition 44 nach internationaler Nomenklatur.

12 Zahnposition 34 nach internationaler Nomenklatur.

13 B. GROSSKOPF, Möglichkeiten der Altersbestimmung an bodengelagerten menschlichen Zähnen durch Bestimmung der Zuwachsringe im Zement (Diplomarbeit Göttingen 1988) 20.

14 P. KAGERER/G. GRUPE, Age-at-death diagnosis and determination of life-history parameters by incremental lines in human dental cementum as an identification aid. *Forensic Science Internat.* 118, 2001, 77.

15 G.-H. SCHUMACHER/H. SCHMIDT/W. RICHTER, *Anatomie und Biochemie der Zähne* (Stuttgart 1983) 137.

16 G. ACSÁDI/J. NEMESKÉRI, *History of Human Lifespan and Mortality*. Akadémiai Kiadó (Budapest 1970). Die Methode bezieht vier Merkmalkomplexe am Skelett mit ein: Die endokraniale Nahtverknöcherung, das Relief der Symphysenfuge am Becken sowie die Spongiosastruktur am proximalen Humerus- und Femurgelenk.

17 W. R. K. PERIZONIUS, Closing and Non-closing Sutures in 256 Crania of Known Age and Sex from Amsterdam (A. D. 1883–1909). *Journal Human Evolution* 13, 1984, 201–216. – Siehe auch F. W. RÖSING, Methoden der Ausagemöglichkeiten der anthropologischen Leichenbrandbearbeitung. *Arch. u. Naturwiss.* 1, 1977, 53–80. – H. V. VALLOIS, La durée de la vie chez l'homme fossile. *Anthropologie (Paris)* 47, 1937, 499–532. – G. OLIVIER, *Pratique Anthropologique* (Paris 1960).

18 D. R. BROTHWELL, *Digging up Bones* (London 1972). – Speziell zur Bandkeramik siehe auch T. REITH, Untersuchungen zur Altersbestimmung der Individuen zweier frühneolithischer Skelettserien aus Baden-Württemberg anhand verschiedener Abrasionsphänomene (Diss. Tübingen 1990).

19 A. CZARNETZKI, bislang unveröffentlichtes Vorlesungsskript. Die Methode basiert auf der Erkenntnis, dass die Verknöcherung der Suturen durch das Vorhandensein von Schaltknochen o. a. Nahtvarianten verzögert und durch traumatische oder pathologische Prozesse am Schädel beschleunigt werden kann.

Ein guter Überblick über das gesamte Spektrum osteomorphognostischer und -metrischer Verfahren zur Altersbestimmung findet sich bei A. KEMKES-GROTTENTHALER.<sup>20</sup> Die beschränkte Auswahl einiger der gebräuchlichsten Methoden begründet sich in erster Linie mit der Fragestellung, ob und wenn ja welche Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Zahnzementmethode und denen konventioneller Altersbestimmungsmethoden existieren. Andere Methoden zur Altersbestimmung adulter Individuen, wie z.B. die Metamorphose der sternalen Rippenepiphysen,<sup>21</sup> konnten nicht zur Anwendung kommen, da die entsprechenden Skelettregionen im Schwetzingener Material nicht in ausreichendem Umfang erhalten sind.

## Ergebnisse

Bei der Auszählung der Wurzelquerschnitte fällt als erstes auf, dass die Spannweite der Zählwerte für einzelne Zähne unvermutete Dimensionen erreicht. Die maximale Spannweite innerhalb der gesamten Serie liegt für TCA-Probe 104 bei 34 Ringen.<sup>22</sup> Ausgehend von der Annahme, dass ein Ring einem Lebensjahr entspricht, würde das eine Schätzdifferenz von 34 Jahren bedeuten. In dieser Größenordnung handelt es sich zwar um eine Ausnahme, allerdings zeigt Abbildung 1, dass auch in anderen Fällen größere Abstände zwischen den gezählten Minimal- und Maximalwerten gefunden wurden. Über die gesamte Stichprobe hinweg liegt der errechnete Mittelwert der Spannweite bei 13,3 Ringen.

Die Frage, ob die Spannweite der Auszählungsergebnisse möglicherweise von der Zahnposition abhängt, d. h. evtl. die ersten Prämolaren des Unterkiefers (stets) eine höhere Variabilität der Ringzahl aufweisen, kann anhand des vorliegenden Materials nicht beantwortet werden, da von jedem Indivi-

Ringzählungen	Mittelwert
5	40
10	40
15	41
20	42
24	42

Tabelle 1 Veränderungen des Mittelwertes mit zunehmendem Umfang der Stichprobe 74 (Grab 140; n=109).

duum nur ein Zahn beprobt wurde. Ein solches Phänomen wurde allerdings bislang auch in keiner anderen Untersuchung festgestellt. Es muss demnach andere Ursachen geben.

Die teilweise erheblichen Spannweiten innerhalb einzelner Zählproben könnten, wenn man einen hormonellen Einfluss auf die Zementapposition postulieren möchte, z. B. mit dem Geschlecht des Individuums zusammenhängen. In der untersuchten Teilsérie liegt der Anteil der Frauen mit 55% über dem der Männer mit 40%. Die restlichen 5% der 109 untersuchten Personen konnten hinsichtlich ihres Geschlechts nicht näher bestimmt werden. Bei der Häufigkeit größerer oder kleinerer Spannweiten scheint jedoch dieser Faktor kaum eine Rolle zu spielen. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, präsentieren sich, neben der Gesamthäufigkeit der Spannweiten, die Verteilungen getrennt nach Männern, Frauen und unbestimmten Erwachsenen ähnlich. Man erkennt eine – sowohl bei

20 A. KEMKES-GROTTENTHALER, Kritischer Vergleich osteomorphognostischer Verfahren zur Lebensaltersbestimmung Erwachsener (Diss. Mainz 1993).

21 M. Y. ISCAN/S. R. LOTH/R. K. WRIGHT, Metamorphosis at the sternal rip. A new method to estimate age at death in males. *Am. Journal Physical Anthr.* 65, 1984, 147–156.

22 TCA-Probe 104 stammt aus Grab Nr. 200.

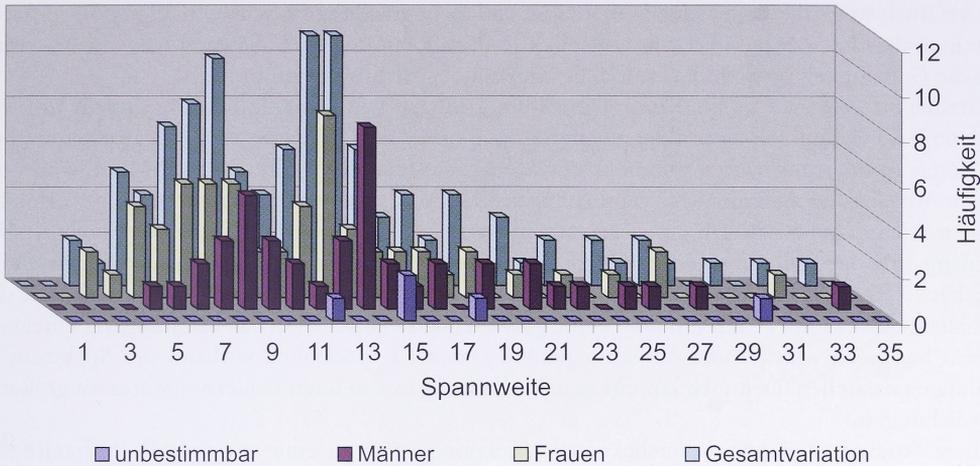
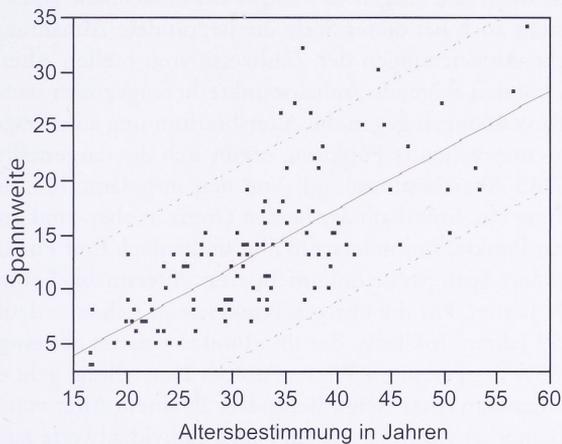


Abb. 1 Häufigkeit der Spannweite (gesamt und differenziert nach Geschlechtern).

Abb. 2 Abhängigkeit der Spannweite vom Sterbealter ( $n = 109$ );  
Spannweite =  $-4,204137 + 0,5407185$  Altersbestimmung.

Männern als auch bei Frauen ungefähr gleich besetzte – nach links verschobene Normalverteilung. Die arithmetischen Mittelwerte differieren mit rund 14,3 Ringen für Männer und 12,3 Ringen für Frauen nur geringfügig voneinander, und die Standardabweichungen beider Gruppen sind einander sehr ähnlich (Männer 6,33; Frauen 6,45). Demnach kann keines der beiden Geschlechter für die Extremwerte verantwortlich gemacht werden, die eine Schiefe der Normalverteilung bewirken. Ein weiterer potenzieller Unsicherheitsfaktor ist die Auszählung selbst. Gerade bei älteren Individuen mit einer größeren Anzahl von Ringen steigt das Risiko eines Zählfehlers. Die hier vorliegenden Ergebnisse entstanden durch dreimaliges Abzählen ein und derselben Position. Zudem wurden – sofern die Qualität des Präparats dies erlaubte – von jedem Zahn fünf Schnitte hergestellt, die jeweils an fünf verschiedenen Stellen gezählt wurden. Die Zahl der am Mikroskop ausgezählten Positionen pro Zahn betrug also bis zu 25, die minimale im konkreten Fall sieben. Im Durchschnitt konnten pro Zahn 18 Zählungen durchgeführt werden. Ob die Anzahl der Zählungen allerdings tatsächlich von großer Bedeutung ist, soll am Beispiel der Zählwerte aus TCA-Probe 74 (Grab 140) verdeutlicht werden:

Die Gesamtzahl der Ringzählungen beträgt 24 bei 5 Schnitten mit einem errechneten Mittelwert von 42 Ringen. Tabelle 1 zeigt, wie sich der Mittelwert mit zunehmender Anzahl der Zählungen

ändert. Auch wenn die Unterschiede in diesem Fall nicht gravierend erscheinen, bleibt die Tatsache bestehen, dass überhaupt welche festzustellen sind. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Genauigkeit proportional mit dem Umfang der Stichprobe zunimmt.

Zusätzlich erfolgte eine zweite Kontrollauszählung anhand von Digitalbildern. In diesem Fall wurden von jeder Zahnprobe vier Bilder angefertigt, die später am Computer weiter bearbeitet wurden. Bei deren Auswertung wurde nunmehr der Median anstelle des arithmetischen Mittelwertes der beiden Auszählungen miteinander verglichen, da dieser nach mathematischen Erfahrungswerten bei kleinen Stichprobenumfängen einen genaueren statistischen Vergleich erlaubt. Das Ergebnis: Nur in knapp 16% der Fälle differiert der Median um mehr als fünf Ringe. Die maximale Abweichung liegt bei 13 Ringen, die minimale rein rechnerisch bei weniger als einem Ring. Demnach lässt sich festhalten, dass bei der ersten Zählung keine gravierenden Fehler bei der Beurteilung der einzelnen Proben begangen wurden und die vorliegenden Daten ein tatsächlich vorhandenes Spektrum an Zählungen darstellen. Dennoch kommt es in Verbindung mit anderen Fehlern offenbar zu größeren Abweichungen.

Frühere Studien an Zähnen altersbekannter Individuen zeigten eine ansteigende Differenz zwischen dem Ergebnis der TCA und dem tatsächlichen Sterbealter mit zunehmendem Alter auf.<sup>23</sup> Als Erklärung dafür werden eine Reihe biologischer Faktoren angeführt. Das vorliegende Material kann einer solchen Prüfung nicht unterzogen werden, da das tatsächliche Alter der Individuen nicht bekannt ist. Dennoch besteht auch bei dieser Serie die begründete Annahme, dass das Sterbealter einen Einfluss auf mögliche Abweichungen der Zählwerte vom realen Alter haben könnte. Um diese Aussage zu stützen, können folgende Anhaltspunkte herangezogen werden: In Abbildung 2 wird die Spannweite der Auszählungen gegen die Altersbestimmung aufgetragen. Erstellt man eine den vorliegenden Werten entsprechende Funktion, ergibt sich die dargestellte Gerade (Spannweite =  $-4,204137 + 0,5407185$  Altersbestimmung). Von den insgesamt 109 einbezogenen Werten flossen alle in die Berechnung ein. Innerhalb der beiden Grenzen ober- und unterhalb der Geraden liegen 95% der verfügbaren Punkte. Besonders auffällig sind jedoch fünf Punkte, die jenseits dieser Grenze liegen und eine größere Spannweite dokumentieren. Altersmäßig befinden sie sich in einem Raum zwischen 35 und 44 Jahren. Für die übrigen Punkte zeigt sich eine deutliche Konzentration in dem Abschnitt von 5–39 Jahren. Inklusiv der drei Punkte jenseits der eingezeichneten Grenze handelt es sich dabei um 85% der gesamten Werte. Aus der Darstellung geht ebenfalls hervor, dass die Spannweite mit zunehmendem Alter steigt. Besonders ab einem Alter von 35 Jahren scheint sie markant anzuschwellen. Bemerkenswerterweise sind auch Individualwerte zu erkennen, die dieser Beobachtung nicht entsprechen. Sie zeigen teilweise sogar eine geringere Spannweite auf als bei Individuen, die jünger als 35 Jahre sind: z. B. der Wert von TCA-Probe 22 (Alter 37, Spannweite 9). Dennoch gibt sich ein prinzipieller Trend zu erkennen, der für eine Zunahme der Spannweite mit zunehmendem Alter spricht.

Bei der Interpretation der Daten muss jedoch beachtet werden, dass es sich bei den Werten der Altersbestimmung um die Summe aus dem Mittelwert der Auszählungen und dem Mittelwert der für die jeweiligen Zähne aus der Literatur entnommenen Durchbruchsalter handelt. Beide Werte beinhalten also schon von sich aus eine gewisse Fehlerspanne. Um deren Einfluss so weit wie möglich zu minimieren, soll nun die Abhängigkeit von Spannweite und Alter durch zwei andere Wertegruppen überprüft werden. Dabei wird neben dem Mittelwert der Auszählung die errechnete Standardabweichung des Mittelwerts verwendet. Es zeigt sich, dass eine logarithmische Funktion die Streuung der Werte am besten erklären kann (Abb. 3). Das Resultat ist ein ähnliches Bild wie bei Abbildung 2, eine Konzentration der Werte im unteren und mittleren Bereich der X-Achse sowie eine sukzessive höhere Standardabweichung. Auffällig ist die gleichermaßen zunehmende Abweichung der Werte von der Funktionsgleichung ( $\text{Log}[\text{Standardabweichung}] = 0,2894794 + 0,0410627 \times \text{Mittelwert der}$

23 S. PILLOUD, Lässt sich mittels der Altersbestimmung anhand des Zahnzements auch bei älteren Individuen ein signifikanter Zusammenhang zwischen histologischem und reellem Alter finden? *Anthr. Anz.* 62, 2004, 231–239.

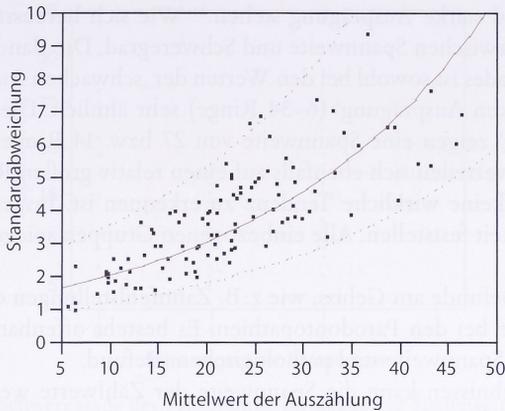


Abb. 3 Zunehmende Standardabweichung mit steigendem Mittelwert ( $n=109$ );  
 $\text{Log}(\text{Standardabweichung}) = 0,2894794 + 0,0410627 \text{ Mittelwert der Auszählung}$ .

Auszählung) mit steigendem Mittelwert. Während die Grenzen der Konfidenzintervalle bei einem Mittelwert von fünf nur um etwa einen Wert der Standardabweichung von der Funktionsgleichung entfernt liegen, beträgt der Abstand bei einem Mittelwert von 35 das Drei- bis Vierfache, mit weiterhin steigender Tendenz. Auffällig ist ebenfalls, dass die Konfidenzintervalle einen unterschiedlich großen Raum abdecken. Mit zunehmendem Mittelwert klaffen die Grenzen weiter auseinander, die Standardabweichung wächst also parallel zum Mittelwert.

Aus diesen Ergebnissen können zwei Schlüsse gezogen werden. Sowohl in Abbildung 2 als auch in Abbildung 3 zeichnet sich eine Zunahme der Abweichung bei steigendem Alter bzw. Mittelwert ab. Diese Zunahme ist allerdings nicht konstant, sondern wird durch Fälle niedrigerer Spannweite oder Standardabweichung destabilisiert. Als Resultat lässt sich daher festhalten, dass Zementapositionen mit dem Alter immer variabler werden, was sowohl einen genauen als auch einen ungenauen Mittelwert bzw. eine exakte oder auch weniger exakte Sterbealtersbestimmung bedeuten kann. Welche Faktoren im Detail für diese Variabilität verantwortlich sind, kann anhand der vorliegenden Untersuchung nicht beantwortet werden.

Hinsichtlich der Zahnpathologien wurde besonders auf Parodontose/itis und vorhandene Zahnfehlstellungen geachtet. Es zeigt sich, dass Parodontopathien innerhalb des Materials weit verbreitet sind. Nur bei sechs Individuen (5,5% der einbezogenen Kieferreste) konnten keine entsprechenden Anhaltspunkte gefunden und in sieben Fällen (6,4%) aufgrund schlechter Erhaltung keine Aussage gemacht werden. Alle anderen Individuen litten unter Parodontose/itis in mehr oder weniger starker Ausprägung. Der Schweregrad war abhängig von der Ausbreitung der Krankheit. Zeigten sich erste Anzeichen oder war nur das erste Drittel der Wurzel sichtbar, galt dies als ‚schwache Ausprägung‘. War das zweite Drittel der Wurzel sichtbar, wurde dies als ‚mittelstarke Ausprägung‘ gewertet, während Formen, die darüber hinaus gingen als ‚starke Ausprägung‘ aufgenommen wurden. Als ‚unbestimmbar‘ galten isoliert aufgefundene Zähne ohne zugehörigen Kiefer oder Kiefer in schlechtem Erhaltungszustand.

Der weitaus größte Teil des Materials (56,9%) weist nur schwache Hinweise auf Parodontopathien auf. Zusammen mit den Zähnen ohne Spuren von Zahnfleischschwund machen sie einen Anteil von 62,4% der gesamten Serie aus. Von den übrigen 31,2% mit positivem Befund zeigen lediglich 1,8% eine weit fortgeschrittene Form. Bei 6,4% konnte keine Aussage über den Schweregrad getroffen werden.

Um zu überprüfen, ob zwischen Parodontose/itis und der Spannweite der Zählungen ein Zusammenhang besteht, werden beide Parameter in einem Diagramm zusammengeführt (Abb. 4). 0 entspricht dabei der Gruppe von Individuen ohne Befund, während 1 bis 3 stellvertretend für eine

schwache, mittelstarke und starke Ausprägung stehen.<sup>24</sup> Wie sich herausstellt, gibt es keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Spannweite und Schweregrad. Die Bandbreite der Spannweiten innerhalb eines Schweregrades ist sowohl bei den Werten der ‚schwachen Ausprägung‘ (3–32 Ringe) und denen der ‚mittelstarken Ausprägung‘ (6–34 Ringe) sehr ähnlich. Die beiden Individuen mit einer ‚starken Ausprägung‘ zeigen eine Spannweite von 27 bzw. 14 Ringen. Die Werte der sechs Individuen ‚ohne Befund‘ verteilen sich ebenfalls auf einen relativ großen Raum (Spannweite 7–30 Ringe), so dass auch hier keine wirkliche Tendenz zu erkennen ist. Insgesamt gesehen, lässt sich demnach keine Abhängigkeit feststellen. Alle einbezogenen Gruppen spiegeln eine große Variation wider.

Hinsichtlich der übrigen Befunde am Gebiss, wie z.B. Zahnfehlstellungen oder Gebissanomalien,<sup>25</sup> verhält es sich ähnlich wie bei den Parodontopathien. Es besteht offenbar keine Korrelation zwischen großer oder kleiner Spannweite und pathologischem Befund.

Nach den bisherigen Ergebnissen kann die Spannweite der Zählwerte weder auf zahnspezifische Variabilitäten oder das Geschlecht noch auf pathologische Veränderungen oder simple Zählfehler zurückgeführt werden. Keiner dieser Faktoren scheint alleine für die teilweise erheblichen Schwankungen verantwortlich zu sein. Lediglich beim Sterbealter konnte eine Korrelation mit der Spannweite nachgewiesen werden. Möglicherweise handelt es sich um das kumulative Produkt aller Faktoren, die in ihrer Gesamtheit eine solche Spannweite ergeben. Vielleicht müssen aber auch Gründe dafür verantwortlich gemacht werden, die bisher noch nicht weiter untersucht wurden. In Betracht kämen z.B. eine genetische Komponente oder ein exogener Reiz, wie Ernährung oder jahreszeitliche Rhythmen, die die Ausbildung der Zementringe steuert.

Tatsache ist, dass der eigentliche Taktgeber für die (kontinuierlich) zunehmende, (zirka)annuale Anlagerung von Zahnzement mit steigendem Lebensalter bis heute noch nicht eindeutig identifiziert werden konnte. Das Phänomen additiver Ringbildung durch Zementapposition mit fortschreitendem Alter besteht. Bestehend bleibt ebenso die Erkenntnis, dass in jedem Alter eine gewisse Spannweite existiert. Dies wirft die Frage auf, ob die bisher angenommene Genauigkeit der Zahnzementannulation als Abbild des chronologischen Alters tatsächlich in dieser Form existiert oder ob die bei der Altersdiagnose pauschal angegebene Fehlerspanne des Zahndurchbruchs nicht zumindest um die bei der Berechnung des Mittelwerts aus den Ergebnissen der Einzelauszählungen einer Probe entstandene Standardabweichung ergänzt werden müsste.<sup>26</sup>

## Die TCA im Vergleich mit konventionellen Verfahren

Bei einer Gegenüberstellung der Altersdiagnosen, die sich aus den angewandten Methoden ergeben, zeigen sich z.T. erhebliche Differenzen zwischen den einzelnen Verfahren, sowohl im Vergleich der gängigen Ansätze untereinander als auch in Relation zur Zahnzementannulation (Abb. 5). Besonders anschaulich wird dies durch die Anordnung der Proben der TCA nach ansteigendem Alter. Vergleicht man die Einzelwerte der Altersangabe der Zahnzementannulation, stimmen bei keiner anderen Methode mehr als 9% der Ergebnisse direkt überein. Bei der kombinierten Methode liegt dieser Anteil bei 0%. Alle morphognostischen Verfahren ergeben im Durchschnitt ein höheres Alter als bei der TCA. Basierend auf der Nahtobliteration und der Zahnkronenabrasion betrifft das knapp

24 Die Gruppe von Zähnen, bei der keine Aussage über den Schweregrad möglich war (6,4%), wurde nicht in die Abbildung mit aufgenommen, weil sie keine verwertbaren Ergebnisse lieferte.

25 Unter dem Begriff ‚Zahnfehlstellungen‘ fallen alle Phänomene wie Drehstellung, Engstand, Kippung, Kulissenstellung usw., während unter dem Begriff ‚Gebissanomalien‘ Befunde wie zum Beispiel Kopfbiss, Hochbiss, Überbiss und alveolare Prognathie zusammengefasst sind.

26 Ein weiteres Problem stellen die Erosionsdefekte dar, die keine pathologische Ursache haben, sondern während der Liegezeit der Skelettreste entstanden sein und ebenso zum Verlust einer unbestimmten Anzahl äußerer Zementringe führen können. Es stellt sich zwangsläufig die Frage, ob bei bodengelagerten Zähnen in jedem Fall tatsächlich die ursprünglich vorhandene (= maximale) Ringzahl überliefert ist.

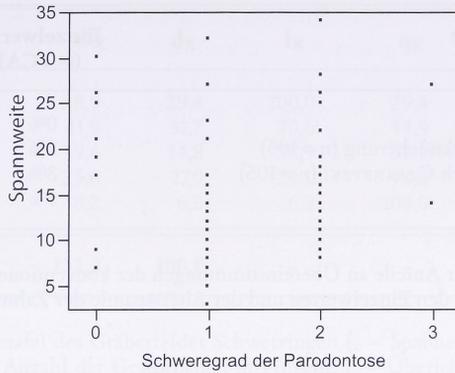


Abb. 4 Verteilung der Schweregrade der Parodontose im Bezug zur Spannweite der Zählungen (0 = keine Parodontose; 1 = schwache Ausprägung; 2 = mittelstarke Ausprägung; 3 = starke Ausprägung; n=102).

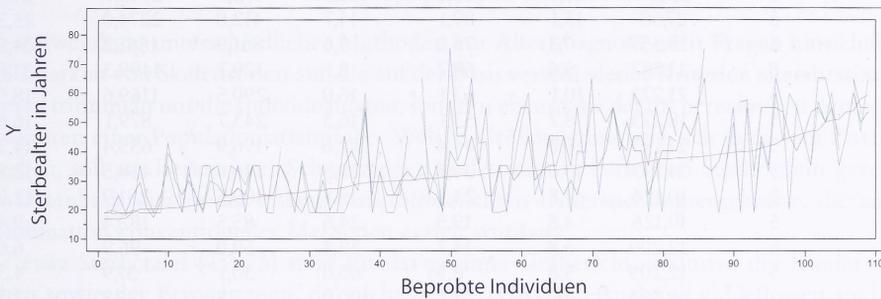


Abb. 5 Abweichung der Ergebnisse morphognostischen Altersbestimmungen von denen der TCA. Rot = TCA; blau = Schädelnahtverknöcherung nach CZARNETZKI; hellgrün = Schädelnahtverknöcherung; dunkelgrün = Zahnkronenabrasion; graue Punkte = kombinierte Methode (n=109).

zwei Drittel der Werte, für die kombinierte Methode sogar 90% aller Altersangaben. Hinsichtlich der beiden Methoden, die auf der Verwachsung der Schädelnähte beruhen, lassen sich die festgestellten Unterschiede, abhängig von der Spanne der Abweichung zur TCA, grob in drei Abschnitte gliedern. Insgesamt reichen die Diskrepanzen bei der Bestimmung des Sterbealters zwischen der Zahnzementannulation und den anderen Verfahren von durchschnittlich sechs Jahren (TCA : Zahnkronenabrasion) bis zu 18 Jahren (TCA : kombinierte Methode).

Da es sich bei der Altersangabe aufgrund der TCA im Grunde ebenfalls um eine Zeitspanne von fünf Jahren und nicht um einen jahrgenaue Einzelwert handelt, zeigt ein erneuter Vergleich ein verändertes Bild. Der Anteil an Mittelwerten, die innerhalb dieser Spanne liegen, wächst bei allen konventionell ermittelten Daten um ein Vielfaches (Tab. 2). Die geringste Quote an Übereinstimmungen ergibt sich zur kombinierten Methode (12%), die größte für die Zahnkronenabrasion mit immerhin 63%. Die Nahtbefunde liegen mit 33% bzw. 39% (d.h. Abweichungen von 67% bzw. 61%) im Mittelfeld. Für die vorliegende Stichprobe lässt sich damit am ehesten eine Korrelation zwischen der TCA und der Zahnkronenabrasion feststellen.

Die ermittelten Größenordnungen könnten zumindest für die Altersdiagnose zeitlich und räumlich vergleichbarer Serien zur Berechnung von ‚Korrekturfaktoren‘ herangezogen werden. Eine endgültige Wertung der Stimmigkeit, d.h. welche der verwendeten Methoden letztlich die genaueste ist, muss offen bleiben, da das tatsächliche Sterbealter der Schwetzinger nicht bekannt ist.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Eine groß angelegte Studie mit vergleichbarer Fragestellung wurde vor Jahren an der frühmittelalterlichen Skelettserie aus dem Gräberfeld von Lauchheim ‚Wasserfurche‘ durchgeführt. Die Ergebnisse sind bislang noch nicht im Detail veröffentlicht.

Altersbestimmungsmethode	Einzelwerte (= TCA)	Alterspanne (= TCA)
Kombinierte Methode (n=34)	0%	12%
Konventionelle Schädelnahtverknöcherung (n=105)	2%	39%
Schädelnahtverknöcherung nach CZARNETZKI (n=105)	3%	33%
Zahnkronenabrasion (n=107)	9%	63%

Tabelle 2 Zusammenfassung der Anteile an Übereinstimmungen der konventionellen Altersbestimmungsmethoden im Vergleich zu den Einzelwerten und der Altersspanne der Zahnzementannulation.

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
0-4	5	23	10,9	100,0	10,9	472,7	2746,7	27,5
5-9	5	27,58	13,1	89,1	14,7	412,8	2274,0	25,5
10-14	5	15,357	7,3	76,0	9,6	361,9	1861,2	24,5
15-19	5	11,787	5,6	68,7	8,1	329,7	1499,3	21,8
20-24	5	21,273	10,1	63,1	16,0	290,5	1169,6	18,5
25-29	5	18,273	8,7	53,1	16,3	243,7	879,1	16,6
30-34	5	21,193	10,0	44,4	22,6	196,9	635,4	14,3
35-39	5	21,193	10,0	34,3	29,3	146,6	438,5	12,8
40-44	5	10,126	4,8	24,3	19,8	109,5	291,9	12,0
45-49	5	10,126	4,8	19,5	24,6	85,5	182,4	9,4
50-54	5	12,209	5,8	14,7	39,4	59,0	96,9	6,6
55-59	5	12,209	5,8	8,9	65,0	30,1	37,9	4,3
60-x		6,584	3,1	3,1	100,0	7,8	7,8	2,5
<b>Gesamt</b>	-	<b>210,9</b>	<b>80,5</b>	-	-	<b>2564,3</b>	-	-

Tabelle 3 Sterbetafel des Gräberfeldes Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
20-29	10	2,3	6,9	100,0	6,9	965,7	3219,9	32,2
30-39	10	5,6	16,4	93,1	17,6	849,2	2254,3	24,2
40-49	10	7,4	21,8	76,7	28,4	658,0	1405,1	18,3
50-59	10	7,7	22,6	54,9	41,1	436,2	747,1	13,6
60-69	10	6,6	19,4	32,3	59,9	226,6	310,9	9,6
70-79	10	3,7	11,0	13,0	85,0	74,6	84,3	6,5
80-x		0,7	1,9	1,9	100,0	9,7	9,7	5,0
<b>Gesamt</b>	-	<b>33,9</b>	<b>100,0</b>	-	-	<b>3219,9</b>	-	-

Tabelle 4 Gekürzte Sterbetafel, aufgestellt nach den Ergebnissen der kombinierten Methode für das Gräberfeld von Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
20-29	10	38,9	29,4	100,0	29,4	852,9	1897,1	19,0
30-39	10	41,9	31,7	70,6	44,9	547,3	1044,3	14,8
40-49	10	19,6	14,8	38,9	38,1	314,7	497,0	12,8
50-59	10	23,6	17,9	24,1	74,2	151,3	182,3	7,6
60-x		8,2	6,2	6,2	100,0	31,0	31,0	5,0
<b>Gesamt</b>	-	<b>132,2</b>	<b>100,0</b>	-	-	<b>1897,1</b>	-	-

Tabelle 5 Gekürzte Sterbetafel des Gräberfeldes Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

### Demographische Bedeutung

Die Anwendung unterschiedlicher Methoden zur Altersdiagnose wirft Fragen hinsichtlich der Vergleichbarkeit von Skelettserien auf, die auf der Basis verschiedener Kriterien altersbestimmt wurden. Dies betrifft nicht nur die Individualdaten, sondern ebenso die daraus berechneten demographischen Strukturen einer Populationsstichprobe. Welche Größenordnungen sich in diesem Zusammenhang ergeben, soll am Beispiel der Schwetzingener Skelettserie in Form von Sterbetafeln gezeigt werden. Als Datenbasis dienen die bislang unveröffentlichten Untersuchungsergebnisse, die anhand einer Kombination konventioneller Methoden erzielt wurden.

Die erste Sterbetafel (Tab. 3) steht für das gesamte Gräberfeld, inklusive der Kinder und Jugendlichen sowie der Erwachsenen, die nicht in die TCA-Untersuchung eingeflossen sind. Insgesamt konnten 211 Individuen berücksichtigt werden. Demnach lag die durchschnittliche Lebenserwartung der Menschen bei 27,5 Jahren, die Säuglingssterblichkeit in den ersten vier Jahren bei ca. 11% und die Kindersterblichkeit in den ersten zehn Jahren bei insgesamt 24,1%. 3,1% der Individuen erreichten ein Alter jenseits der 60.

Ab der Zeitstufe ‚spät matur‘ wird die Diagnose problematisch, da die meisten Altersbestimmungsmethoden keine zuverlässigen Daten mehr liefern können. Zudem steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Differenz zwischen chronologischem und biologischem Alter größer wird. Hier könnte die Methode der Zahnzementannulation neue Antworten liefern. Das Sterbealter seniler Individuen müsste exakter bestimmt werden können, sofern noch intakte Zähne vorliegen. Auch wenn die Ungenauigkeit der TCA mit zunehmendem Alter steigt, bleibt prinzipiell das Potential bestehen, überhaupt ein Alter angeben zu können. Innerhalb der Sterbetafel wird dadurch die Auflösung weiter erhöht, da ältere Individuen nicht mehr über mehrere Altersklassen verteilt werden müssen.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse dargestellt, die alleine auf der kombinierten Methode beruhen. Zunächst fällt der kleine Stichprobenumfang (n = 34) auf, da nur ein kleinerer Prozentsatz der Skelette den notwendigen Erhaltungszustand aufweist. Es fragt sich, ob diese die gesamte Population hinreichend repräsentieren. Bemerkenswert ist weiterhin die Verschiebung der Alterskurve in den Bereich der 40-49-jährigen bzw. der 50-59-jährigen im Vergleich zu Tabelle 3. Dort sind allerdings auch die Nichterwachsenen enthalten. Wird das Gesamtkontingent auf die Erwachsenen reduziert, bleiben die genannten Unterschiede dennoch erhalten (Tab. 5). Die durchschnittliche Lebenserwartung für ‚frühadulte‘ Individuen liegt bei 19 Jahren, im Gegensatz zu 32,2 Jahren, die anhand der kombinierten Methode errechnet wurden. Das verzerrte Bild auf der Basis der kombinierten Methode dürfte somit v. a. auf den geringen Umfang an Daten zurückgehen.

Bezogen auf die für die TCA geeignete Teilserie (109) konnte an 96% (105) des untersuchten Materials auch eine Altersbestimmung anhand der Obliteration der Schädelnähte durchgeführt werden. Für den unmittelbaren Vergleich fließen wiederum nur die Erwachsenen in die Sterbetafel ein (s. Tab. 6). Die durchschnittliche Lebenserwartung mit Eintritt ins ‚frühadulte‘ Stadium beträgt

23,9 Jahre. Laut Berechnung starben 14% der Erwachsenen innerhalb dieses Zeitraums. Im Gegensatz zur kombinierten Methode finden sich die meisten Sterbefälle innerhalb der ‚spätadulten‘ Phase (30,6%), d. h. im Alter zwischen 30 und 39 Jahren. In den folgenden Altersstufen nimmt der Anteil mehr oder weniger kontinuierlich ab. Eine annähernd differenzierte Altersbestimmung erscheint bestenfalls bis Ende 60 möglich, darüber hinaus sind alle Individuen in einer Gruppe zusammengefasst.

Ebenso wie bei der konventionellen Nahtobliteration konnten durch die Verwachsung der Schädelnähte nach CZARNETZKI 96% des Umfangs der TCA-Stichprobe altersbestimmt werden. Erneut werden ausschließlich die Erwachsenen berücksichtigt (Tab. 7). Die Gesamtzahl der Individuen in der Sterbetafel beträgt hier 83,8. Der Unterschied zwischen beiden Methoden zur Nahtverknöcherungen erklärt sich durch die jeweils zugrunde liegenden unterschiedlichen Parameter sowie die daraus resultierende Gewichtung auf die Altersklassen ‚spätjuvenil‘ und ‚frühadult‘. Nach dem ersten Anschein zeigen sich zwischen beiden Sterbetafeln (Tab. 6 u. 7) große Ähnlichkeiten. Die für die einzelnen Altersgruppen berechneten Lebenserwartungen stimmen mit Abweichungen von maximal 0,8 Jahren in hohem Maße überein. Der Anteil der Gestorbenen in der Altersspanne der 40–49-jährigen liegt jedoch annähernd gleichhoch wie bei den 50–59-jährigen (21,1% vs. 20,5%), während die konventionelle Obliteration eine Abnahme aufzeigt. Die modifizierte Methode nach CZARNETZKI erfasst also offensichtlich einen höheren Anteil an ‚spätmaturen‘ Individuen.

Die Ähnlichkeiten der Ergebnisse von Zahnzementannulation und Zahnkronenabrasion sind bereits angesprochen worden (Abb. 5). Inwieweit sich diese auf die Sterbetafel und Alterskurve auswirken, zeigt Tabelle 8. 107 Proben lieferten Daten für eine Altersbestimmung anhand der Zahnkronenabrasion. Das entspricht einem Anteil von 98% am Gesamtumfang der TCA-Serie. Der Anteil an Erwachsenen liegt bei 91% (97,6 Individuen). Auffällig ist vorab das Fehlen von Personen mit einem Sterbealter von 70 oder mehr Jahren, da Abrasionsschemata für eine Differenzierung innerhalb der senilen Altersgruppe fehlen und aufgrund der vorgenannten Kriterien auch wenig sinnvoll sind. Bei der Lebenserwartung kommt es im Vergleich zur Obliteration zu einer Verschiebung der Altersstufen. Ursache dafür dürfte das Fehlen von ‚spätsenilen‘ Individuen sein. Ähnlich wie bei der modifizierten Nahtverknöcherung liegt das Maximum der Sterbedaten im Bereich der ‚spätadulten‘ Altersstufe.

Die Überlegung, die der Erstellung der Sterbetafeln zugrunde liegt, ist die Hypothese, dass die Zahnzementannulation in der Lage ist, das Sterbealter exakter fassen zu können. Dies hätte zur Folge, dass man bei der Erstellung einer Sterbetafel mit konkreten Altersangaben arbeiten könnte, anstelle – wie bisher – mit gewichteten, die sich häufig auch noch über mehrere Altersklassen verteilen. So ließen sich einerseits die ‚senilen‘ Individuen besser differenzieren und andererseits so genannte virtuelle Senile, die sich z. B. durch Bestimmungen wie ‚matur oder älter‘ ergeben, vermeiden. Dennoch muss im Auge behalten werden, dass auch bei der TCA eine Zeitspanne und nicht ein jahrgenauer Einzelwert ermittelt wird. Die Ergebnisse der Untersuchung mittels TCA sind in Tabelle 9 aufgeführt. Besonders hervorzuheben ist, dass keine Individuen der Altersstufen 60–69 bzw. 70–x vertreten sind, während sich ca. 47% der Werte im Bereich der 30–39-jährigen konzentrieren. Die Sterbewahrscheinlichkeit innerhalb dieses Alterssegments steigt damit auf 73%. Die entsprechenden Vergleichswerte für die anderen Methoden liegen zwischen 17,6% und 49,8%. Auf dieses Maximum folgt bei der TCA ein steiler Abfall der Alterskurve. Nur etwas mehr als 18% der Werte verteilen sich noch auf die beiden letzten Altersstufen (11,5% auf die 40–49-jährigen und 6,7% auf die 50–59-jährigen). Inwieweit der immense Prozentsatz ‚spätadulter‘ und das absolute Fehlen ‚seniler‘ Individuen tatsächlich die Realität widerspiegelt, darüber kann nur spekuliert werden. Die Datenbasis erscheint – nach heutigem Forschungsstand methodisch betrachtet – zwar am genauesten, das Ergebnis jedoch zumindest diskussionswürdig. Auch wenn es prinzipiell vorstellbar wäre, dass vielleicht aufgrund einer Epidemie oder einer kriegerischen Auseinandersetzung ein größerer Anteil einer bestimmten Altersgruppe zu Tode gekommen sein könnte.

In Abbildung 6 sind zum besseren Vergleich alle relativen Anteile der Gestorbenen in Prozent (d.) der zuvor vorgestellten Sterbetafeln in einem Diagramm abgebildet. Bei der Betrachtung der

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
20-29	10	10,6	14,0	100,0	14,0	929,8	2390,1	23,9
30-39	10	23,1	30,6	86,0	35,6	706,6	1460,3	17,0
40-49	10	18,1	24,0	55,4	43,3	433,8	753,6	13,6
50-59	10	13,2	17,5	31,4	55,7	226,5	319,9	10,2
60-69	10	8,7	11,5	13,9	82,9	81,5	93,4	6,7
70-x		1,8	2,4	2,4	100,0	11,9	11,9	5,0
<b>Gesamt</b>	-	<b>75,5</b>	<b>100,0</b>	-	-	<b>2390,1</b>	-	-

Tabelle 6 Gekürzte Sterbetafel, aufgestellt nach den Ergebnissen der konventionellen Schädelnahtverknöcherung für das Gräberfeld von Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
20-29	10	14,5	17,3	100,0	17,3	913,5	2311,5	23,1
30-39	10	25,0	29,8	82,7	36,1	677,8	1398,0	16,9
40-49	10	17,7	21,1	52,9	40,0	423,0	720,2	13,6
50-59	10	17,2	20,5	31,7	64,7	214,8	297,1	9,4
60-69	10	7,2	8,6	11,2	76,6	69,2	82,3	7,3
70-x		2,2	2,6	2,6	100,0	13,1	13,1	5,0
<b>Gesamt</b>	-	<b>83,8</b>	<b>100,0</b>	-	-	<b>2311,5</b>	-	-

Tabelle 7 Gekürzte Sterbetafel, aufgestellt nach den Ergebnissen der Schädelnahtverknöcherung nach CZARNETZKI für das Gräberfeld von Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
20-29	10	31,6	32,4	100,0	32,4	838,1	1692,6	16,9
30-39	10	32,9	33,7	67,6	49,8	507,7	854,5	12,6
40-49	10	17,3	17,7	33,9	52,3	250,5	346,8	10,2
50-59	10	14,3	14,7	16,2	90,5	88,6	96,3	5,9
60-69	10	1,5	1,5	1,5	100,0	7,7	7,7	5,0
70-x		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	-	<b>97,6</b>	<b>100,0</b>	-	-	<b>1692,6</b>	-	-

Tabelle 8 Gekürzte Sterbetafel, aufgestellt nach den Ergebnissen der Zahnkronenabrasion für das Gräberfeld von Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

Alter	a	D <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	L <sub>x</sub>	T <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
20-29	10	34,0	32,7	100,0	32,7	836,5	1423,1	14,2
30-39	10	51,0	49,0	67,3	72,9	427,9	586,5	8,7
40-49	10	12,0	11,5	18,3	63,2	125,0	158,7	8,7
50-59	10	7,0	6,7	6,7	100,0	33,7	33,7	5,0
60-69	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
70-x		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	-	<b>104,0</b>	<b>100,0</b>	-	-	<b>1423,1</b>	-	-

Tabelle 9 Gekürzte Sterbetafel, aufgestellt nach den Ergebnissen der Zahnzementannulation für das Gräberfeld von Schwetzingen (a = Spanne der Altersstufen; D<sub>x</sub> = Anzahl der Gestorbenen; d<sub>x</sub> = relative Anzahl der Gestorbenen in Prozent; l<sub>x</sub> = Überlebende in Prozent; q<sub>x</sub> = Sterbewahrscheinlichkeit in Prozent; L<sub>x</sub> = gelebte Jahre; T<sub>x</sub> = Summe der noch zu lebenden Jahre; e<sub>x</sub> = Lebenserwartung).

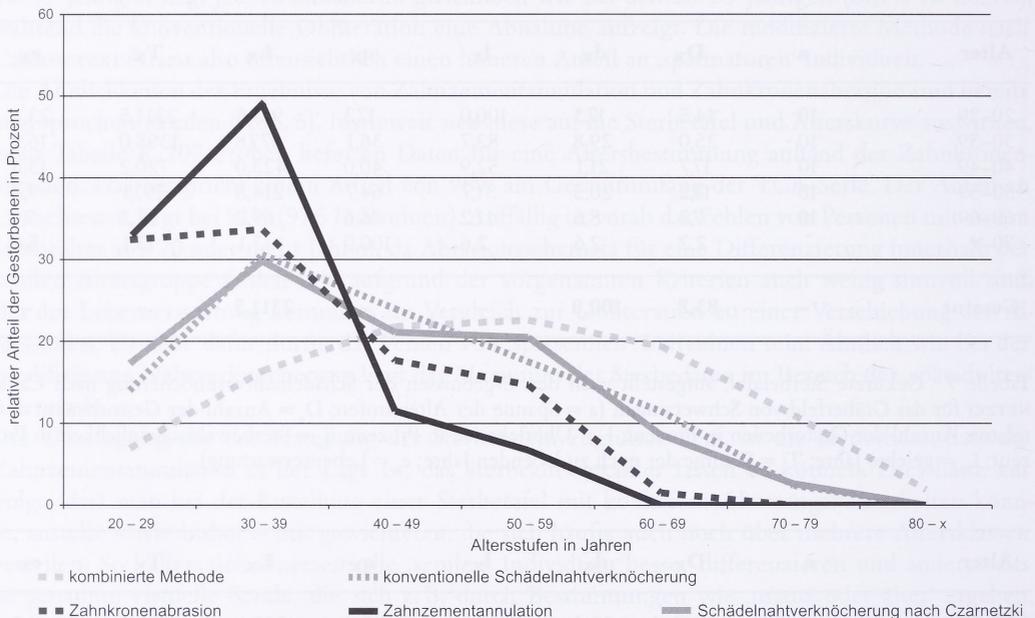


Abb. 6 Zusammenfassende Darstellung von d<sub>x</sub> (relativer Anteil der Gestorbenen in Prozent) aller Sterbetafeln.

Sterbetafeln und Verteilungskurven zeigt sich, dass insbesondere die Ergebnisse der kombinierten Methode weit von den Werten entfernt liegen, die durch die anderen Verfahren erbracht wurden. Allerdings basieren diese Berechnungen auf dem kleinsten Stichprobenumfang. Bei den übrigen Methoden kann im Bereich der ‚spätadulten‘ Altersstufe ein gemeinsames Maximum beobachtet werden, das jedoch durch einen unterschiedlichen Prozentsatz von Individuen repräsentiert wird. Bei der Zahnzementannulation endet die Alterskurve bei 59 Jahren, obwohl gerade durch diese Methode auch eindeutig ältere Individuen detektiert werden sollen, bei der Zahnkronenabrasion endet sie eine Altersstufe später. Bei den Methoden zur Schädelnahtverknöcherung ist auch die Altersstufe von 70-x belegt, und bei der kombinierten Methode muss die Sterbetafel sogar bis 80-x Jahre aufgestockt werden.

Alles in allem lässt sich anhand der vorliegenden Stichprobe darlegen, dass die morphognostischen Altersbestimmungsmethoden im Vergleich zur TCA eine (deutliche) Tendenz zu höheren Werten haben. Das könnte darin begründet liegen, dass sie aus methodischen Gründen einen größeren

Anteil virtueller älterer Individuen enthalten. Unter Umständen zeichnet sich an dieser Stelle aber auch der Unterschied zwischen annähernd chronologischem Alter (TCA) und biologischem Alter (konventionelle Methoden) ab. In diesem Zusammenhang darf aber nicht vergessen werden, dass zum Ergebnis der Zahnzementannulation noch die Standardabweichung der Zählwerte und die Fehlerspanne des Zahndurchbruchs gehören. Der Unterschied zwischen den Methoden ist bei einem Vergleich der Altersspannen nicht ganz so groß wie bei einem Vergleich der Einzelwerte. Es bleibt abzuwarten, ob auch andere Untersuchungen dieser Art ähnliche Resultate erbringen.

## Diskussion

Die vermeintlichen Vorteile der Sterbealtersbestimmung mit Hilfe der Zahnzementannulation gegenüber konventionellen morphognostischen Methoden sind klar definiert: Exaktere Altersdiagnose durch reproduzierbare Ergebnisse, Unabhängigkeit gegenüber Vergleichspopulationen und die Möglichkeit, das chronologische Alter zu bestimmen. Ein weiterer Vorteil liegt in der Stabilität der Zähne. Sie gehören zu den dauerhaftesten Bestandteilen des Skeletts und sind damit sehr häufig, unter ungünstigen Bedingungen manchmal ausschließlich, im archäologischen Material vertreten. Untersuchungen von B. GROSSKOPF,<sup>28</sup> P. KAGERER<sup>29</sup> und G. CAPLAZI<sup>30</sup> zeigten außerdem, dass die Anlagerungsprozesse im Bereich des Zahnzements resistent sind gegenüber einer Vielzahl von endo- und exogenen Einflüssen wie Tuberkulose, Schwankungen im Hormonspiegel, Leber- und Schilddrüsenerkrankungen, Mangelversorgung sowie Nahrungszusammensetzung oder Lebensraum. Diese Vorzüge charakterisieren die TCA offensichtlich zu einer revolutionären Methode bei der Bestimmung des Sterbealters.

Im Verlauf der vorliegenden Studie zeigte sich, dass die vermeintliche Genauigkeit nicht ganz so hoch zu sein scheint wie angenommen. Aus der Literatur ist eine Fehlerspanne für beschleunigten oder verzögerten Zahndurchbruch von etwa  $\pm 2,5$  Jahren dokumentiert. Damit liegt das ermittelte Sterbealter inmitten einer möglichen Zeitspanne von 5 Jahren – ausgehend von dem durch die TCA festgestellten Ergebnis. Gegenüber den konventionellen morphognostischen Methoden, die in der Regel mit Zehnjahresspannen gehandhabt werden, stellt dies immer noch eine entscheidende Verbesserung der Genauigkeit dar. Zusätzlich zu diesem Fünfjahresintervall muss allerdings noch ein weiterer Unsicherheitsfaktor berücksichtigt werden. Die Auswertung der Zählwerte der einzelnen Zahnproben erbrachte auch bei hoher Zählfrequenz an verschiedenen Schnitten desselben Zahns teilweise enorme Spannweiten. Um dennoch einen jahrgenaue Wert zu erhalten, bedienen sich die Anwender in der Regel zweier verschiedener Methoden. Entweder wird der am häufigsten auftretende Zählwert (Median) als wahrscheinlichstes Ergebnis ermittelt oder der arithmetische Mittelwert aus allen Einzelzählungen berechnet.<sup>31</sup> Im letzteren Fall ergibt sich durch die mathematische Prozedur eine Standardabweichung, die grundsätzlich zur später angegebenen Fehlerspanne, die sich bei der derzeit üblichen Handhabung der Methode alleine aus der Unsicherheit des Durchbruchalters ergibt, hinzugefügt werden müsste. Auf diese Weise entsteht eine individuelle Altersspanne, deren Breite aus der Summe von  $\pm 2,5$  Jahren und der Standardabweichung aus der Spannweite der Auszählungsergebnisse resultiert. Im konkreten Fall konnten so bei der Altersbestimmung des Materials aus Schwetzingen eine durchschnittliche Spanne von  $\pm 5,8$  Jahren und eine maximale Spanne von  $\pm 10,1$  Jahren (Grab 190) berechnet werden. Damit relativiert sich der Vorteil der TCA in ihrer

28 B. GROSSKOPF, Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement bodengelagerter, menschlicher Zähne. Zeitschr. Rechtsmed. 103, 1990, 351–359.

29 P. KAGERER, Die Zahnzementzuwachsringe. Stumme Zeugen oder dechiffrierbare Annalen in der Paläopathologie, Paläodemographie und Rechtsmedizin? (Diss. München 2000).

30 G. CAPLAZI, Untersuchung über die Auswirkungen von Tuberkulose auf Anlagerungsfrequenz und Beschaffenheit der Zementringe des menschlichen Zahnes (Diplomarbeit Zürich 2001).

31 In manchen Fällen werden vor der Berechnung des Durchschnittswerts zunächst noch die Extremwerte gestrichen.

Genauigkeit gegenüber konventionellen Methoden der Altersbestimmung.

Auch wenn das Untersuchungsgut keineswegs in allen Punkten statistischen Anforderungen genügt, konnte bei der im vorliegenden Rahmen möglichen Überprüfung von Faktoren wie Fehler bei der Auszählung, Geschlecht, Alter, Zahnpathologien und Zahnposition keine Ursache direkt für die variable Spannweite verantwortlich gemacht werden. Auch bei R. JANKAUSKAS et al.<sup>32</sup> wird eine variable und insbesondere höhere Spannweite bei älteren Individuen angegeben, ohne dass eine Begründung dafür gefunden wurde. Ein Auszählungsfehler wird allerdings ausgeschlossen.

Beim Vergleich der Ergebnisse der konventionellen, morphognostischen Methoden zur Altersbestimmung mit denen der Zahnzementannulation wurde deutlich, dass bei allen anderen Verfahren eine Tendenz zur Überschreitung der TCA-Werte zu beobachten ist. Der Grad dieser Tendenz ist abhängig von der Methode. Die Ergebnisse der kombinierten Methode weichen sehr viel stärker ab als die der Schädelnahtverknöcherung oder der Zahnkronenabrasion. Dies mag im vorliegenden Material in der kleinen Individuenzahl begründet liegen, die in die kombinierte Methode eingeflossen ist. Interessanterweise liegen die Ergebnisse der Altersdiagnosen auf der Basis der Zahnzementannulation und der Zahnkronenabrasion sehr dicht beieinander. Dies erstaunt umso mehr, als Letztere in der Regel als ausgesprochen variable und ungenaue Altersbestimmungsmethode gilt. Möglicherweise gibt sich hier ein Zusammenhang zwischen Abrasion und Zementapposition zu erkennen. Die mit zunehmendem Alter fortschreitende Anlagerung von azellulärem Fremdfaserelement könnte als Reaktion auf die sukzessive stärkere mechanische Beanspruchung der Zähne aufgefasst werden.

Ob es sich bei den beobachteten Tendenzen zur Über- und in einigen Fällen auch Unterschreitung des Schätzalters um die Differenzen zwischen biologischem und chronologischem Alter handelt, kann nach den vorliegenden Ergebnissen weder bestätigt noch verneint werden, da das tatsächliche Sterbealter der Betroffenen nicht bekannt ist.

So gesehen, könnte man annehmen, dass diese Untersuchung aufgrund des Mangels an Kontrollmöglichkeiten keine haltbaren Resultate zu liefern vermochte. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass weder in der Fragestellung noch bei der Auswertung der Daten im Vordergrund stand, das tatsächliche Alter der Schwetzinger festzustellen. Sie zielte vielmehr auf die Anwendung der TCA-Methode als solche und deren Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der konventionellen Verfahren zur Altersdiagnose. Es ging nicht darum, absolute (Alters-)Daten zu eruieren, sondern um die relative Vergleichbarkeit der Methoden untereinander.

Unbekannt ist immer noch, welche Faktoren für die Zementapposition im Bereich der Zahnwurzeln verantwortlich sind. Unbekannt ist ebenfalls, in welchem absoluten Zeitraum jeweils ein heller und ein dunkler Ring im steten Wechsel angelagert werden. Ohne den Taktgeber, d.h. den physiologischen Hintergrund, zu kennen, wird regelhaft ein Zeitraum von einem Jahr angenommen. Doch könnte es sich ebenso um etwas weniger oder etwas mehr als ein Jahr handeln. Die Auswirkungen eines solchen ‚zirka-annualen Rhythmus‘ zeigen sich auch beim Vergleich mit altersbekanntem Material erst im Laufe des Alterungsprozesses. Braucht der Zahn weniger als ein Jahr, um einen Ring anzulagern, erscheinen die Individuen älter als sie in Wirklichkeit sind bzw. waren. Dauert es länger als ein Jahr, erscheinen sie jünger.

Andere Arbeiten haben gezeigt, dass mit fortschreitendem Alter die Differenz zwischen dem Ergebnis der TCA und dem chronologischen Alter zunimmt.<sup>33</sup> Durch die vorliegenden Ergebnisse kann diese Aussage gestützt werden. Für die Spannweiten der Auszählungen ist mit zunehmendem Mittelwert und damit letztlich mit zunehmendem Sterbealter eine steigende Variabilität zu beobachten.<sup>34</sup> Dies kann sowohl eine größere als auch eine kleinere Spannweite bedeuten, welche wie-

32 R. JANKAUSKAS/S. BARAKAUSKAS/R. BOJARUN, Incremental lines of dental cementum in biological age estimation. *Homo* 52, 2001, 59-71.

33 PILLOUD (Anm. 23).

34 JANKAUSKAS et al. (Anm. 32).

derum verantwortlich für den Umfang der Abweichung des Endergebnisses ist. Hierin findet sich womöglich ein Zeichen für die Differenz zwischen chronologischem und biologischem Alter. Unbestreitbare Vorteile der TCA sind die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sowie die nach bisherigen Erkenntnissen sich abzeichnende Unabhängigkeit von populationsspezifischen Faktoren. Auch wenn die Aufbereitung und Auswertung der Zahnproben einigen Aufwand erfordert, hat die Zahnzementannulation durchaus Potential und kann als wertvolle Ergänzung innerhalb des Spektrums der Altersbestimmungsmethoden angesehen werden.

#### *Schlagwortverzeichnis*

Zahnzementannulation; Altersbestimmung; Anthropologie; Bandkeramik; Schwetzingen; Zählfehler; Standardabweichung.

#### *Anschriften der Verfasser*

MICHAEL FRANCKEN M.A.  
Eberhard-Karls-Universität Tübingen,  
Naturwissenschaftliche Archäologie/  
Arbeitsbereich Paläoanthropologie  
Rümelinstr. 23  
72070 Tübingen

E-Mail: michaelfrancken@web.de

Priv.-Doz. Dr. JOACHIM WAHL  
Regierungspräsidium Stuttgart  
Landesamt für Denkmalpflege  
Arbeitsstelle Konstanz, Osteologie  
Stromeyersdorfstraße 3  
78467 Konstanz

E-Mail: Joachim.Wahl@rps.bwl.de