

Das Halley-Band für paläodemographische Mortalitätsanalysen

The Halley-Band for paleodemographic mortality analysis

Le bandeau de Halley dans les analyses paléodémographiques de mortalité

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wird für die Mortalitätsanalyse einer historischen Skelettbevölkerung ein computergestütztes Verfahren zur Konstruktion von Halley-Bändern vorgeschlagen, das auf demographischen Auswertungsmethoden aufbaut und gleichzeitig die in den zugrunde liegenden Daten steckende Unsicherheit bezüglich der individuellen Sterbealter berücksichtigt. Die große Schwierigkeit bei der Mortalitätsanalyse eines Gräberfeldes besteht darin, dass die Sterbealter der Skelette lediglich innerhalb von Altersbereichen bestimmt werden können, je nach Erhaltungszustand und angewandter Methode zur Altersbestimmung in engeren oder breiteren Intervallen. Bei dem vorgeschlagenen Verfahren handelt sich um eine Anwendung der Monte Carlo-Methode, bei der aus den gegebenen Altersintervallen durch Zufallsgenerator exakte Sterbealter gezogen und daraus Absterbeordnungen konstruiert werden. Nach ausreichender Wiederholung dieses Vorgangs entsteht ein relativ enges Bündel von verschiedenen Absterbeordnungen, welches das spezifische Mortalitätsmuster der betrachteten Skelettbevölkerung unter Einschluss der Unsicherheiten bezüglich der einzelnen Sterbealter charakterisiert. Die Grenzen des Halley-Bandes werden schließlich durch die 95 % der mittleren Absterbeordnungen gewonnen, um auf diese Weise unwahrscheinliche Extremwerte zu eliminieren. Verschiedene Modelltests und Vergleiche zu den herkömmlichen anthropologischen Verfahren zur Sterbetafelkonstruktion zeigen, dass die Methode des Halley-Bandes robuste und gewinnbringende Resultate für die paläodemographische Mortalitätsanalyse liefert, sofern man den interpretatorischen Schwierigkeiten durch die zwangsweise Anwendung der Halley-Methode bei der Konstruktion der Absterbeordnung für eine Skelettbevölkerung Rechnung trägt.

1 Einleitung

Bei der Analyse eines historischen Gräberfeldes, für das keine schriftlichen Sterberegister verfügbar sind, ist die Rekonstruktion der Überlebensbedingungen der untersuchten Bevölkerung eines der wichtigsten Forschungsziele. Eine derartige

Untersuchungspopulation besteht ausschließlich aus einer Anzahl Skelette aus einem archäologischen Kontext, weshalb sie in der Paläodemographie auch als „Skelettbevölkerung“ bezeichnet wird. Zur Beschreibung der Überlebensbedingungen einer solchen Skelettbevölkerung versuchen Anthropologen, Informationen über das Alter der Verstorbenen zu gewinnen, um daraus das Sterblichkeitsmuster der Skelettpopulation abzuleiten. Für den Schritt der Ableitung eines solchen Mortalitätsmusters wird mit der vorliegenden Arbeit ein computergestütztes Verfahren auf Basis der Monte Carlo-Methode vorgeschlagen, das der Logik demographischer Auswertungsmethoden folgt und gleichzeitig die in den zugrunde liegenden Daten steckende Unsicherheit bezüglich der individuellen Sterbealter berücksichtigt. Das Verfahren baut im Wesentlichen auf früheren Arbeiten zur Sterbetafelkonstruktion in der Paläodemographie auf (*Dinkel et al.* 2000, *Luy et al.* 2001). Bereits dort wurde die grundsätzliche Idee der Nutzung von Monte Carlo- bzw. Bootstrap-Techniken bei paläodemographischen Mortalitätsanalysen nach dem Vorbild der von *Efron* (1979, 1981, 1988) bzw. *Akritis* (1986) entwickelten Methodik formuliert, letztlich aber in einer anderen Richtung umgesetzt. Die Unterschiede und Weiterentwicklungen liegen vor allem in der Verwertung und Interpretation der Simulationsergebnisse, da in den genannten Arbeiten von *Dinkel et al.* (2000) und *Luy et al.* (2001) versucht wurde, ein Konfidenzintervall für eine Sterbetafel ähnlich wie in der modernen Demographie zu konstruieren. Der hier präsentierte Ansatz basiert dagegen auf dem zentralen Argument, dass eine klassische Sterbetafel aus paläodemographischen Daten nicht erstellt werden kann. Ebenso wird in der vorliegenden Arbeit nicht versucht, ein Konfidenzintervall im statistischen Sinne zu ermitteln. Zur Verdeutlichung dieser Unterschiede und zur Vermeidung von Verwechslungen mit diesen älteren Ansätzen sprechen wir in diesem Beitrag auch nicht von einer Sterbetafel mit zugehörigem Konfidenzintervall sondern von einem „Halley-Band“ zur Beschreibung des Mortalitätsmusters einer Skelettbevölkerung.

Die Auswertungs- und Interpretationsmöglichkeiten der Paläodemographie sind qualitativ nicht mit der auf amtlichen Bevölkerungsdaten basierenden modernen Demographie vergleichbar und daher grundsätzlich stark eingeschränkt. So ist es zum Beispiel eine nicht zu klärende Frage, ob die für die Skelettpopulation eines Gräberfeldes gewonnenen Informationen geeignet sind, um Aussagen über die demographischen Verhältnisse einer einst lebenden (aber eben nicht beobachteten) Bevölkerung treffen zu können (*Dinkel et al.* 2000). Verfügt man lediglich über eine bestimmte Anzahl ausgegrabener Skelette, so bedeutet das, dass demographische Analysen nur für diese Personen durchgeführt werden können. In der Paläodemographie wurde bereits verschiedentlich gezeigt, dass viele daten- und methodenimmanente Fehlerquellen und Verzerrungen verhindern, eine Skelettbevölkerung als repräsentative Stichprobe für eine Bevölkerung anzusehen, die zum Zeitpunkt des Todes der im Gräberfeld befindlichen Individuen lebte (*Acsadi/Nemeskeri* 1970, *Wittwer-Backofen* 1988a, *Milner et al.* 2000). Allerdings ist diese Art der Diskussion, ob und unter welchen Umständen eine Skelettpopulation als repräsentative Stichprobe für eine lebende Bevölkerung angesehen werden kann, nicht Gegenstand dieser Arbeit (siehe hierzu *Grube et al.* 2004). Im Folgenden geht es allein um die Frage, wie sich bei den durch die besonderen Charakteristika einer Skelettbevölkerung vorgegebenen Rahmenbedingungen eine Mortalitätsanalyse technisch durchführen lässt und wie die Ergebnisse verwertet und interpretiert werden können.

In der demographischen Mortalitätsanalyse wird die Konstruktion einer Sterbetafel als Königsweg angesehen, weil sie die vollständigste statistische Beschreibung der gegebenen Mortalitätsbedingungen liefert (Pressat 1972). Sie veranschaulicht auf der Grundlage von beobachteten Sterbefällen die Entwicklung einer konstruierten (Sterbetafel-)Bevölkerung in ihrer gesamten Lebenszeit und liefert Aussagen über die Sterbe- bzw. Überlebensverhältnisse in den verschiedenen Altersstufen. Darüber hinaus bildet die Sterbetafel aufgrund ihres Standardisierungscharakters eine brauchbare Basis für den Vergleich von Mortalitätsverhältnissen verschiedener Bevölkerungen oder verschiedener Zeitpunkte. Zur Konstruktion einer Sterbetafel benötigt man vor allem das Alter der Verstorbenen der zu analysierenden Population. In der Anthropologie sind verschiedene Verfahren für die Altersbestimmung eines Skelettes gebräuchlich, die auf einem oder mehreren Kriterien basieren (siehe *Buikstra/Ubelaker* 1994; *Kemkes-Grottenthaler* 2002). Ausgehend von der multivariaten Methode (*Nemeskeri et al.* 1960), die sich zum Standardinventar der Altersbestimmung unter europäischen Anthropologen entwickelte, nachdem diese von *Ferembach et al.* (1979) für die praktische Nutzung aufbereitet wurde, wird versucht, mit einer Vielzahl von Altersindikatoren das Skeletalter möglichst exakt zu ermitteln (*Buckberry/Chamberlain* 2002; *Boldsen et al.* 2002; *Wittwer-Backofen et al.* 2004 u.v.a.m.). Eine präzise Bestimmung des Sterbealters eines Skeletts ist jedoch nur unter idealen Bedingungen möglich. In der Regel können die Sterbealter lediglich innerhalb von Altersbereichen bestimmt werden, die je nach Erhaltungszustand und angewandter Altersbestimmungsmethode zu engeren oder breiteren Intervallen führen. Dabei können sich einige Knochenreste auch in einem Zustand befinden, der lediglich Aussagen darüber zulässt, ob es sich bei dem Individuum zum Sterbezeitpunkt um ein Kind oder eine erwachsene Person handelte.¹ Allerdings darf nicht verschwiegen werden, dass es bezüglich der Funktionalität dieser auf altersbekannten Referenzpopulationen basierenden Methoden der Altersbestimmung innerhalb der Anthropologie eine sehr kritische Diskussion gibt, die zum Teil sogar die Forderung des völligen Verwerfens des gesamten Konzepts paläodemographischer Forschung einschloss (*Bocquet-Appel/Masset* 1982; *Van Gerven/Armelagos* 1983; *Koenigsberg/Frankenberg* 2002).

Mit dem „Rostocker Manifest“ beschreitet man in jüngster Zeit einen neuen Weg in der Paläodemographie, bei dem anhand der diagnostizierten Stadien der verschiedenen Altersindikatoren die Wahrscheinlichkeit ermittelt wird, mit der ein Skelett einem Altersbereich zuzuordnen ist. Auf diese Weise können die Unsicherheiten in den Sterbealterintervallen verringert werden (*Hoppa/Vaupel* 2002). Aber völlig unabhängig davon, mit welchem Verfahren die Altersbestimmung durchgeführt wird, jedes führt unweigerlich zu Intervallen für die Sterbealter der Individuen (mit oder ohne Wahrscheinlichkeitsverteilungen), was bei der Rekonstruktion der Mortalitätsverhältnisse einer historischen Skelettpopulation unbedingt berücksichtigt werden muss. Die hierfür im Folgenden vorgeschlagene Methode wird zur Veranschaulichung anhand eines konkreten Datensatzes einer Skelettbevölkerung demonstriert, die in İkiztepe im Gebiet der heutigen Türkei ausgegraben und auch bei den bereits genannten früheren Arbeiten von *Dinkel et al.* (2000) und *Luy et al.* (2001) verwendet wurde. Der Ausgrabungsort befindet sich an der Schwarzmeerküste, etwa 55 km nordwestlich von Samsun und 7 km nördlich von Bafra und liegt in einer Region mit warmem, sommertrockenem Klima. Die dort ausgegrabene Skelettbevölkerung

stammt aus der Frühen Bronzezeit (II und III) und besteht zum größten Teil aus ungestört in gestreckter Rückenlage vorgefundenen Einzelbestattungen von extrem gutem Erhaltungszustand (bedingt durch die Tatsache, dass mit einer massiven Brandschlackeschicht unter dem Knochenniveau ein konservierendes Liegemilieu vorlag). Die Begräbnisstätte ist mittlerweile nahezu vollständig ausgegraben und umfasst insgesamt 673 alters- und geschlechtsbestimmte Individuen. Die Skelettbevölkerung von Ikiztepe ist charakterisiert durch einen im Vergleich mit anderen Ausgrabungen hohen Anteil an jungen Altersgruppen (knapp die Hälfte aller Individuen weist eine Altersobergrenze von höchstens 20 Jahren auf) und nahezu ausgeglichener Sexualproportion mit einem leichten Männerüberschuss. Die Altersbestimmung der Skelette erfolgte mittels der multivariaten Methode (Ferembach et al. 1979). Unter Einschluss des relativ hohen Anteils an Säuglingen und Kindern, die im Vergleich zu den Erwachsenen exakter innerhalb enger Grenzen altersbestimmbar sind, beträgt die durchschnittliche Intervallbreite für das Sterbealter der gesamten Population 11,59 Jahre. Allerdings ist die Säuglings- und Kindersterblichkeit der Ikiztepe-Skelettbevölkerung trotz des für prähistorisch-anthropologische Gegebenheiten hohen Anteils an jungen Individuen im Vergleich zu den aus amtlichen Bevölkerungsdaten bekannten historischen Verhältnissen des 19. Jahrhunderts immer noch zu gering, um als realistisch angesehen zu werden. Dies lässt sich aus einem nur 20%igen Anteil der 0- bis 5-Jährigen an der Gesamtpopulation ableiten. Aus diesem Grund beschränken wir uns in diesem Beitrag auf die Analyse der Erwachsenensterblichkeit, wenngleich die vorgeschlagene Methode unverändert ebenso für alle Altersstufen angewendet werden kann. Betrachtet man nur die erwachsenen Individuen ab einem Alter von 20 Jahren, dann beträgt die durchschnittliche Intervallbreite für die Sterbealter der Ikiztepe-Skelettbevölkerung 19,89 Jahre. Die reiche Gräberausstattung deutet darauf hin, dass es sich um eine Siedlung mit großem Wohlstand handelte. Aufgrund seiner Größe, seiner Vollständigkeit und seines Erhaltungszustandes ist das Datenmaterial aus Ikiztepe wohl eines der wertvollsten für paläodemographische Analysen aus der Frühen Bronzezeit (siehe Wittwer-Backofen 1985, 1987; Alkim et al. 2003) und eignet sich hervorragend für die Anwendung der vorgeschlagenen Methode zur Konstruktion eines Halley-Bandes. Bevor dieses Verfahren jedoch genauer dargestellt wird, ist die Erläuterung eines weiteren Charakteristikums einer Skelettbevölkerung notwendig, das erheblichen Einfluss auf die Mortalitätsanalyse eines Gräberfelds besitzt und zu der hier vorgeschlagenen Interpretation und Namensgebung des Halley-Bandes führt.

2 Die Skelettpopulation als stationäre Sterbetafelbevölkerung

Aus Sicht der demographischen Mortalitätsanalyse ist neben den Altersangaben in Intervallform noch eine weitere typische Eigenschaft von Skelettbevölkerungen von zentraler Bedeutung. In der modernen Demographie wird aus den altersspezifischen Sterblichkeitsverhältnissen einer realen Bevölkerung (gemessen in altersspezifischen Sterbeziffern oder Sterbewahrscheinlichkeiten, bei deren Berechnung die beobachteten Sterbefälle zur lebenden Bevölkerung in Beziehung gesetzt werden) eine stationäre Sterbetafelbevölkerung konstruiert, in der ein fiktiver Geburtsjahrgang den beobachteten altersspezifischen Sterblichkeitsverhältnissen unterworfen wird. Dabei wird auf Basis der vorliegenden Sterblichkeit im Alter 0-1, 1-2, 2-3 usw. be-

rechnet, wie viele Personen dieses fiktiven Geburtsjahrgangs das Alter 1, 2, 3 usw. erleben, bis sein letztes Mitglied gestorben ist. Aufgrund dieses Aufbaus wird die Sterbetafel auch als Absterbeordnung und die in ihr dargestellten Personen als Sterbetafel-Bevölkerung bezeichnet. Die Eigenschaft der Stationarität ergibt sich dabei aus dem Umstand, dass in einer solchen Sterbetafel-Bevölkerung die gesamte Zahl der Sterbefälle identisch ist mit der Personenzahl des Ausgangsbestands.

Die zur Konstruktion einer Sterbetafel erforderlichen altersspezifischen Sterbeziffern bzw. Sterbewahrscheinlichkeiten können bei der Mortalitätsanalyse eines Gräberfeldes jedoch nicht wie in der modernen Demographie berechnet werden. Schließlich liegen keine Informationen über die einst lebende Bevölkerung vor, aus der die gefundenen Sterbefälle hervorgegangen sind. Dies hat entscheidende Konsequenzen für die demographische Analyse. Entdeckt und analysiert man beispielsweise die physischen Überreste von 500 Individuen, so weiß man, dass diese 500 Personen einige Jahre vor ihrer Bestattung geboren wurden und dann unterschiedlich lange gelebt haben. Damit stellt eine Skelettpopulation grundsätzlich eine stationäre Bevölkerung dar, bei der die Anzahl der in einem bestimmten Zeitraum Geborenen genau so groß ist wie die Zahl der im selben Zeitraum Verstorbenen (siehe auch *Dinkel et al.* 2000, *Luy et al.* 2001). Dies gilt generell, also auch bei durch Erosion, Grabungstechnik, Dekompositionerscheinungen etc. reduzierten Skelettserien, bei denen nicht alle einst Bestatteten auch tatsächlich als Skelett vorliegen. Andernfalls müssten sich in der zu analysierenden Bevölkerung die Zahlen der Geborenen und der Sterbefälle unterscheiden. Bei einer Skelettbevölkerung kann dies aber nie gegeben sein. Das bedeutet jedoch nicht, dass auch für die reale einst lebende Bevölkerung angenommen wird, sie sei stationär gewesen. Ganz im Gegenteil muss aufgrund der prähistorischen Lebensbedingungen eher von erheblichen Wachstumsschwankungen in den kleinen Bevölkerungen ausgegangen werden (*Weiss* 1976; *Wittwer-Backofen* 1988b). Selbstverständlich lassen sich derartige Bevölkerungsschwankungen prinzipiell bei der paläodemographischen Mortalitätsanalyse berücksichtigen, worauf wir am Ende dieses Abschnitts noch einmal kurz eingehen werden.

Tatsächlich besteht die Skelettpopulation ausschließlich aus Sterbefällen. Sie ist daher automatisch stationär und stellt somit direkt eine Sterbetafel-Bevölkerung dar. Das Verfahren, allein aus Altersangaben von Sterbefällen unter Annahme einer zugrunde liegenden stationären Bevölkerung eine Sterbetafel zu konstruieren, wird in der Demographie schon seit über hundert Jahren international übereinstimmend als „*Halley'sches Verfahren*“ bezeichnet (z. B. *Moser* 1839: 59ff; *Shryock/Siegel* 1971: 811), wenngleich die berühmte von *Halley* (1693) veröffentlichte Zahlenreihe wohl eher eine Bevölkerungs- oder Versicherungstafel als eine Sterbetafel darstellen sollte (vgl. hierzu *Fischer* 1860; *Böckh* 1893; *von Mayr* 1926; *Dupâquier* 1996; *Luy* 2003). Dennoch folgten die meisten Sterbetafeln des 18. und 19. Jahrhunderts diesem Ansatz (siehe Zusammenstellung bei *Wappäus* 1861: 24). Letztlich wurde aber in der demographischen Diskussion klargestellt, dass es auf alleiniger Grundlage von Sterbefällen prinzipiell nicht möglich ist, eine Sterbetafel zu konstruieren, in der die Mortalitätsverhältnisse korrekt abgebildet sind (vgl. auch *Dinkel et al.* 2000). Eine unverzichtbare Notwendigkeit ist die Information über die Altersstruktur der lebenden Bevölkerung (Risikobevölkerung), aus der die beobachteten Sterbefälle stammen. Ohne Kenntnis der Relation von der Anzahl an Sterbefällen zu der dahinter stehen-

den Risikobevölkerung kann die Sterblichkeit einer nicht stationären Bevölkerung nicht zutreffend beschrieben werden.

Eine so deutliche Haltung bedeutet nun nicht automatisch das Ende paläodemographischer Forschung, bei der es niemals möglich sein kann, außer den Sterbefällen auch eine lebende Bevölkerung zu beobachten. Berücksichtigt man die genannten Einschränkungen und Interpretationsgrenzen, dann lassen sich dennoch wertvolle Informationen gewinnen, wie im Folgenden genauer gezeigt wird. Lassen sich bei einem Gräberfeld zusätzlich Erkenntnisse über eine bestimmbare Abweichung von der Stationarität gewinnen, dann können diese durchaus bei der Mortalitätsanalyse einer Skelettbevölkerung einbezogen werden. So könnte man den Auswertungen z. B. die Annahme einer stabil wachsenden oder schrumpfenden Bevölkerung zugrunde legen (zum Modell der stabilen Bevölkerung siehe *Feichtinger* 1979 oder *Dinkel* 1989). In einem solchen Fall ließe sich die einst hinter den Sterbefällen stehende lebende Bevölkerung rekonstruieren und daraus schließlich auch eine Sterbetafel mit entsprechender durchschnittlicher Lebenserwartung berechnen. Ob und unter welchen Umständen eine derartige Rekonstruktion der ehemaligen Risikobevölkerung möglich ist, soll jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Hier geht es ausschließlich um die Rekonstruktion der Mortalitätsverhältnisse einer Skelettpopulation als stationäre Bevölkerung aus den gegebenen Altersspannen.

3 Die Anpassung der *Halley*-Methode an die Eigenschaften paläodemographischer Daten: Das *Halley*-Band

Die in der Einleitung beschriebene Ausgangssituation mit den aus der anthropologischen Altersbestimmung resultierenden unterschiedlich breiten Sterbealtersintervallen ist für sechs beispielhaft ausgewählte Individuen aus der Ikkiztepe-Skelettpopulation in Tabelle 1 dargestellt. So gibt es in einem Gräberfeld typischerweise Individuen wie Skelett Nr. 1, von denen im Prinzip nur bekannt ist, dass es sich um eine erwachsene Person handelt und andere wie die Skelette 3, 672 oder 673, bei denen relativ exakt das jeweilige Sterbealter bestimmt werden kann. In Abbildung 1 ist das unterschiedliche Ausmaß der Unsicherheiten nach der anthropologischen Altersbestimmung graphisch veranschaulicht, wo für alle in einzelnen Symbolen dargestellten Individuen auf der x-Achse die Altersuntergrenze und auf der y-Achse die zugehörige Breite der Altersintervalle aufgetragen ist (identische Fälle werden nur durch einen einzigen Punkt repräsentiert). Dabei zeigt sich deutlich, dass die größten Unsicherheiten im Erwachsenenalter auftreten und diese Fälle überwiegend eine Altersbestimmung mit der Untergrenze 20-30 (x-Achse) und der Obergrenze 60-80 (entspricht den Intervallbreiten 40-60 auf der y-Achse) aufweisen. In dem die-

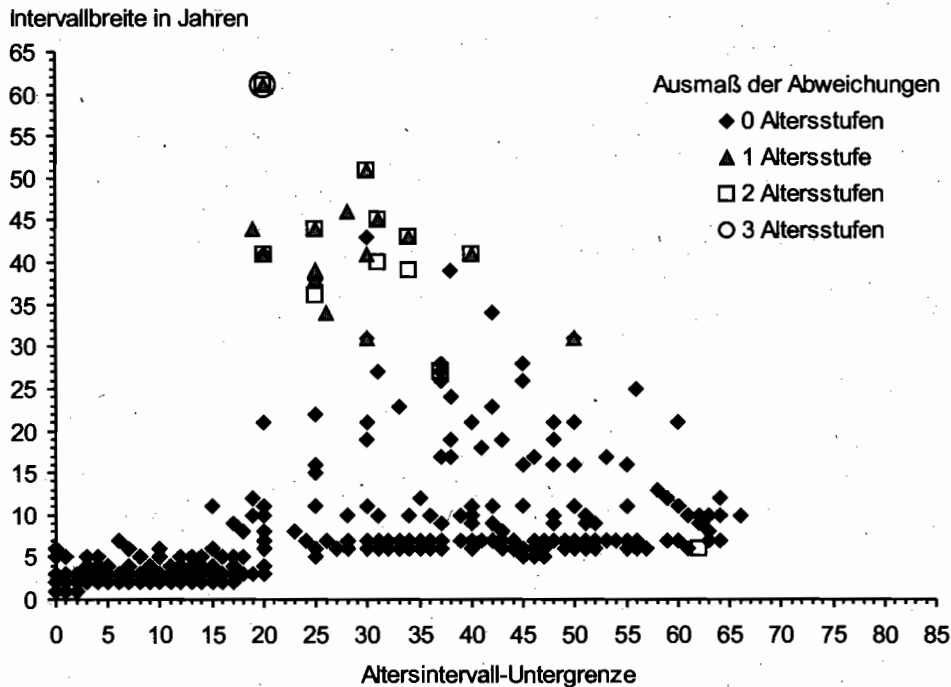
Tab. 1: Altersbestimmte Skelette mit unterschiedlicher Intervallbreite für das Sterbealter
Age-estimated skeletons with different age-at-death intervals

Skelett Nr.	1	2	3	...	671	672	673
Sterbealter, Untergrenze	25	4	31	...	60	13	50
Sterbealter, Obergrenze	60	8	40	...	80	14	56

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 1: Altersintervallbreiten der Ikiztepe-Skelettbevölkerung nach jeweiliger Altersuntergrenze und Ausmaß der Abweichung der nach 500 Zufallsziehungen resultierenden 95 %-Intervalle der individuellen Sterbealter

Fig. 1: Width of age intervals of the Ikiztepe skeletal population by lower age limit and extent of deviation of simulated 95 % intervals using 500 random draws



Quelle: Eigene Berechnungen

ser Arbeit zugrunde liegenden Datensatz wurde von einer Höchstaltersgrenze von 80 Jahren ausgegangen, da eine genauere Eingrenzung des Sterbealters nicht möglich war. Dies ist eine freie und auf Erfahrungswerten basierende Festlegung, die jedoch durchaus Einfluss auf den zu ermittelnden Verlauf der Absterbeordnung hat, worauf wir in einem späteren Abschnitt ebenfalls noch zurückkommen werden.

Wie ist es nun möglich, aus derartigen Daten demographische Informationen über die Mortalitätsverhältnisse der Skelettpopulation zu gewinnen? Wie kann man aus solchen Intervallangaben für das Sterbealter der einzelnen Individuen eine Absterbeordnung konstruieren? Es sollte bereits an dieser Stelle klar sein, dass sich für kein Skelett ein exaktes Sterbealter festlegen lässt. Die anthropologischen Analyseergebnisse können in der Paläodemographie eben nur Altersintervalle mit unterschiedlicher Breite erbringen. Betrachtet man beispielsweise Skelett Nr. 1 in Tabelle 1, dann gibt es hier nicht ein genau bestimmtes, sondern 36 mögliche Sterbealter (wenn man sich auf vollendete Altersjahre als kleinste Einheit beschränkt und von

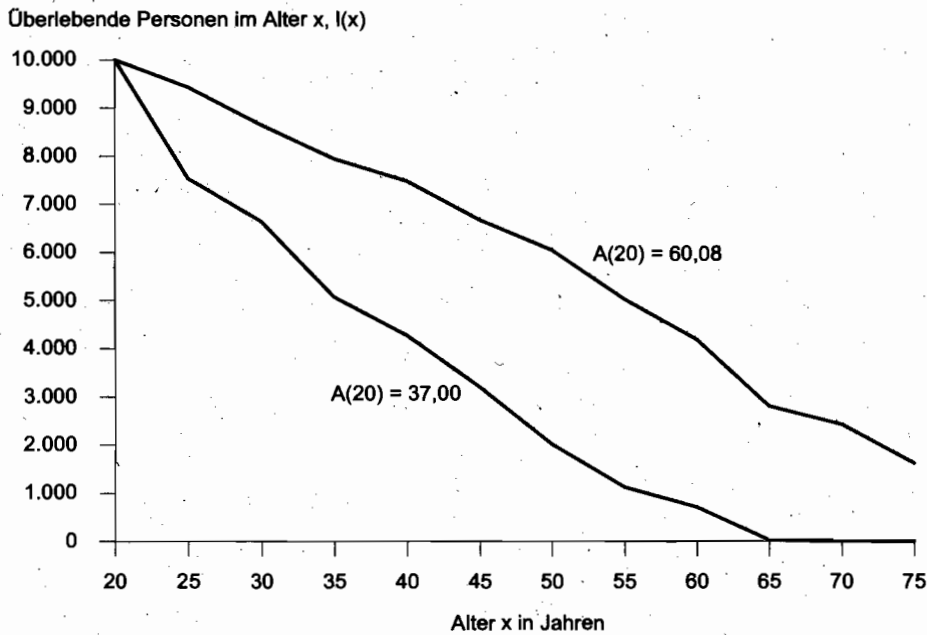
einem exakten Alter in Jahren, Monaten und Tagen absieht, was theoretisch aber genau so umsetzbar wäre). Damit wird auch deutlich, dass für eine derartige Skelettbevölkerung nicht eine einzelne charakteristische Absterbeordnung konstruiert werden kann (siehe auch *Dinkel et al.* 2000, *Luy et al.* 2001). Die Aufgabe paläodemographischer Mortalitätsanalysen muss vielmehr darin bestehen, einen Bereich zu definieren, in dem sich die gesuchte Absterbeordnung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befindet, wobei diese Wahrscheinlichkeit von der Präzision der Altersbestimmung determiniert wird. Dieser Bereich soll durch eine obere und eine untere Absterbeordnung begrenzt werden, wobei die obere die günstigsten Überlebensbedingungen (geringste Sterblichkeit) und die untere die schlechtesten Überlebensbedingungen (höchste Sterblichkeit) darstellen. Da diese beiden Grenzverläufe der gesuchten Absterbeordnung ausschließlich aus Sterbefällen konstruiert werden können und damit automatisch der Logik der *Halley-Methode* folgen, wollen wir den durch sie definierten Bereich als *Halley-Band* für die Mortalitätsverhältnisse der Skelettbevölkerung bezeichnen. Dabei muss das *Halley-Band* durch seine Breite das Ausmaß der durch die Altersbestimmung vorgegebenen Unsicherheit zum Ausdruck bringen. Eine Skelettbevölkerung mit kleinen Altersintervallen muss zu einem engeren *Halley-Band* und damit zu einem besseren und sichereren Ergebnis führen als eine Population mit größeren Altersintervallen.

Wir beginnen die Umsetzung dieser Überlegungen bei der Mortalitätsanalyse des Gräberfeldes von Ikiztepe mit der sicheren Feststellung, dass sich die Absterbeordnung der Skelettbevölkerung irgendwo zwischen den beiden durch die Sterbealtersintervalle vorgegebenen Extremen bewegen muss. Zur Darstellung dieses Bereichs konstruieren wir zuerst eine Absterbeordnung, bei der für jede Person die Altersuntergrenze als Sterbealter verwendet wird und schließlich eine zweite mit den Daten der jeweiligen Altersobergrenze. Hieraus resultieren die zwei in Abbildung 2 dargestellten Absterbeordnungen ab Alter 20 für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung. Beide Kurven beginnen bei einem normierten $l(x)$ -Wert (= „living persons at age x “) von 10.000 lebenden Personen im Ausgangsalter 20, und zeigen dann die durch Mortalität bedingte Reduzierung dieses Bestandes bis zum Alter 75. Für die Konstruktion dieser beiden Absterbeordnungen wenden wir die demographische Logik der Sterbetafel an und normieren die Anzahl der Überlebenden auf 10.000 im Alter 20. Von einer Verwendung der tatsächlichen Fallzahl sehen wir aus folgendem methodischen Grund ab: Beginnt man mit den 673 Individuen der Ikiztepe-Skelettbevölkerung und subtrahiert dann die aus den Ober- und Untergrenzen für die Sterbealter resultierende Anzahl an Sterbefällen im Alter 0, 1, 2 usw., so erreichen das Alter 20 noch 370 Individuen bei der Absterbeordnung aus den Sterbealtersobergrenzen und 337 Individuen bei der Absterbeordnung aus den Altersuntergrenzen. Somit ergäben sich bereits für das Alter 20 zwei unterschiedliche Ausgangswerte. Da wir unsere Analysen aus den eingangs angeführten Gründen aber erst in diesem Alter beginnen, gehören zu unserer Untersuchungspopulation nur diejenigen, die das Alter 20 lebend erreichen. Deshalb müssen an dieser Stelle beide Absterbeordnungen mit dem gleichen Ausgangswert beginnen.

Selbstverständlich hätten wir die beiden Absterbeordnungen auch auf eine Anzahl von 673, 370 oder 337 lebende Personen im Alter 20 normieren können. Weder der jeweilige in Abbildung 2 dargestellte Kurvenverlauf noch das aus ihm bestimmbare durchschnittliche Sterbealter würden davon beeinflusst werden. Durch eine in der

Abb. 2: Aus Ober- und Untergrenze für die individuellen Sterbealter ermittelte Absterbeordnungen ab Alter 20 nach der Halley-Methode für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung

Fig. 2: Halley survivorship functions from age 20 for the Ikiztepe skeletal population using the upper and lower limits for the individual ages at death



Quelle: Eigene Berechnungen

demographischen Sterbetafelanalyse übliche Normierung auf Werte wie 1, 100, 10.000 oder 100.000 wird es jedoch möglich, die einzelnen $l(x)$ -Werte direkt als Wahrscheinlichkeiten zu interpretieren. Schließlich bedeutet z. B. die in Abbildung 2 zu findende Anzahl von etwa 7.500 überlebenden Personen im Alter 25 nach der unteren Absterbeordnung, dass Personen, die im Alter 20 am Leben sind, mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % auch das Alter 25 erleben, bzw. umgekehrt mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 % vor Erreichen des Alters 25 sterben. Diese Eigenschaft von Absterbeordnungen verdeutlicht, warum beide Verläufe auf den gleichen Ausgangswert im Alter 20 normiert werden müssen. Wenn nur die Erwachsenensterblichkeit ab dem Alter 20 analysiert wird, dann müssen unabhängig vom Ausmaß der Sterblichkeit alle untersuchten Personen das Alter 20 mit der Wahrscheinlichkeit von 100 % erreichen. Aus der Absterbeordnung lässt sich schließlich das durchschnittliche Sterbealter der Personen ermitteln, die das Alter 20 erleben. Im Falle einer stationären Bevölkerung ist das durchschnittliche Sterbealter identisch mit dem bekanntesten Sterbetafelparameter, der durchschnittlichen Lebenserwartung $e(x)$. Da einer paläodemographischen Mortalitätsanalyse jedoch nur Sterbefälle zugrunde liegen und es wichtig ist, diesem zentralen Unterschied zur modernen Demographie Rechnung zu tragen, wollen wir im Folgenden von dem Parameter „durchschnitt-

liche Lebenserwartung“ absehen und statt dessen das „durchschnittliche Sterbealter ab Alter x “ verwenden, das wir mit $A(x)$ bezeichnen. Während die durchschnittliche Lebenserwartung $e(x)$ besagt, wie viele Lebensjahre x -jährige Personen im Durchschnitt noch vor sich haben beschreibt der Parameter $A(x)$ das durchschnittliche Sterbealter der Personen, die das Alter x erreicht haben. Die Größe $A(x)$ lässt sich aus dem Zusammenhang $A(x) = e(x) + x$ ableiten.² Durch diese Unterscheidung und die Vermeidung von $e(x)$ soll letztlich zum Ausdruck gebracht werden, dass paläodemographische Absterbeordnungen und die aus ihnen abgeleiteten Parameter aufgrund der besonderen Datenausgangslage nicht mit modernen Sterbetafeln verglichen werden können.

Auf Grundlage der beiden aus den jeweiligen Extremwerten der Sterbealtersintervalle gewonnenen Absterbeordnungen für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung ergibt sich eine Variabilität im durchschnittlichen Sterbealter ab Alter 20 $A(20)$ von 37 (Untergrenze) bis 60 Jahre (Obergrenze), also eine hohe Unsicherheit von insgesamt 23 Jahren. Dies verdeutlicht, dass die Arbeit mit den Extremen – so eng sie im Fall der Ikiztepe-Skelettbevölkerung aufgrund der hohen Datenqualität aus anthropologischer Sicht auch sein mögen – nicht weiterhilft, um sinnvolle demographische Informationen zu gewinnen. Zum einen ist die hieraus resultierende Unsicherheit viel zu groß, und zum anderen ist es natürlich sehr unwahrscheinlich, dass bei jedem altersbestimmten Individuum die Unter- bzw. die Obergrenze des ermittelten Altersintervalls das tatsächliche Sterbealter darstellt, wie es diese beiden Extremverläufe jeweils unterstellen. Was ist aber nun eine wahrscheinliche Absterbeordnung für diese Population? In dem im Folgenden vorgeschlagenen Verfahren wird dies auf „quasi empirischem“ Wege rekonstruiert.

Kehren wir zuerst noch einmal zur Ausgangssituation zurück, die in Tabelle 1 dargestellt ist. Die Methode des *Halley*-Bandes basiert nun auf dem Ansatz, dass jedes einzelne Alter innerhalb der vorgegebenen Altersspanne theoretisch möglich ist. Dies entspricht exakt der Ausgangssituation, denn es ist nichts weiter bekannt, als dass sich das gesuchte Sterbealter irgendwo zwischen diesen Grenzen befindet. Für die Analyse der Ikiztepe-Skelettbevölkerung wird im Folgenden angenommen, dass jedes innerhalb der jeweiligen Intervallgrenzen befindliche Alter gleich wahrscheinlich ist. Dies ist nicht unbedingt eine unrealistische oder kritische Annahme, denn genau das ist das Ergebnis der erfolgten anthropologischen Altersbestimmung. Es ist allerdings bei der Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens auch jederzeit möglich, eine andere Wahrscheinlichkeitsverteilung als die Gleichverteilung der Einzelalter innerhalb der Altersspannen anzunehmen, wie es im eingangs erwähnten Rostocker Manifest gefordert wird. Die Konstruktion eines *Halley*-Bandes ist mit jeder denkbaren Wahrscheinlichkeitsverteilung durchführbar.

Da wir nicht entscheiden können, in welchem genauen Alter die verschiedenen Individuen verstorben sind, lassen wir für jedes der Individuen ein Sterbealter von einem Zufallsgenerator ermitteln, das innerhalb der bestimmten individuellen Altersspanne (mit der vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung) liegt.³ Somit erhalten wir für jede Person ein exaktes Sterbealter, so dass aus diesen Werten eine Absterbeordnung (wie auch schon beim Beispiel der Extremwerte) erstellt werden kann. Diese wird sich natürlich zwingend irgendwo zwischen den oben ermittelten Extremverläufen befinden. Der exakte Verlauf dieser Absterbeordnung wird letztlich durch die

Zufallsziehung bestimmt und ist nicht vorherzusagen. Sollten zufällig bei den meisten Personen Sterbealter nahe der Obergrenze gezogen werden, dann würde sich die ermittelte Absterbeordnung mehr dem oberen Extrem annähern. Sollten mehrheitlich Sterbealter im unteren Bereich der Altersspannen ausgewählt werden, dann verlief auch die resultierende Absterbeordnung im unteren Teil des in Abbildung 2 dargestellten Extrembereichs.

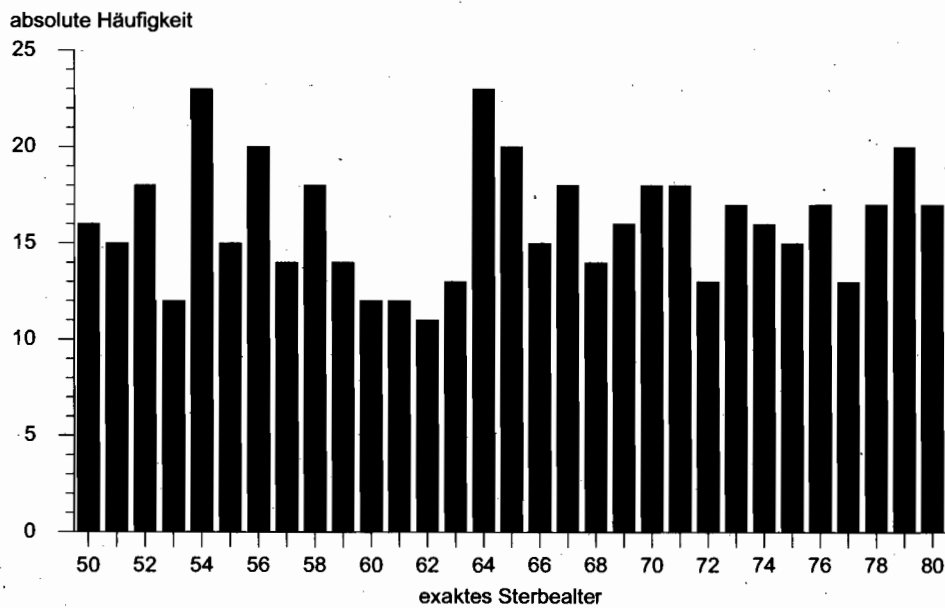
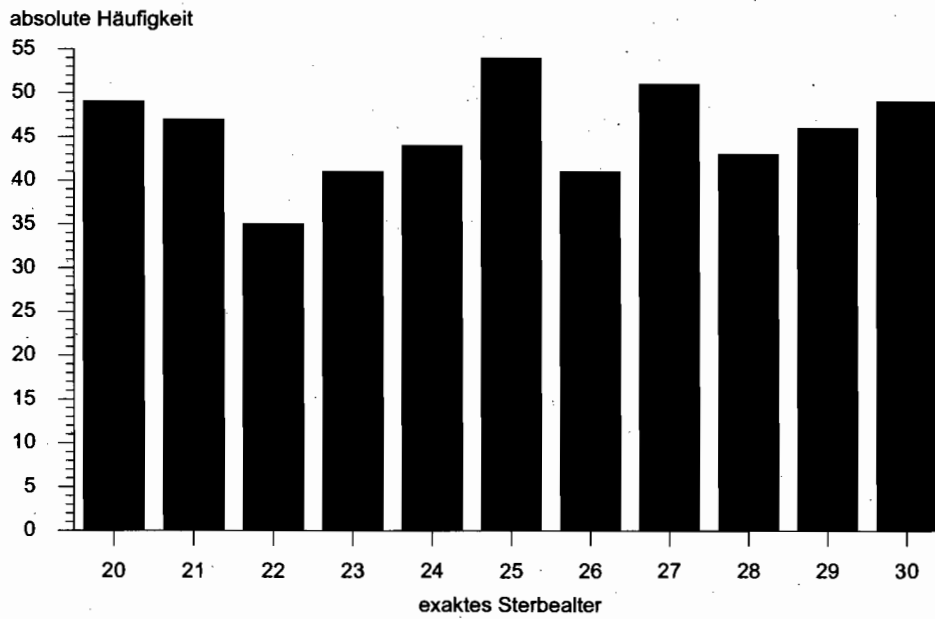
Nun löst eine auf diese Weise ermittelte Absterbeordnung noch nicht die beschriebenen Probleme im Umgang mit den vorgegebenen Altersintervallen, da sie nur eine von nahezu unendlich vielen Möglichkeiten darstellt. Die entscheidende Idee ist, diese Prozedur nicht einmal, sondern sehr oft – z.B. 500-mal – durchzuführen und für jede einzelne dieser Ziehungen die resultierende Absterbeordnung zu berechnen. In der Stochastik bezeichnet man ein solches Vorgehen in Anlehnung an das berühmte Spielcasino als Monte Carlo-Methode, weil dort die ersten Tabellen mit Zufallszahlen durch Roulette-Ergebnisse erzeugt wurden. Schließlich lässt sich in der vorliegenden Anwendung erkennen, wie stark die mit der Monte Carlo-Methode gewonnenen Absterbeordnungen, von denen aufgrund der Ausgangsinformation jede gleich wahrscheinlich ist, variieren bzw. ob sich die Verläufe sogar in einem bestimmten Bereich bündeln. Lässt man nun von allen erhaltenen $l(x)$ -Werten (das ist die Anzahl der Überlebenden im Alter x der jeweiligen Absterbeordnung) zur Eliminierung der unwahrscheinlichsten Extreme die höchsten und niedrigsten 2,5% unberücksichtigt, erhält man die 95% mittleren Werte der 500 mit der Monte Carlo-Methode ermittelten Absterbeordnungen. Gemäß der zugrunde liegenden Logik beschreibt das durch diese beiden Grenzverläufe definierte *Halley*-Band die in den Ausgangsdaten steckende Unsicherheit mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit. Die Durchführung dieses Verfahrens wird im folgenden Abschnitt anhand des Ikiztepe-Datensatzes noch einmal genauer erläutert.

4 Die Konstruktion eines *Halley*-Bandes für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung

Die einzelnen Schritte der Konstruktion eines *Halley*-Bandes sollen im Folgenden am konkreten Beispiel der Ikiztepe-Skelettbevölkerung nachvollzogen werden. In den Abbildungen 3a und 3b ist dargestellt, mit welcher Häufigkeit die einzelnen Sterbealter bei Personen mit einer Sterbealtersspanne von 20 bis 30 bzw. 50 bis 80 Jahren vom Zufallsgenerator bei 500 Simulationsläufen gezogen werden. Entsprechend der zugrunde liegenden Gleichverteilungsannahme ist keine spezielle Struktur in der Verteilung zu erkennen, die sich zeigenden Schwankungen sind rein zufällig. Bei jeder Ziehung wird also für jedes Mitglied der Skelettbevölkerung ein exaktes Sterbealter bestimmt, so dass am Ende jedes Simulationslaufs 673 exakte Sterbealter vorliegen (siehe Tabelle 2). Die für jedes Individuum aus den mittleren 95% der 500 Zufallsziehungen resultierenden Altersintervalle selbst unterscheiden sich nur unwesentlich von der Ausgangssituation. Dies ist als Zusatzinformation in Abbildung 1 zu finden, wo neben den einzelnen Intervallen durch unterschiedliche Symbole dargestellt ist, um wie viele Altersstufen die sich aus der Simulation ergebenden Altersintervalle von den Ausgangsdaten abweichen. So bedeuten z.B. die in schwarzen Rauten dargestellten Fälle, dass sich das Sterbealtersintervall aus den Originaldaten nicht von demjenigen unterscheidet, das sich aus 500 Zufallsziehungen und bei Berücksichtigung der mittleren 95% aller gezogenen Sterbealter ergibt. Bei den durch

Abb. 3a,b: Bei 500 Zufallsziehungen ermittelte Sterbealter für zwei Skelette mit Sterbealterintervallen von 20-30 und 50-80 Jahren bei zugrunde liegender Gleichverteilungsannahme

Fig. 3a,b: Distribution of 500 randomly extracted exact ages at death for two skeletons with age at death ranges of 20-30 and 50-80 assuming equal distribution



Quelle: Eigene Berechnungen

graue Dreiecke repräsentierten Individuen ist das aus den Zufallsziehungen resultierende Intervall um ein Jahr geringer als das Sterbealtersintervall der anthropologischen Altersbestimmung, usw. Bei Betrachtung von Abbildung 1 wird ersichtlich, dass in der Mehrzahl der Fälle gar keine Veränderungen der Intervallbreiten auftreten. Die Fälle mit einer Reduzierung der Altersintervalle um maximal drei Altersstufen treten fast ausschließlich bei den unsicher altersbestimmten erwachsenen Individuen auf, die sich im Bereich einer Altersuntergrenze zwischen 20 und 40 Jahren befinden.

Tab. 2: Ermittlung eines exakten Sterbealters aus dem gegebenen Altersintervall durch einen Zufallsgenerator bei zugrunde liegender Gleichverteilungsannahme
Extraction of exact ages at death out of the given age intervals by a random generator assuming equal distribution

Skelett Nr.	1	2	3	...	671	672	673
Sterbealter, Untergrenze	25	4	31	...	60	13	50
Sterbealter, Obergrenze	60	8	40	...	80	14	56
Alter bei Zufallsziehung 1	44	6	35	...	78	13	55
Alter bei Zufallsziehung 2	56	4	31	...	63	14	56
Alter bei Zufallsziehung 3	57	8	40	...	76	14	52
Alter bei Zufallsziehung 4	37	8	40	...	62	14	54
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Alter bei Zufallsziehung 497	45	5	33	...	80	14	56
Alter bei Zufallsziehung 498	59	7	40	...	61	14	51
Alter bei Zufallsziehung 499	36	5	35	...	68	13	53
Alter bei Zufallsziehung 500	60	4	34	...	62	13	50

Quelle: Eigene Berechnungen

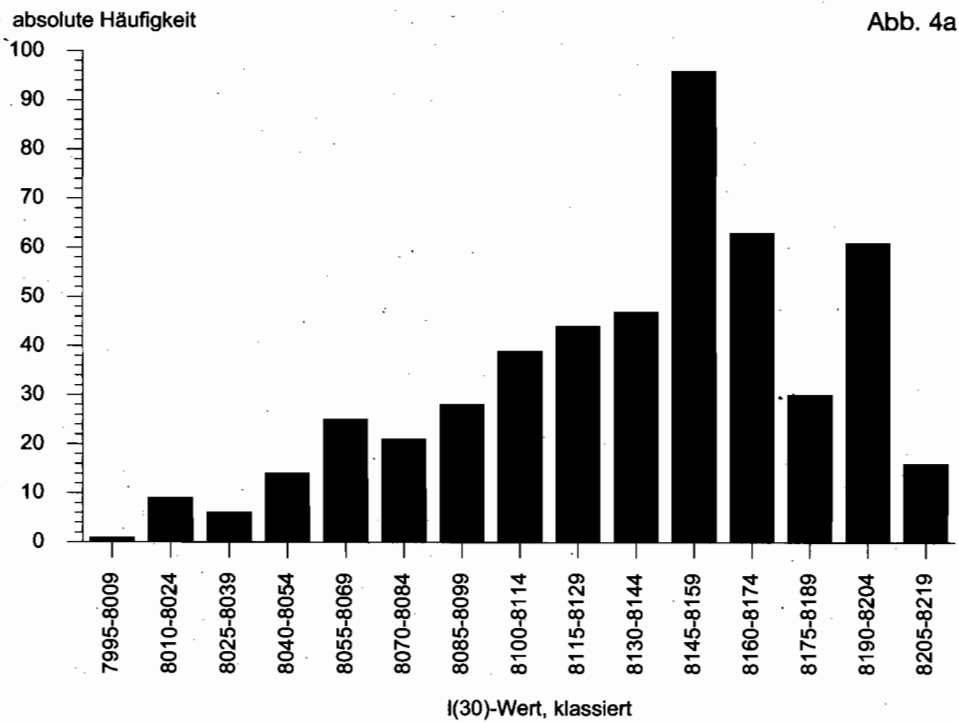
Aus den in jedem Simulationslauf gezogenen 673 Sterbealtern wird dann eine Absterbeordnung in der Weise konstruiert, wie es bereits bei den beiden Extremverläufen in Abbildung 2 beschrieben wurde. Die für die einzelnen Personen durch den Zufallsgenerator ermittelten Sterbealter des Simulationslaufs 1 führen folglich zur Absterbeordnung 1, die des zweiten Simulationslaufs zur Absterbeordnung 2, usw. Die aus diesem Vorgehen resultierenden $l(x)$ -Werte der Absterbeordnungen sind ihrerseits nicht mehr gleich verteilt, sondern folgen einer anderen Verteilungsform. In den Abbildungen 4a und 4b ist zu erkennen, wie sich die Verteilung der aus den jeweils gezogenen 673 exakten Sterbealtern ermittelten $l(x)$ -Werte der Absterbeordnung bei 500 Ziehungen im Alter $x = 30$ (Abb. 4a) und im Alter $x = 55$ (Abb. 4b) darstellt. Während die einzelnen Werte im Alter 30 noch etwas breiter und leicht nach rechts verschoben streuen, folgen die $l(55)$ -Werte fast einer Normalverteilung. Die beiden Grafiken verdeutlichen, dass die Variation der auf diese Weise gewonnenen 500 Absterbeordnungen im Vergleich zu den Unsicherheiten in den individuellen Sterbealtersintervallen relativ gering ist. Hier spiegelt sich der bereits erwähnte Umstand wider, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht alle Individuen in einem Alter nahe der Ober- bzw. Untergrenze ihrer jeweiligen Altersintervalle gestorben sind. Einigen Individuen wird vom Zufallsalter zwar durchaus ein Alter im Bereich des Maximums ihres Altersintervalls zugeordnet, anderen dagegen eines in der Nähe des Minimums und wieder anderen im mittleren Bereich. Daher gleichen sich die jeweils gezogenen Extremwerte in der Summe in den meisten Fällen aus.

Dass die Streuung der $l(x)$ -Werte in jüngeren Altersstufen noch näher an der Gleichverteilung liegt als in höheren Altern, liegt daran, dass die mögliche absolute Schwankungsbreite der $l(x)$ -Werte in den jüngeren Altersstufen wesentlich geringer ist. Dies lässt sich an der Skalierung der $l(x)$ -Werte auf der x-Achse in den Abbildungen 4a und 4b leicht nachvollziehen. Im Alter 30 schwankt die Anzahl der überlebenden Personen bei einer Ausgangsgesamtheit von 10.000 Personen im Alter 20 zwischen 7.995 und 8.219, im Alter 55 dagegen zwischen 2.400 und 3.299. Dies folgt wiederum aus der Konstruktionslogik einer Absterbeordnung. Während sich die $l(30)$ -Werte allein aus den Sterbefällen zwischen Alter 20 und 30 ergeben, resultieren die $l(55)$ -Werte aus den Sterbefällen zwischen Alter 20 und 55.

Nach der Durchführung aller Simulationen bleiben schließlich aus der Menge der 500 Absterbeordnungen bei jedem Alter x (25, 30, 35 usw.) die größten und kleinsten 2,5 % der $l(x)$ -Werte unberücksichtigt und es resultiert ein empirisch ermitteltes 95 %-Halley-Band für die Absterbeordnung der betrachteten Skelettbevölkerung,

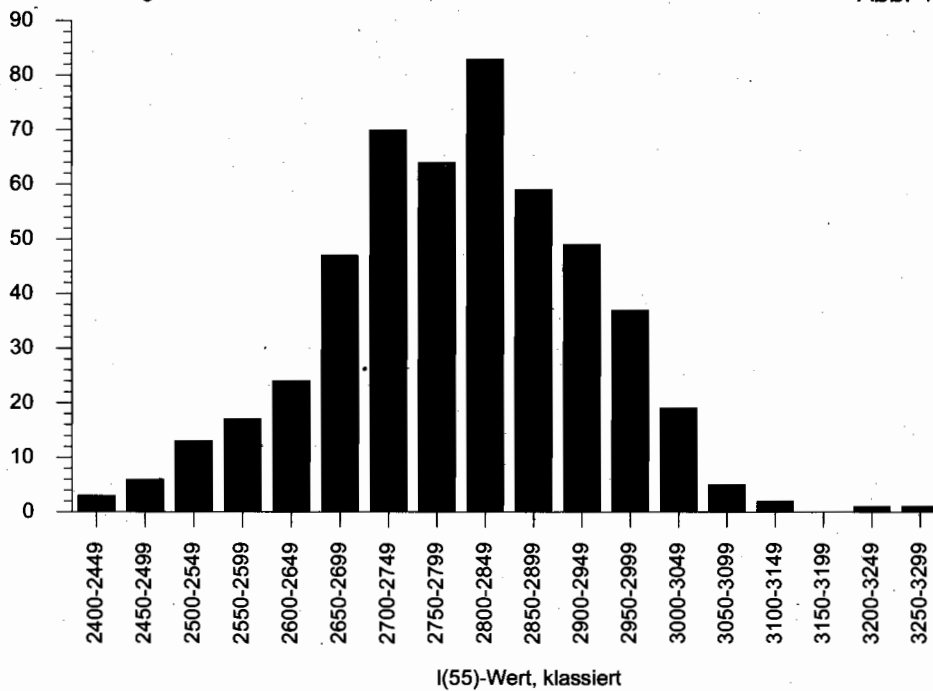
Abb. 4a,b: Verteilung der $l(30)$ - und $l(55)$ -Werte aus mit 500 Zufallsziehungen ermittelten Absterbeordnungen nach der Halley-Methode für die Ikitzepe-Skelettbevölkerung (bei einer Simulation für jeweils 10.000 Personen im Alter 20)

Fig. 4a,b: Distribution of $l(30)$ - and $l(55)$ -values for Halley life tables for the Ikitzepe skeletal population constructed from 500 random draws (for a simulation with 10,000 survivors at age 20)



absolute Häufigkeit

Abb. 4b



Quelle: Eigene Berechnungen

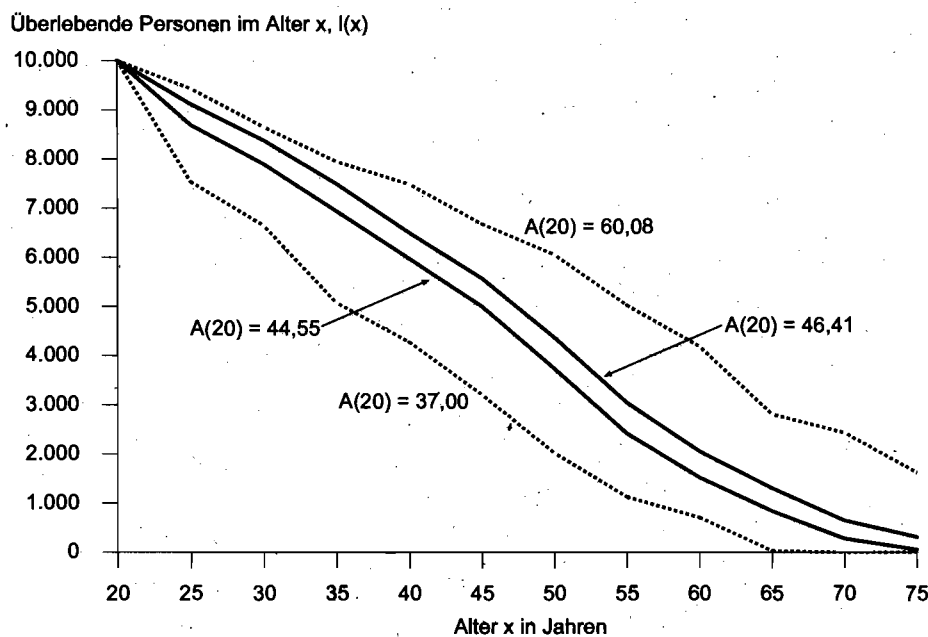
dessen Gestalt und Breite sich ausschließlich aus den gegebenen Altersspannen der 673 Individuen ergibt (Abb. 5). Beim Vergleich des *Halley*-Bandes mit den ebenfalls in der Grafik dargestellten Grenzwerten der Extremwerte wird deutlich, dass sich die mit der Monte Carlo-Methode gewonnenen Absterbeordnungen in einem überraschend engen Bereich bündeln, obwohl die gesamte Unsicherheit in die Analyse einbezogen wurde. Der Unsicherheitsbereich für das aus den neu gewonnenen Verläufen abgeleitete durchschnittliche Sterbealter ab Alter 20 $A(20)$ liegt zwischen 44,55 und 46,41 Jahren. Der Schwankungsbereich beträgt also nicht einmal mehr zwei Jahre (im Vergleich zur Unsicherheit von 23 Jahren unter Verwendung der jeweiligen Extremwerte). Im Vergleich zur Ausgangssituation, bei der man eigentlich gar nichts aussagen konnte, gewinnt man durch die hier vorgeschlagene Methode des *Halley*-Bandes einen Bereich für die gesuchte Absterbeordnung, mit dem ein bestimmtes Mortalitätsmuster beschrieben und charakterisiert werden kann.

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass mit diesem Verfahren keine 95 %-Konfidenzintervalle für die einzelnen $I(x)$ -Werte oder gar ein 95 %-Konfidenzband für den gesamten $I(x)$ -Verlauf (Absterbeordnung) konstruiert wird. Die Aufgabe eines Konfidenzintervalles bzw. -bandes besteht darin, mit Hilfe einer Stichprobe Aussagen über die unbekannte Grundgesamtheit zu gewinnen (für den Bereich der Sterbetafelanalyse siehe Luy 2004). Dies ist hier schon aufgrund der Restriktionen ausgeschlossen, die sich aus der zwangsweise anzuwendenden *Halley*-Methode ergeben (Konstruktion einer Absterbeordnung allein auf der Basis von

Sterbefällen). Das *Halley*-Band beschreibt also nicht die Sterblichkeit einer unbekanntenen Grundgesamtheit, sondern allein die Sterblichkeit der jeweiligen stationären Skelettbevölkerung, wobei die Breite des Bandes ausschließlich die aus der Altersbestimmung resultierende Unsicherheit bezüglich der individuellen Sterbealter zum Ausdruck bringt. Im vorliegenden Fall charakterisiert das *Halley*-Band also den 95%igen Unsicherheitsbereich einer Absterbeordnung für die 673 altersbestimmten Individuen des Gräberfeldes Ikiztepe. Eine weiter gehende demographische Interpretation des *Halley*-Bandes darf daher nicht erfolgen.

Abb. 5: (95%-) *Halley*-Band ab Alter 20 für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung nach 500 Zufallsziehungen (durchgezogene Linien) im Vergleich zu den aus Ober- und Untergrenzen für die Sterbealter ermittelten Absterbeordnungen (gestrichelte Linien)

Fig. 5: (95%-) *Halley* band from age 20 for the Ikiztepe skeletal population using 500 random draws (solid lines) in comparison to the survivorship functions using the upper and lower limits for the ages at death (dotted lines)



Quelle: Eigene Berechnungen

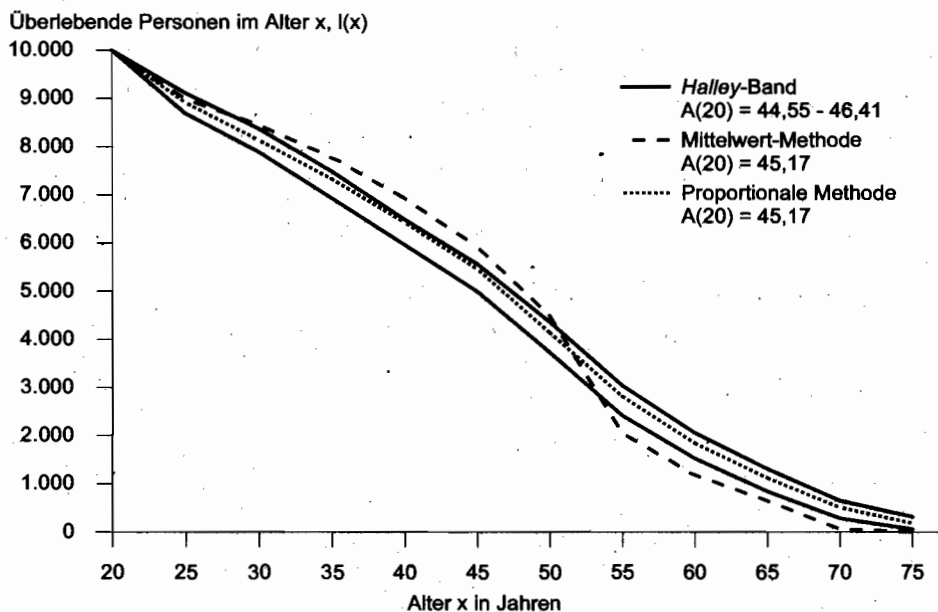
5 Eigenschaften des *Halley*-Bandes im Vergleich zu alternativen Möglichkeiten der Konstruktion einer Absterbeordnung

Man könnte zu Recht sagen, die Überlegungen mit aus vorgegebener Altersober- und -untergrenze konstruierten Absterbeordnungen zu beginnen und das *Halley*-Band damit zu vergleichen, ist nicht aussagekräftig, da diese Extreme von vorne-

rein viel zu unwahrscheinlich sind. Ein logischer Startpunkt oder eine vielleicht sogar auf der Hand liegende Analysemöglichkeit des Datenmaterials ist es, für jede Person jenes Sterbealter anzunehmen, welches genau in der Mitte der jeweiligen Sterbealtersspanne liegt. Obwohl die jeweils mittleren Alter natürlich theoretisch möglich sind, würde diese Vorgehensweise bei jedweder Mortalitätsanalyse zu völlig verzerrten Resultaten führen, worauf bereits in früheren Arbeiten von *Dinkel et al.* (2000) und *Luy et al.* (2001) hingewiesen wurde. In diesem Fall bekämen nämlich alle Individuen mit schlecht erhaltenen Überresten, die zu einer Sterbealtersbestimmung von z. B. 20-80 Jahren führen, ein Sterbealter im Bereich 45-55 Jahre zugewiesen (im genannten Beispiel exakt 50 Jahre). Dies hätte zur Folge, dass die so ermittelte Absterbeordnung im Vergleich zum *Halley*-Band zu Beginn wesentlich günstiger verlaufen würde, weil sehr viele Personen bis zum Alter 45 überleben. Im höheren Erwachsenenalter verlief diese Absterbeordnung schließlich deutlich ungünstiger, weil der Großteil der Population in dem engen Bereich von Alter 45 bis 55 stirbt, so dass die Absterbeordnung aufgrund der vielen Sterbefälle in diesem Altersabschnitt sehr stark abfällt. Letztlich beschreibt die so resultierende $l(x)$ -Verteilung einen Verlauf, der nach allen Kenntnissen über die Sterblichkeit nicht als realistische Absterbeordnung für eine menschliche Bevölkerung angesehen werden kann (siehe Abb. 6).

Abb. 6: (95 %-) Halley-Band ab Alter 20 für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung im Vergleich zu Absterbeordnungen aus den Mittelwerten der Sterbealtersintervalle und nach der Proportionalen Methode

Fig. 6: (95 %-) Halley band from age 20 for the Ikiztepe skeletal population in comparison to survivorship functions calculated from the means of the intervals for ages at death and by using the proportional method



Quelle: Eigene Berechnungen

Eine in der Anthropologie häufig angewandte Alternative ist die sogenannte „Proportionale Methode“. Bei dieser Vorgehensweise werden die Sterbealter der einzelnen Individuen gemäß einer gleichverteilten Wahrscheinlichkeit in die jeweiligen Altersintervalle aufgeteilt. Eine Person mit einem determinierten Sterbealter von 20-30 Jahren würde bei diesem Verfahren mit dem Wert $\frac{1}{2}$ der Altersgruppe 20-25 und $\frac{1}{2}$ der Altersgruppe 25-30 zugewiesen. Ein Individuum mit einem Sterbealter zwischen 38 und 50 (also einem Intervall von 13 Einzelaltern) würde mit dem Wert $\frac{2}{13}$ ins Intervall 35-40, $\frac{5}{13}$ ins Intervall 40-45, $\frac{5}{13}$ ins Intervall 45-50 und $\frac{1}{13}$ ins Intervall 50-55 eingehen (zur genaueren und mathematischen Beschreibung des Verfahrens siehe *Boldsen* 1988). Auf diese Weise wird letztlich eine Absterbeordnung konstruiert, die einen möglichen Verlauf entsprechend der vorgegebenen Sterbealtersbereiche darstellt. Sie sollte also innerhalb des *Halley*-Bandes liegen, wenngleich sie nicht notwendigerweise exakt in der Mitte verlaufen muss. Genau das ist auch in Abbildung 6 zu erkennen. Allerdings berücksichtigt die Proportionale Methode trotz ihrer im Vergleich zur Mittelwert-Methode logisch richtigen Vorgehensweise nicht die den Ausgangsdaten zugrunde liegende Unsicherheit in den einzelnen Sterbealtersintervallen. Auch die Proportionale Methode ist daher keine sinnvolle Alternative zur Methode des *Halley*-Bandes. Wie bereits eingangs ausgeführt, würde eine einzige die Sterblichkeit der Skelettbevölkerung charakterisierende Absterbeordnung ein unzulässig sicheres Bild suggerieren. Die Proportionale Methode liefert lediglich einen möglichen Verlauf für die zugrunde liegende Absterbeordnung, der aber keineswegs wahrscheinlicher ist als jeder andere innerhalb des *Halley*-Bandes. Da beide vorgestellten Alternativen (Mittelwert- und Proportionale Methode) die Mitte der Sterbealtersintervalle – wenn auch auf völlig unterschiedliche Weise – charakterisieren, muss das durchschnittliche Sterbealter nach der jeweiligen Absterbeordnung in beiden Fällen identisch sein. Dies ist auch der Fall, denn aus beiden Absterbeordnungen resultiert für $A(20)$ der Wert 45,17 (siehe Abb. 6).

Ein drittes alternatives Verfahren, das z. B. von *Boldsen* (1988) favorisiert wird, ist die „Maximum-Likelihood-Methode“. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht in der Veränderung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der einzelnen Altersstufen innerhalb der individuellen Sterbealtersintervalle entsprechend ihrem jeweiligen Gewicht im Verhältnis zum Gewicht der anderen sich überschneidenden Altersintervalle. Damit entsteht eine Abhängigkeit zwischen den Beobachtungen im rekonstruierten Sterblichkeits-Regime. Ganz abgesehen davon, dass auf diese Weise die einzelnen Personen nicht mit dem gleichen, sondern ganz unterschiedlichen Gewichten in die Analyse eingehen, was mit der demographischen Logik einer Mortalitätsanalyse nicht vereinbar ist, führt auch dieses Verfahren zu einer einzigen Absterbeordnung, die darüber hinaus nicht einmal mehr die wirkliche Information des Daten-Ausgangsmaterials abbildet.

Aus den geschilderten Gründen kann keines der traditionellen anthropologischen Verfahren als sinnvolle Alternative zur vorgeschlagenen Methode des *Halley*-Bandes angesehen werden. Mit Test-Simulationen lässt sich zeigen, dass das *Halley*-Band auch unter unterschiedlichen Bedingungen robuste und logisch konsistente Ergebnisse liefert. Eine Vergrößerung der Intervallbreiten für die Sterbealtersintervalle führt zu einem breiteren *Halley*-Band mit einem größeren Intervall für das durchschnittliche Sterbealter $A(x)$, eine Verringerung der Intervallbreiten analog zu einem enge-

ren *Halley*-Band mit einem geringeren Intervall für das durchschnittliche Sterbealter. Das *Halley*-Band erweist sich daneben auch bezüglich der Anzahl an Monte Carlo-Simulationen als außerordentlich robust, so dass auch 300 Zufallsziehungen in jedem Fall ausreichen sollten, um stabile Grenzverläufe für das *Halley*-Band zu erhalten. Das genaue Minimum an erforderlichen Simulationsläufen hängt letztlich von der Fallzahl und der Breite der individuellen Altersintervalle ab, da sich die mögliche Schwankungsbreite bei engeren Intervallen durch weniger Ziehungen ermitteln lässt als bei breiteren Altersintervallen.

Einen wichtigen Einfluss auf die Gestalt des *Halley*-Bandes hat die erforderliche Annahme für das höchste erreichbare Sterbealter, das im Fall der Ikiztepe-Skelettbevölkerung auf 80 Jahre festgesetzt wurde. Letztlich bedeutet die Festlegung einer solchen maximalen Altersgrenze jedoch nicht, dass aufgrund der anthropologischen Skelettanalysen ein höheres Sterbealter ausgeschlossen werden kann. Diese Höchstaltersgrenze resultiert ausschließlich aus Vorstellungen über die maximale Lebensdauer in der Vergangenheit. Gerade im Hinblick auf das geschätzte durchschnittliche Sterbealter könnte sich die jeweilige Annahme aber in durchaus nennenswerter Weise auswirken. Das hängt natürlich davon ab, für wie viele der Skelette keine obere Altersgrenze fixiert werden kann. Bei der Ikiztepe-Skelettbevölkerung betrifft dies 51 der 673 Individuen, so dass der Einfluss dieses Effekts auf das Endergebnis hier zwar erkennbar sein sollte, jedoch im Vergleich zu einer Skelettbevölkerung mit größerer Bestimmungsunsicherheit sich nicht allzu stark auswirken dürfte. Dies lässt sich sehr einfach verdeutlichen, indem für die Ikiztepe-Skelettbevölkerung alternative *Halley*-Bänder für Maximalalter von 90 bzw. 100 Jahren konstruiert werden. Während das *Halley*-Band bei einem Maximalalter von 80 Jahren Absterbeordnungen beschreibt, die zu einer Variation im Parameter $A(20)$ von 1,86 Jahren führen (44,55 - 46,41), beträgt die Schwankungsbreite von $A(20)$ bei einem Maximalalter von 90 Jahren 1,97 Jahre (45,22 - 47,19) bzw. bei einem Maximalalter von 100 Jahren 2,09 Jahre (45,92 - 48,01).

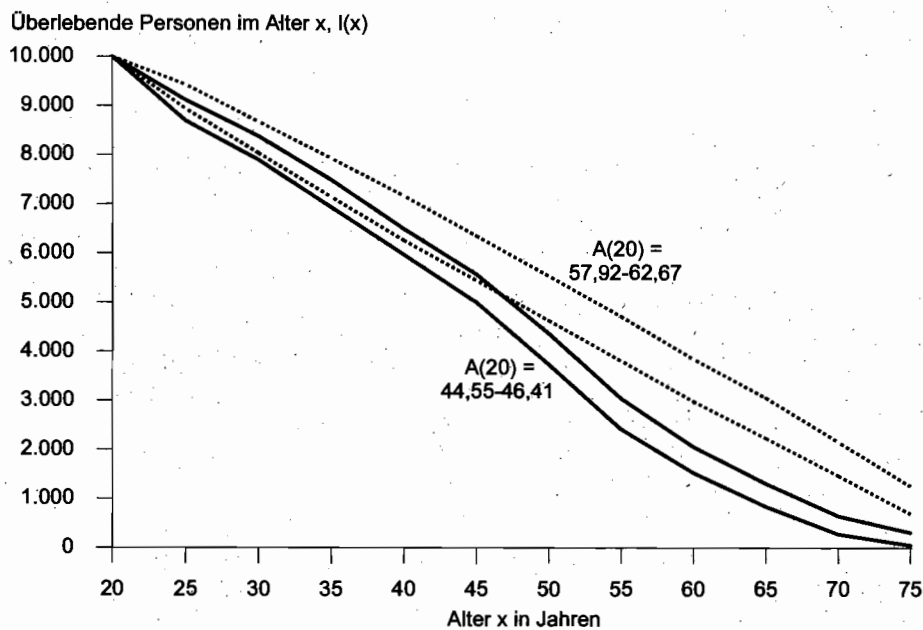
Dass die Intervalle dabei nicht nur breiter werden, sondern sich auch im Mittel nach oben verschieben, liegt daran, dass höhere Maximalsterbealter zu einem im gesamten Verlauf günstigeren *Halley*-Band führen. Dies ist allerdings keine Schwäche des *Halley*-Bandes, sondern allein den zugrunde liegenden Verfahren für die Altersbestimmung der Skelette geschuldet. Das *Halley*-Band selbst erbringt für die jeweilige Datengrundlage logisch konsistente Resultate. Der Anwender muss sich jedoch darüber im Klaren sein, dass die Wahl der möglichen Altersobergrenze das Gesamtergebnis durchaus beeinflussen kann. Dies gilt aber gleichermaßen für alle hier vorgestellten alternativen Verfahren zur Beschreibung der Mortalitätsverhältnisse einer Skelettbevölkerung. Das mit dem *Halley*-Band charakterisierte Sterblichkeitsmuster der Skelettbevölkerung verändert sich dagegen nicht bei einer Veränderung der Höchstaltersgrenze. Eine Veränderung der Höchstaltersgrenze verschiebt lediglich die gesamte Struktur des *Halley*-Bandes in einen flacheren und längeren bzw. steileren und kürzeren Verlauf.

Das *Halley*-Band hat neben den genannten Vorzügen schließlich noch eine weitere nützliche Eigenschaft, über die kein anderes Verfahren zur paläodemographischen Mortalitätsanalyse verfügt. Es ermöglicht nämlich, die Qualität der zugrunde liegenden Skelettdaten einzuschätzen. Dafür kann man die Methode des *Halley*-Bandes

auf den hypothetischen Fall anwenden, dass von den vorliegenden Skeletten keinerlei Altersbestimmung möglich ist. Im Falle der Iquiztepe-Skelettbevölkerung bedeutet das, dass alle 673 Individuen mit dem Altersintervall 0 bis 80 (als angenommene mögliche Obergrenze) eingehen. Vergleicht man hiermit das aus den tatsächlichen Daten konstruierte *Halley*-Band, dann kann man für die Interpretation der Breite und der Struktur des *Halley*-Bandes abschätzen, wie weit diese von der Situation völliger Unkenntnis abweichen. In Abbildung 7 sind diese beiden (95%-) *Halley*-Bänder dargestellt. Es zeigt sich, dass aus dem Fall völliger Unkenntnis doch ein auf den ersten Blick überraschend enges *Halley*-Band resultiert, das wie zu erwarten die Diagonale des Diagramms umschließt. Es ist mit einem Schwankungsbereich für das durchschnittliche Sterbealter ab Alter 20 $A(20)$ von 4,75 Jahren um lediglich etwa drei Jahre breiter als das aus den anthropologischen Bestimmungen konstruierte *Halley*-Band. Jedoch unterscheidet sich das Muster des *Halley*-Bandes für die Absterbeordnung der tatsächlichen Iquiztepe-Skelettbevölkerung mit zunehmendem Alter immer deutlicher von dem der Bevölkerung ohne Alterskenntnis. Dies

Abb. 7: (95%-) *Halley*-Band ab Alter 20 für die Iquiztepe-Skelettbevölkerung (durchgezogene Linien) im Vergleich zu einem *Halley*-Band für den Fall völlig unbekannter Sterbealter (gestrichelte Linien) bei jeweils 500 Simulationsläufen

Fig. 7: (95%-) *Halley* band from age 20 for the Iquiztepe skeletal population (solid lines) in comparison to a *Halley* band with no information about ages at death (dotted lines) using 500 random draws in both cases



Datenquelle: Eigene Berechnungen

zeigt, dass man durch das hier vorgeschlagene Verfahren tatsächlich demographisch relevante Informationen über eine Absterbeordnung mit einem ganz charakteristischen Verlauf gewonnen hat.

Dennoch befindet sich der mit dem *Halley*-Band ermittelte Unsicherheitsbereich für die Absterbeordnung der Ikiztepe-Skelettbevölkerung erstaunlich nahe an dem Fall völliger Unkenntnis. Dies liegt aber nicht an dem vorgeschlagenen Verfahren, sondern es zeigt, dass trotz des guten Erhaltungszustandes der Skelette die verbleibende Unsicherheit für die Erwachsenen immer noch sehr nahe an derjenigen der Altersunkenntnis liegt. Das ist auch tatsächlich der Fall, denn es gibt im Ikiztepe-Datensatz sehr viele erwachsene Individuen mit weiten Intervallen für das Sterbealter, wie zu Beginn dieses Beitrags beschrieben wurde (siehe auch Abb. 1). Durch die hier vorgeschlagene Methode kann aber erreicht werden, dass die besser altersbestimmbaren Individuen der mit dem *Halley*-Band dargestellten Absterbeordnung einen charakteristischen Verlauf geben, ohne dabei überproportional stark gewichtet zu werden wie bei der „Maximum-Likelihood-Methode“. Somit können trotz der bleibenden großen Unkenntnis wichtige demographische Informationen erhalten werden.

6 Resümee

Der vorliegende Beitrag hat gezeigt, dass die vorgeschlagene Methode zur Konstruktion eines *Halley*-Bandes für die Mortalitätsanalyse einer Skelettbevölkerung robuste und gewinnbringende Resultate liefert. Die Bezeichnung dieses Bandes zur Charakterisierung der Absterbeordnung einer Skelettbevölkerung ergibt sich aus der Tatsache, dass eine paläodemographische Mortalitätsanalyse grundsätzlich nur auf einer Altersverteilung von Sterbefällen beruhen kann. Die Rekonstruktion einer Absterbeordnung allein aus Altersangaben über Sterbefälle wird in der Demographie als „*Halley*-Verfahren“ bezeichnet. Die bei der Durchführung des Verfahrens in dieser Arbeit angenommenen gleichverteilten Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Altersstufen innerhalb der Sterbealtersintervalle entsprechen einer traditionellen anthropologischen Vorstellung. Wie beschrieben, ist es technisch aber kein Problem, bei der Zufallsziehung eine andere Wahrscheinlichkeitsverteilung innerhalb der Sterbealtersintervalle zugrunde zu legen, wie dies den neueren Forschungsansätzen, insbesondere dem Rostocker Manifest folgend, geschehen sollte (*Hoppa/Vaupel* 2002). Mit hoher Wahrscheinlichkeit würde sich dann der resultierende Unsicherheitsbereich von demjenigen der Gleichverteilungsannahme unterscheiden. Ob dies auch für das Muster der durch das *Halley*-Band gezeichneten Absterbeordnung gilt, bleibt jedoch fraglich und müsste im konkreten Fall getestet werden.

Es muss noch einmal herausgestellt werden, dass es sich bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren weder um eine neue Methode der Altersbestimmung noch um eine Technik zur Bestimmung von Konfidenzintervallen oder -bändern im statistischen Sinne handelt, weshalb auch von der Verwendung dieser Begriffe in dem vorliegenden Beitrag ganz bewusst abgesehen wurde. Für letzteres müssten noch eigene Verfahren entwickelt werden, die auf dem hier beschriebenen *Halley*-Band aufbauen sollten, das lediglich die Unsicherheiten in den Sterbealtern der gefundenen Skelettbevölkerung beschreibt und nicht die Absterbeordnung einer umfassenderen

Grundgesamtheit. Ob ein derartiges Vorhaben jedoch aufgrund der eingangs beschriebenen nicht zu klärenden Repräsentativitätsfrage sinnvoll wäre, scheint zweifelhaft. Das Verfahren des *Halley*-Bandes ist allein ein Vorschlag für den Schritt der Mortalitätsanalyse eines Gräberfeldes, der sich an die eigentliche anthropologische Arbeit der Altersbestimmung anschließt und ausschließlich den abschließenden Bereich der demographischen Auswertung des Datenmaterials betrifft. Hierfür scheint das *Halley*-Band eine wesentlich besser geeignete Methode zu sein als die bislang in der Anthropologie verwendeten Verfahren, da es den unvermeidlich vorgegebenen Unsicherheitsbereich im Datenmaterial in angemessener Weise berücksichtigt. Die anderen in der Einleitung dargestellten Restriktionen paläodemographischer Forschung können jedoch (zumindest bislang) durch keine Analysetechnik beseitigt werden und müssen bei der Interpretation der Daten immer berücksichtigt werden, also auch bei Verwendung des vorgeschlagenen *Halley*-Bandes.

Anmerkungen

- ¹ Auch das Geschlecht derartiger Skelettfunde kann nicht immer mit ausreichender Wahrscheinlichkeit bestimmt werden. Da dieses Problem jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, wird es bei der praktischen Anwendung dadurch umgangen, dass die Analysen nur für die gesamte Skelettbevölkerung durchgeführt werden.
- ² Bei einer Sterblichkeitsanalyse ab Alter 0 kann $A(0)$ auch direkt aus den einzelnen Sterbealtern berechnet werden. Beginnt man, wie in diesem Beitrag, jedoch in einem höheren Alter x , dann müssen die Absterbeordnungen – wie im Text beschrieben – auf einen festen Ausgangsbestand im Alter x normiert werden, so dass $A(x)$ dann nur aus der Absterbeordnung abgeleitet werden kann.
- ³ Für den Fall einer anderen Wahrscheinlichkeitsverteilung ist lediglich ein entsprechender Computer-Algorithmus notwendig, der an Stelle der hier verwendeten Gleichverteilungsannahme einzusetzen ist.

Summary

The paper proposes a computer aided procedure for the construction of Halley bands, which can be used for the mortality analysis of skeletal populations. It is based on demographic methods and takes into consideration the uncertainty regarding the estimated ages at death for each of the individual skeletons. The main difficulty connected with the mortality analysis of a prehistoric graveyard is the wide age range of the age estimates based on morphological ageing traits in the skeleton, whose amount for each of the skeletons within a population depends on the state of preservation and the applied methods for age estimation. The method developed here is an application of the Monte Carlo method, which extracts an exact age at death out of the given age range by a random generator for each skeleton as basic data for the construction of a survivorship function. If this procedure is reproduced for a sufficient number of extractions, this results into a relatively narrow bundle of survivorship functions, characterising the specific mortality pattern of the observed skeletal population and including the uncertainty of the individual age estimations. The borders of the Halley band can be defined by including the innermost 95 per cent of the survivorship functions and therefore excludes unlikely age values. Model

simulations and comparisons to the standard anthropological techniques for the construction of a life table show that the Halley band method provides robust and informative results for paleodemographic mortality analysis. However, the necessary application of the Halley method has major implications for the interpretation of mortality patterns of past populations and does not overcome the general problems of paleodemographic analysis.

Résumé

La présente contribution propose, pour analyser la mortalité d'une population historique de squelettes, un procédé assisté par ordinateur permettant de construire des baneleaux de Halley se fondant sur des méthodes démographiques d'analyse, tout en tenant compte des incertitudes que contiennent les données relatives à l'âge individuel de décès. La plus grosse difficulté dans l'analyse de mortalité pratiquée sur un champ de sépultures réside dans le fait que l'âge de décès des squelettes ne peut être déterminé que par tranches d'âges, selon le degré de conservation du squelette et la méthode utilisée pour en déterminer l'âge, les tranches d'âge pouvant recouvrir des périodes plus ou moins longues. Le procédé proposé applique la méthode de Monte Carlo; en l'occurrence, on tire des intervalles d'âges indiqués des âges exacts de décès au moyen d'un générateur de nombres aléatoires et à partir de cela, on construit des fonctions de survie. En répétant cette procédure suffisamment de fois, on constitue une palette relativement étroite de divers fonctions de survie, qui caractérise l'échantillon spécifique de mortalité de la population de squelettes considérée en excluant les incertitudes relatives aux âges individuels de décès. Les limites du baneleaux de Halley sont finalement obtenues par les 95% internes des fonctions de survie, afin d'éliminer ainsi les valeurs extrêmes invraisemblables. Divers tests sur des modèles et des comparaisons avec les procédés anthropologiques utilisés habituellement pour construire des tables de mortalité montrent que la méthode de baneleaux de Halley fournit des résultats robustes et productifs pour l'analyse paléodémographique de la mortalité, dans la mesure où on aura tenu compte des difficultés d'interprétation résultant obligatoirement de l'utilisation de cette méthode pour construire une fonction de survie pour une population de squelettes.

Literaturverzeichnis

- Acsadi, Gyula; Nemeskeni, Janos, 1970: History of Human Life Span and Mortality. Budapest: Akadémiai Kiadó*
- Akritis, Michael G., 1986: Bootstrapping the Kaplan-Meier estimator. In: Journal of the American Statistical Association 81: 1032-1038*
- Alkim, U. Bahadır; Alkim, Handan; Bilgi, Önder, 2003: İkiztepe II. Türk Tarih Kurumu Yayinlari 5; 39a. Ankara: Türk Tarih Kurumu*
- Bocquet-Appel, Jean-Pierre; Masset, Claude, 1982: Farewell to paleodemography. In: Journal of Human Evolution 11: 321-333*
- Böckh, Richard, 1893: Halley als Statistiker. Zur Feier des zweihundertjährigen Bestehens von Halley's Sterblichkeitstafel. In: Bulletin de l'Institut International de Statistique 8,1: 1-24*

- Boldsen, Jesper L.*, 1988: Two Methods for reconstructing the empirical mortality profile. In: *Human Evolution*, 3,5: 335-342
- Boldsen, Jesper L.; Milner, George R.; Koenigsberg, Lyle W.; Wood, James W.*, 2002: Transition analysis: a new method for estimating age from skeletons. In: *Hoppa, Robert D.; Vaupel, James W.* (Hrsg.): *Paleodemography. Age distributions from skeletal samples*. Cambridge University Press, Cambridge: 73-106
- Buckberry, Jo L.; Chamberlain, Andrew T.*, 2002: Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method. In: *American Journal of Physical Anthropology* 119: 231-239
- Buikstra, Jane; Ubelaker, Douglas*, 1994: Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. *Proceedings of the Field Museum of Natural History, Arkansas. Archaeological Survey Research Series*, 44
- Chiang, Chin Long*, 1984: *The Life-Table and its Applications*. Malabar: Krieger
- Dinkel, Reiner H.*, 1989: *Demographie*. Bd. 1: *Bevölkerungsdynamik*. München: Vahlen
- Dinkel, Reiner H.; Wittwer-Backofen, Ursula; Luy, Marc*, 2000: How to construct a life table when mortality data are only available over wider and overlapping age ranges. Manuskript zum Vortrag, gehalten beim *Paleodemography Workshop am Max-Planck Institut für demografische Forschung, Rostock*, 4. August 2000
- Dupâquier, Jacques*, 1996: *L'invention de la table de mortalité. De Graunt à Wargentin 1662-1766*. Paris: Presses Universitaires de France
- Efron, Bradley*, 1979: Bootstrap methods. Another look at the jackknife. In: *Annals of Statistics* 7: 1-26
- Efron, Bradley*, 1981: Censored data and the bootstrap. In: *Journal of the American Statistical Association* 76: 312-319
- Efron, Bradley*, 1988: Logistic regression, survival analysis and the Kaplan-Meier curve. In: *Journal of the American Statistical Association* 83: 414-425
- Feichtinger, Gustav*, 1979: *Demographische Analyse und populationsdynamische Modelle*. *Grundzüge der Bevölkerungsmathematik*. Wien und New York: Springer
- Ferembach, Denise; Schwidetzky, Ilse; Stloukal, Milan*, 1979: Empfehlungen für die Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett. In: *Homo* 30: 1-32
- Fischer, Philipp*, 1860: *Grundzüge des auf menschliche Sterblichkeit gegründeten Versicherungswesens*. Oppenheim am Rhein: Kern
- Grupe, Gisela; Christiansen, Kerrin; Schröder, Inge; Wittwer-Backofen, Ursula*, 2004: *Anthropologie*. Ein einführendes Lehrbuch. Heidelberg: Springer
- Halley, Edmond*, 1693: An Estimate of the Degrees of the Mortality of Mankind, drawn from curious Tables of the Births and Funerals at the City of Breslau, with an Attempt to ascertain the price of Annuities upon Lives. In: *R.S.S. (Philosophical Transactions)*, Nr. 196: 596-610
- Hoppa, Robert D.; Vaupel, James W.*, 2002: The Rostock Manifesto for paleodemography: the way from stage to age. In: *Hoppa, Robert D.; Vaupel, James W.* (Hrsg.): *Paleodemography. Age distributions from skeletal samples*. Cambridge University Press, Cambridge: 1-8
- Kemkes-Grottenthaler, Ariane*, 2002: Aging through the ages: historical perspectives on age indicator methods. In: *Hoppa, Robert D.; Vaupel, James W.* (Hrsg.): *Paleodemography. Age distributions from skeletal samples*. Cambridge University Press, Cambridge: 48-72

- Koenigsberg, Lyle W.; Frankenberg, Susan R., 2002: Deconstructing death in paleodemography. In: *American Journal of Physical Anthropology* 117: 297-309
- Luy, Marc, 2003: Der Astronom Edmund Halley und die erste echte Sterbetafel – oder war alles nur ein Missverständnis? In: *Zeitschrift für Bevölkerungswissenschaft* 28,1: 119-121
- Luy, Marc, 2004: Mortalitätsanalyse in der Historischen Demographie. Die Erstellung von Periodensterbetafeln unter Anwendung der Growth-Balance-Methode und statistischer Testverfahren. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung Bd. 34, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Luy, Marc; Wittwer-Backofen, Ursula; Dinkel, Reiner H., 2001: Eine Simulations-Methode zur Konstruktion paläodemographischer Sterbetafeln. Manuskript zum Vortrag „Eine Möglichkeit der Sterbetafelkonstruktion bei großen Altersspannen in der Paläodemographie“, gehalten beim Herbstseminar „Paläodemographie – anthropologische, bevölkerungswissenschaftliche und statistisch-methodische Aspekte“, veranstaltet vom Arbeitskreis Bevölkerungswissenschaftliche Methoden der Deutschen Gesellschaft für Bevölkerungswissenschaft DGBw, dem Lehrstuhl für Demographie an der Universität Rostock und der Arbeitsgemeinschaft Bevölkerungsbio-logie/Populationsgenetik in der Gesellschaft für Anthropologie, Rostock, 22.10.1999
- Milner, George R.; Wood, James W.; Boldsen, Jesper L., 2000: Paleodemography. In: Katzenberg, M. Anne; Saunders, Shelly R. (Hrsg.): *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. Wiley-Liss, New York u.a.: 467-497
- Moser, Ludwig, 1839: Die Gesetze der Lebensdauer nebst Untersuchungen über Dauer, Fruchtbarkeit der Ehen, über Tödtlichkeit der Krankheiten, Verhältniß der Geschlechter bei der Geburt, über Einfluß der Witterung u.s.w. und einem Anhang, enthaltend die Berechnung der Leibrenten, Lebensversicherungen, Witwenpensionen und Tontinen. Berlin: von Veit und Comp
- Nemeskeri, Janos; Harsanyi, L.; Acsadi, Gyula, 1960: Methoden zur Diagnose des Lebensalters von Skelettfunden. In: *Anthropologischer Anzeiger* 24: 70-95
- Pressat, Roland, 1972: *Demographic analysis. Methods, results, applications*. Chicago, New York: Aldine-Atherton
- Shryock, Henry S.; Siegel, Jacob S., 1971: *The methods and materials of demography*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office
- Van Gerven, Dennis P.; Armelagos, George J., 1983: "Farewell to paleodemography?" Rumors of its death have been greatly exaggerated. In: *Journal of Human Evolution* 12: 353-360
- von Mayr, Georg, 1926: *Statistik und Gesellschaftslehre. Zweiter Band: Bevölkerungsstatistik*. Tübingen: Mohr
- Wappäus, Johann E., 1861: *Allgemeine Bevölkerungsstatistik. Vorlesungen, Zweiter Theil*. Leipzig: Hinrichs
- Weiss, Kenneth M., 1976: The demographic stability of small human populations. In: *Journal of Human Evolution* 5: 351-381
- Wittwer-Backofen, Ursula, 1985: Paleodemography of the Early Bronze Age Cemetery of Ikiztepe/Samsun. In: *Arastirma Sonuclari Toplantisi* 1985: 175-190
- Wittwer-Backofen, Ursula, 1987: Anthropologische Untersuchungen der Nekropole Ikiztepe Samsun. In: *Arastirma Sonuclari Toplantisi* 1987: 421-428

Wittwer-Backofen, Ursula, 1988a: Überblick über den aktuellen Stand paläodemographischer Forschung. In: *Homo* 38: 151-160

Wittwer-Backofen, Ursula, 1988b: Stable or Stationary populations in paleodemography? The variability of demographic patterns in small groups. In: *Rivista di Antropologia* LXVI: 175-184

Wittwer-Backofen, Ursula; Gampe, Jutta; Vaupel, James W., 2004: Tooth cementum annulation for age estimation: results from a large known-age validation study. In: *American Journal of Physical Anthropology* 123: 119-129

(Anschrift d. Verf.: Prof. Dr. Marc Luy, Universität Rostock, Institut für Soziologie und Demographie, Ulmenstr. 69, 18057 Rostock, E-Mail: email@marc-luy.de, URL: <http://www.marc-luy.de>; Prof. Dr. Ursula Wittwer-Backofen, Institut für Human-genetik und Anthropologie, Universität Freiburg, Albertstr. 9, 79104 Freiburg, ursula.wittwer-backofen@uniklinik-freiburg.de)