

Bemerkungen zur Relevanz von Körpergrößenermittlungen aus kleinen Knochenmaßen

Eberhard May

Die Gesamtkörpergrößen von Skelettindividuen zu kennen ist sowohl in der prähistorischen Anthropologie als auch in der Archäozoologie von hohem Interesse. Dies gilt nicht nur wegen der Größenbeurteilung an sich, sondern hat vor allem auch für die Interpretation von Proportionen einerseits und der Variabilitätsparameter andererseits Bedeutung (MAY 1992; TEICHERT et al. 1996).

Die Rekonstruktion von Gesamtkörpergrößen aus Längenmaßen einzelner Skelettelemente ist daher in diesen Forschungsrichtungen eine weit verbreitete Technik. In der Regel werden dazu lineare Regressionen zwischen einem Knochenmaß und einem Maß für die Körpergröße (z. B. Körperhöhe – KH – beim Menschen, Widerristhöhe – WRH – beim nichtmenschlichen Säuger) errechnet, aus denen dann vom Organmaß auf den Körpergrößenparameter geschlossen wird. Entsprechende Berechnungen werden jedoch noch besser aufgrund von nichtlinearen Regressionen durchgeführt, wie sie durch die bekannte Allometrieformel

$$Y = b \times X^a$$

repräsentiert werden. Hierbei liegen die Vorteile in häufig genaueren Anpassungen der Einzelwerte an die Regressionsgerade, also höheren Korrelationskoeffizienten, was dann zu einer Verminderung des Standardfehlers der Schätzung führt. Außerdem ergeben sich eine deutlichere Aussagefähigkeit über relative Wachstumsgeschwindigkeiten der Organmaße und entsprechend augenfälligere Übersichten über körpergrößenabhängige Proportionsverschiebungen – den Allometrien. Darüber hinaus ist bei dieser Methode eine größere Extrapolationsfähigkeit der logarithmischen gegenüber der linearen Regression aus mathematischen Gründen gegeben. Für die Berechnung der KH des Menschen habe ich schon 1976 (MAY 1976) Näherungsformeln vorgeschlagen und für die WRH der Pferde 1985 (MAY 1985) entsprechende Gleichungen errechnet.

Da man bei archäologischem Fundgut häufig vor die Frage gestellt wird, auch aus fragmentarischen Knochen – also relativ kleinen Meßstrecken – die Körpergröße zu ermitteln, sind vor allem in der Anthropologie spezielle Methoden dazu publiziert worden. Ich beziehe mich hier insbesondere auf SONDER und KNUSSMANN (1985, dort weitere Literatur). Grundsätzliches zu deren Vorgehen und Ergebnissen sei hier kurz am Beispiel des kleinen Femurmaßes »*Proximalster Punkt des Caput* (F1) – *Mittelpunkt des Trochanter minor* (F4)« für erwachsene, männliche Individuen erläutert.

Die Hauptprobleme bei der Körpergrößenrekonstruktion aus Organmaßen liegen in der Größe des Schätzfehlers begründet, dessen realistische Einschätzung unabdingbare Voraussetzung für die sinnvolle Anwendung der Methode

überhaupt ist. Für die großen Langknochen des Menschen liegen durch BREITINGER (1937) und BACH (1965) sehr gut fundierte arithmetische Regressionsgleichungen zur Körperhöhenrekonstruktion vor. Diese zeigen im Gegensatz zur Meinung mancher Autoren, daß die Rekonstruktion der Körperhöhe keineswegs deutlich besser gelingen muß, wenn das Organmaß unmittelbar an der Körperhöhe beteiligt ist. So sind die entsprechenden Standardfehler der Schätzung s_{yx} für die größten Längen von Femur und Humerus nach BREITINGER mit $\pm 4,8$ bzw. $\pm 4,9$ nahezu identisch. Im übrigen ziehe ich auch die Meinung von SONDER und KNUSSMANN (1985, 132 unten) in Zweifel, wonach die Einbeziehung mehrerer Meßstrecken eines kleinen Knochenfragmentes für die Abschätzung der Körpergröße ein genaueres Ergebnis liefern würde als nur eine Meßstrecke. Für diese Behauptung fehlen bislang die einwandfreien statistischen Beweise. Lediglich der Einfluß des Meßfehlers könnte hierbei verringert werden, was aber zu keiner nennenswerten Verbesserung der Ergebnisse führen dürfte.

Allgemein kann man aus Knochenfragmenten direkt auf die Körperhöhe (resp. Körpergröße) schließen, indem man die Gleichungen für die Regression von Teilmaßen auf die Organgröße mit den Gleichungen für die Regression von den Organgrößen auf die Körpergröße kombiniert. So ergeben sich die Beziehungen aus den nachstehenden Gleichungen.

Für die Rekonstruktion der Körperhöhe (KH) aus Knochenlängen (KNL) gilt allgemein (arithmetische Regression):

$$(1) KH = a \times KNL + b \pm s$$

Entsprechend läßt sich für die Berechnung von Knochenlängen aus Knochenteilmaßen (KNT) formulieren:

$$(2) KNL = a' \times KNT + b' \pm s'$$

Durch Einsetzen von (2) in (1) und Umformung ergibt sich:

$$(3) KH = a \times a' \times KNT + b + b' \times a \pm (a \times s' + s)$$

Hierbei bedeuten:

a, a' = Steigungsparameter der Regressionsgeraden

b, b' = stichprobenspezifische Grundgrößen der Maße

s, s' = Standardfehler der Schätzung

Setzt man $a \times a' = a''$, $b + b' \times a = b''$ und $a \times s' + s = s''$, dann wird die Gleichung (3) zu

$$(4) KH = a'' \times KNT + b'' \pm s''$$

In diesen von SONDER und KNUSSMANN (hier verändert) abgeleiteten Gleichungen ergibt sich ein resultierender Standardfehler der Schätzung (s'') nach den Gesetzen der Fehlerfortpflanzung. Man erkennt, daß auch die kombinierten Gleichungen für die Ermittlung der Körpergröße aus kleinen Meßstrecken einfache arithmetische Regressionen sind, die adäquat für den Einsatz logarithmierter Meßwerte als Exponentialfunktionen zu schreiben wären. Mit Hilfe der t-Verteilung nach Student kann der *Vertrauensbereich* (VB) von s_{sys} sowie derjenige von Mittelwerten für ein gewünschtes bzw. erforderliches Signifikanzniveau abgeschätzt werden. Durch eben diese Möglichkeit läßt sich beurteilen, in welchen Fällen der Einsatz der beschriebenen Methode zur Ermittlung der Körpergröße aus kleinen Meßstrecken von Knochenfragmenten sinnvoll wird oder zu verwerfen ist. An Beispielen jeweils zur Ermittlung der KH des Menschen (BREITINGER 1937; SONDER & KNUSSMANN 1985) sowie der WRH beim Schwein (TEICHERT 1969) seien die Beziehungen kurz erörtert, wobei die s- und t-Werte für die Stichproben der genannten Autoren als bekannt vorausgesetzt werden können. Die Beziehung zwischen **VB** und **n** kann mit Hilfe der t- oder Student-Verteilung allgemein geschrieben werden:

$$(5) \text{ VB} = \pm t \times s \times n^{-0.5} = 2 \times s \times t \times n^{-0.5}$$

Für die Berechnung der Körperhöhe aus der größten Länge der Femora nach BREITINGER (1937) kann man $s \cong \delta$ setzen. So wird der Vertrauensbereich für dieses Maß bei gegebenem n

$$(6) \text{ VB} = \pm 4,8 \times 1,96 \times n^{-0.5} = \pm 9,408 \times n^{-0.5}$$

In Tabelle 1 sind die 95 %-VB für die größte Länge des Femur bei BREITINGER (1937) sowie das Maß F1-F4 nach SONDER und KNUSSMANN (1985) für die Mittelwerte unterschiedlicher Individuenzahlen berechnet und aufgelistet. Man erkennt, daß bei kleinen Individuenzahlen auch für das große Maß doch sehr erhebliche Schätzfehler kalkuliert werden müssen, so daß erst bei Mittelwerten aus mindestens ca. 30 Individuen Grenzen der Irrtumswahrscheinlichkeit gegeben sind ($\pm 1,7$ cm), die für Populationsvergleiche relevant zu werden beginnen. Allerdings sei daran erinnert, daß sich die Mittelwerte von Stichproben zwar auf dem gewählten Signifikanzniveau unterscheiden, wenn sich deren Vertrauensgrenzen *nicht* überschneiden; überschneiden sie sich aber, können trotzdem relevante Mittelwertsunterschiede bestehen, die dann z. B. mit dem t-Test nachzuweisen wären (SACHS 1976).

Die Tabelle 1 ist in der folgenden Abbildung 1 graphisch dargestellt. Hier wird die Größe des VB in Abhängigkeit von der Stichprobengröße anschaulich vermittelt. Man erkennt zunächst, daß bis etwa $n = 10$ eine sehr starke Abnahme des *absoluten* VB stattfindet, die bei weiterer Zunahme der Anzahl der Meßwerte immer geringer wird. Diese Tendenz gestattet abzuschätzen, inwieweit bei vergleichenden Untersuchungen größere Stichproben auch effektiver und damit erforderlich sein werden. Außerdem erkennt man, daß bei sehr großen Stichproben der Einfluß der Varianz auf den VB sehr klein wird, weshalb dann die Körpergrößenschätzung auch aus kleinen Meßstrecken

Tab. 1: Vertrauensbereiche (95 %) für die Berechnung der Körperhöhe aus der größten Länge des Femur (BREITINGER 1937) sowie aus einem Maß für die Collum-Länge des Femur (SONDER & KNUSSMANN 1985): Caput humeri-Mittelpunkt des Trochanter minor für eine errechnete mittlere Körperhöhe von 170 cm (mit: n = Anzahl der Individuen; U = unterer Grenzwert; O = oberer Grenzwert; VB = 95 %-Vertrauensbereich).

| n | BREITINGER | | | SONDER & KNUSSMANN | | |
|------|------------|-------|----------|--------------------|-------|----------|
| | U | O | VB = O-U | U | O | VB = O-U |
| 1 | 160,6 | 179,4 | 18,8 | 151,3 | 188,7 | 37,3 |
| 2 | 163,3 | 176,7 | 13,3 | 156,8 | 183,2 | 26,4 |
| 3 | 164,6 | 175,4 | 10,9 | 159,2 | 180,8 | 21,6 |
| 4 | 165,3 | 174,7 | 9,4 | 160,7 | 179,3 | 18,7 |
| 5 | 165,8 | 174,2 | 8,4 | 161,7 | 178,3 | 16,7 |
| 10 | 167,0 | 173,0 | 6,0 | 164,1 | 175,9 | 11,8 |
| 15 | 167,6 | 172,4 | 4,9 | 165,2 | 174,8 | 9,6 |
| 20 | 167,9 | 172,1 | 4,2 | 165,8 | 174,2 | 8,3 |
| 25 | 168,1 | 171,9 | 3,8 | 166,3 | 173,7 | 7,5 |
| 30 | 168,3 | 171,7 | 3,4 | 166,6 | 173,4 | 6,8 |
| 40 | 168,5 | 171,5 | 3,0 | 167,0 | 173,0 | 5,9 |
| 50 | 168,7 | 171,3 | 2,7 | 167,4 | 172,6 | 5,3 |
| 100 | 169,1 | 170,9 | 1,9 | 168,1 | 171,9 | 3,7 |
| 150 | 169,2 | 170,8 | 1,5 | 168,5 | 171,5 | 3,0 |
| 200 | 169,3 | 170,7 | 1,3 | 168,7 | 171,3 | 2,6 |
| 1000 | 169,7 | 170,3 | 0,6 | 169,4 | 170,6 | 1,2 |

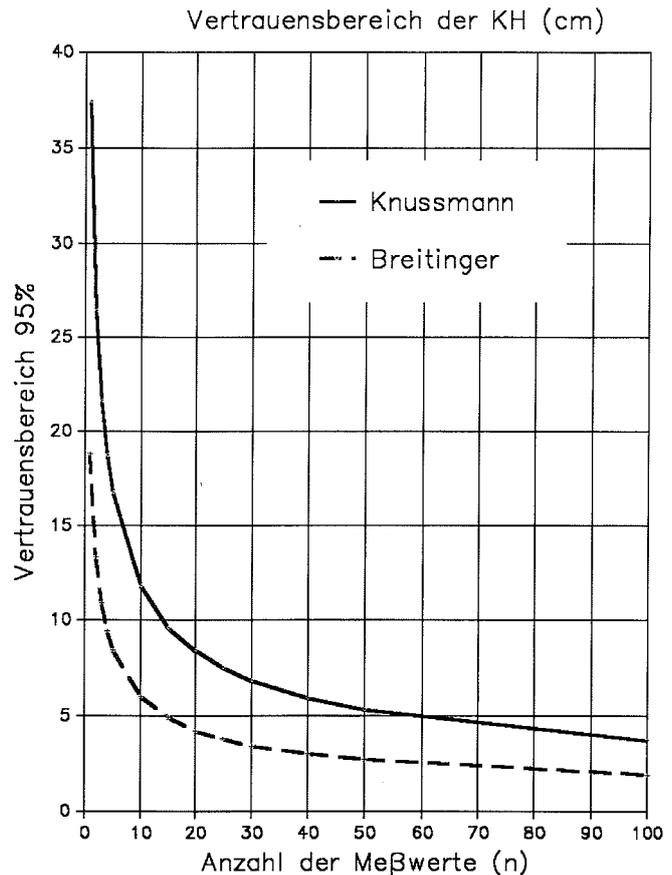
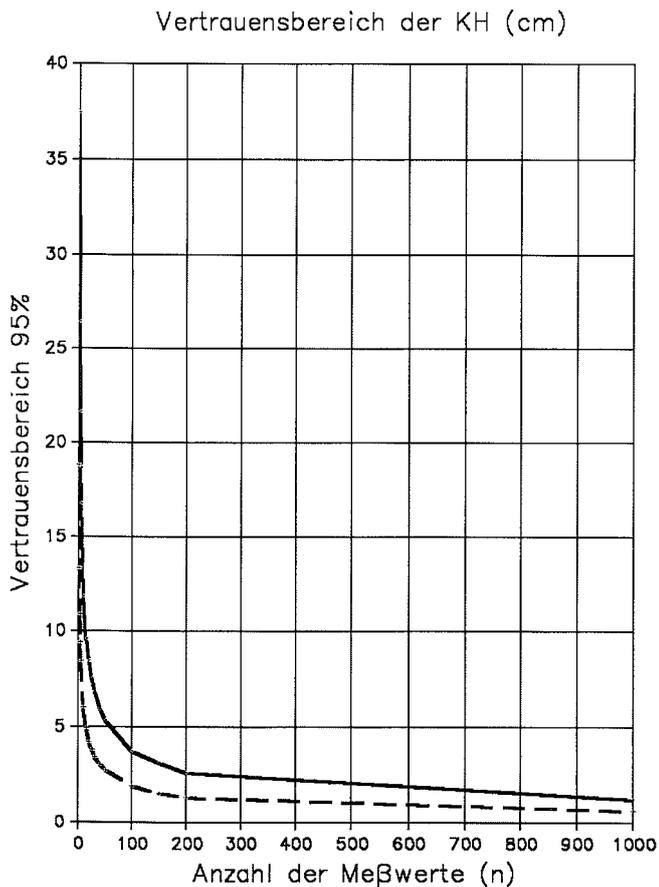


Abb. 1: Arithmetische Darstellung der Abhängigkeit zwischen der Stichprobengröße (Anzahl der Meßwerte) und der 95 % - Vertrauensbereiche von Maß-Mittelwerten. Durchgezogene Kurve: Meßstrecke F1-F4 (nach SONDER & KNUSSMANN 1985). Unterbrochene Kurve: Größte Länge des Femur nach BREITINGER. Weitere Erklärung im Text.

selbst bei größerem Standardfehler der Schätzung indiziert sein kann.

Löst man die Formel (5) nach n auf, ergibt sich die Beantwortung der häufig auftretenden Frage:

»Wie groß muß n bei bekannter Varianz und gewähltem VB mindestens sein?«

aus Gleichung (7)

$$(7) n = 4 \times s^2 \times t^2 \times VB^{-2}$$

Für die gr. Länge d. Femur (BREITINGER; $t = 1.96$; $s = 4,8$) ist: $n = 353,9 \times VB^{-2}$

Damit ist die Varianz dem Quadrat des VB direkt und n dem Quadrat des VB umgekehrt proportional. Da es sich bei der Abhängigkeit des VB von n um eine Exponentialfunktion handelt, ist es sinnvoll, die Beziehung zwischen VB und n doppeltlogarithmisch graphisch darzustellen (Abb. 2).

Das linke Bild dieser Grafik zeigt entsprechend eine lineare Beziehung zwischen $\log n$ und $\log VB$ u. a. sowohl für die Berechnung der KH aus der Femurhalslänge nach

SONDER und KNUSSMANN (1985) als auch für die Daten BREITINGERS (1937).

Beide Geraden verlaufen im Abstand

$$\Delta s = s_2/s_1$$

parallel zueinander. Daraus läßt sich die Beantwortung der Frage ableiten:

»Welche Stichprobengröße n ist bei veränderter Varianz aber gleichbleibendem VB erforderlich?«

Diese Ableitung ist in Abbildung 2, rechte Seite, veranschaulicht. Hier wird belegt, daß:

$$\operatorname{tg} \alpha = a = \Delta s / \Delta n \text{ und } \Delta n = \Delta s / a \text{ ist.}$$

Da im doppeltlogarithmischen System

$$\Delta s = s_2/s_1 \text{ und } \Delta n = n_2/n_1 \text{ sowie } a = -0,5 \text{ ist, folgt:}$$

$$n_2/n_1 = s_2/s_1/a \text{ und } \Delta n = 2 \times \Delta s$$

oder

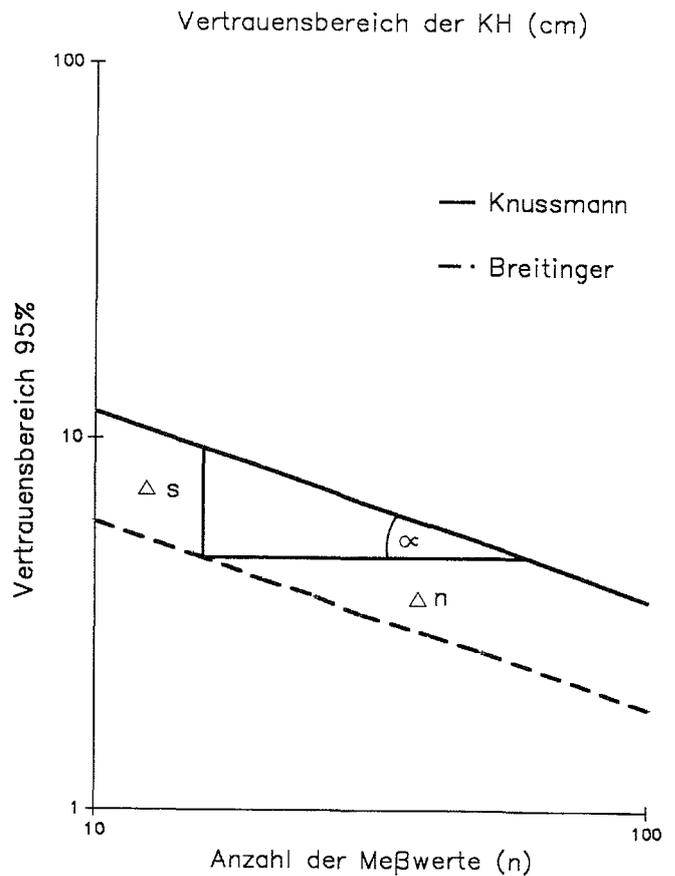
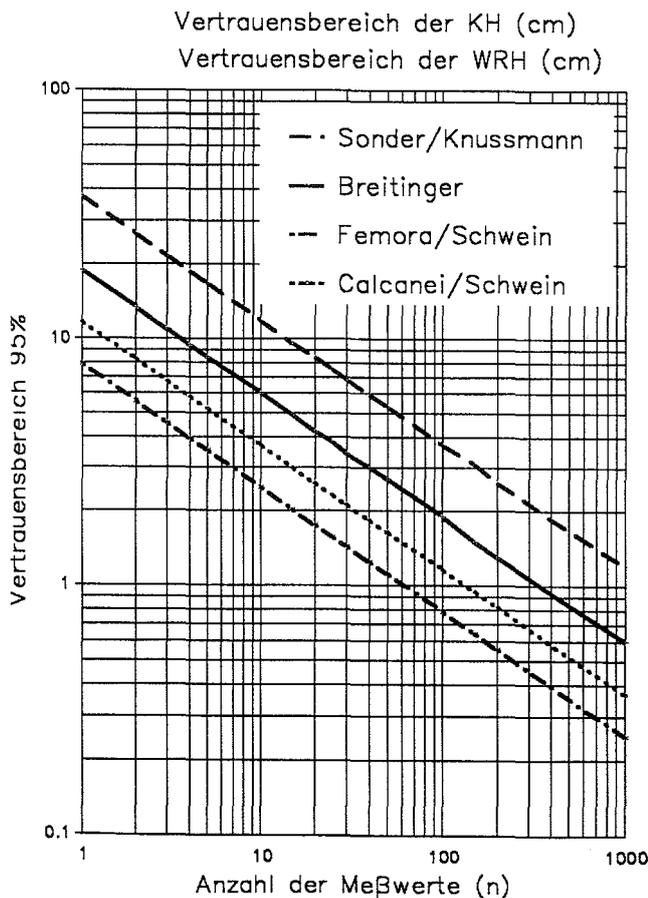


Abb. 2: Doppeltlogarithmische Darstellung der Abhängigkeit zwischen der Stichprobengröße (Anzahl der Meßwerte) und der 95% - Vertrauensbereiche von Maß-Mittelwerten. Linkes Bild: Regressionsgeraden der Maße aus den Abb. 1 und 3. Rechtes Bild: Regressionsgeraden der Maße aus Abb. 1, Darstellung der Beziehungen zwischen Stichprobengröße, Steigungsparameter, Varianz und Vertrauensbereich. Weitere Erklärung im Text.

$$(8) n_2/n_1 = \text{ABS}(-2 \times s_2/s_1)$$

bzw.

$$n_2 = \text{ABS}(-2 \times n_1 \times s_2/s_1)$$

womit sich die neue Stichprobengröße zu

$$n_2 = 2 \times n_1 \times s_2/s_1 \quad \text{ergibt.}$$

Entsprechende Ergebnisse gewinnt man auch bei Schätzungen der WRH aus kleinen Meßstrecken, wie noch kurz am Beispiel der größten Länge des Calcaneus bei Schweinen für Daten von M. TEICHERT erläutert sei. Hier wurden die WRH direkt aus Regressionsgleichungen für die Korrelation zwischen der kleinen Meßstrecke und der WRH ermittelt (TEICHERT et al. 1996). Die Vertrauensbereiche dieser Werte für verschiedene Stichprobengrößen wurden dann den entsprechenden Daten aus der größten Länge der Femora gegenübergestellt (s. Tab. 2, Abb. 2 und 3). In diesem Falle ist schon bei einer Stichprobengröße von $n = 50$ der Genauigkeitsunterschied zwischen der kleineren und der größeren Meßstrecke nur noch von geringer Bedeutung. Dies liegt einerseits an der weniger großen Dif-

ferenz zwischen der kleinen und der großen Meßstrecke, andererseits aber wohl auch daran, daß hier keine Fehlerkumulierung durch Einsetzen einer Regressionsgleichung in eine andere erfolgte. Die WRH-Berechnung aus der größten Länge der Calcanei bei Schweinen kann also in manchen Fällen durchaus die Methode der Wahl sein.

Schlußbetrachtung

Auf die Relevanz multivariater Untersuchungen (Regressionen) wurde hier nicht eingegangen, weil dies zum einen den knappen zeitlichen Rahmen eines Kurzvortrages gesprengt hätte und zum anderen, außer z. B. bei Urnenfunden, häufig ohnehin nur ein Knochenindividuum für ein Skelettindividuum zur Verfügung steht. Außerdem ist ähnlich wie für WRH-Bestimmungen bei Pferden offen, ob multivariate Regressionen wirklich Verbesserungen der Ergebnisrelevanz bringen, denn entsprechende Grundlagenuntersuchungen dazu fehlen. Insgesamt konnte hier belegt werden, daß die oft geäußerte Behauptung einiger Autoren, kleine Organmeßstrecken seien zur Abschätzung der Gesamtkörpergröße ungeeignet, bei Verallgemeinerung unrichtig ist. Auch kommt es bei Anwendung einer solchen Methode nicht allein auf die Höhe der Kor-

Tab. 2: Vertrauensbereiche (95 %) für die Berechnung der Widerristhöhe (WRH) aus der größten Länge des Femur sowie aus der größten Länge des Calcaneus für adulte Schweine beider Geschlechter (nach Daten von M. TEICHERT). Mittlere WRH = 90,35 cm (n = Anzahl der Individuen; U = unterer Grenzwert; O = oberer Grenzwert; VB = 95 %-Vertrauensbereich).

| n | Femora | | | Calcanei | | |
|------|--------|------|----------|----------|------|----------|
| | U | O | VB = O-U | U | O | VB = O-U |
| 1 | 86,5 | 94,4 | 7,9 | 84,7 | 96,3 | 11,6 |
| 2 | 87,6 | 93,2 | 5,6 | 86,4 | 94,5 | 8,2 |
| 3 | 88,1 | 92,6 | 4,5 | 87,1 | 93,8 | 6,7 |
| 4 | 88,4 | 92,3 | 3,9 | 87,5 | 93,3 | 5,8 |
| 5 | 88,6 | 92,1 | 3,5 | 87,8 | 93,0 | 5,2 |
| 10 | 89,1 | 91,6 | 2,5 | 88,5 | 92,2 | 3,7 |
| 15 | 89,3 | 91,4 | 2,0 | 88,9 | 91,9 | 3,0 |
| 20 | 89,5 | 91,2 | 1,8 | 89,1 | 91,7 | 2,6 |
| 25 | 89,6 | 91,1 | 1,6 | 89,2 | 91,5 | 2,3 |
| 30 | 89,6 | 91,1 | 1,4 | 89,3 | 91,4 | 2,1 |
| 40 | 89,7 | 91,0 | 1,2 | 89,4 | 91,3 | 1,8 |
| 50 | 89,8 | 90,9 | 1,1 | 89,5 | 91,2 | 1,6 |
| 100 | 90,0 | 90,7 | 0,8 | 89,8 | 90,9 | 1,2 |
| 150 | 90,0 | 90,7 | 0,6 | 89,9 | 90,8 | 0,9 |
| 200 | 90,1 | 90,6 | 0,6 | 89,9 | 90,8 | 0,8 |
| 1000 | 90,2 | 90,5 | 0,2 | 90,2 | 90,5 | 0,4 |

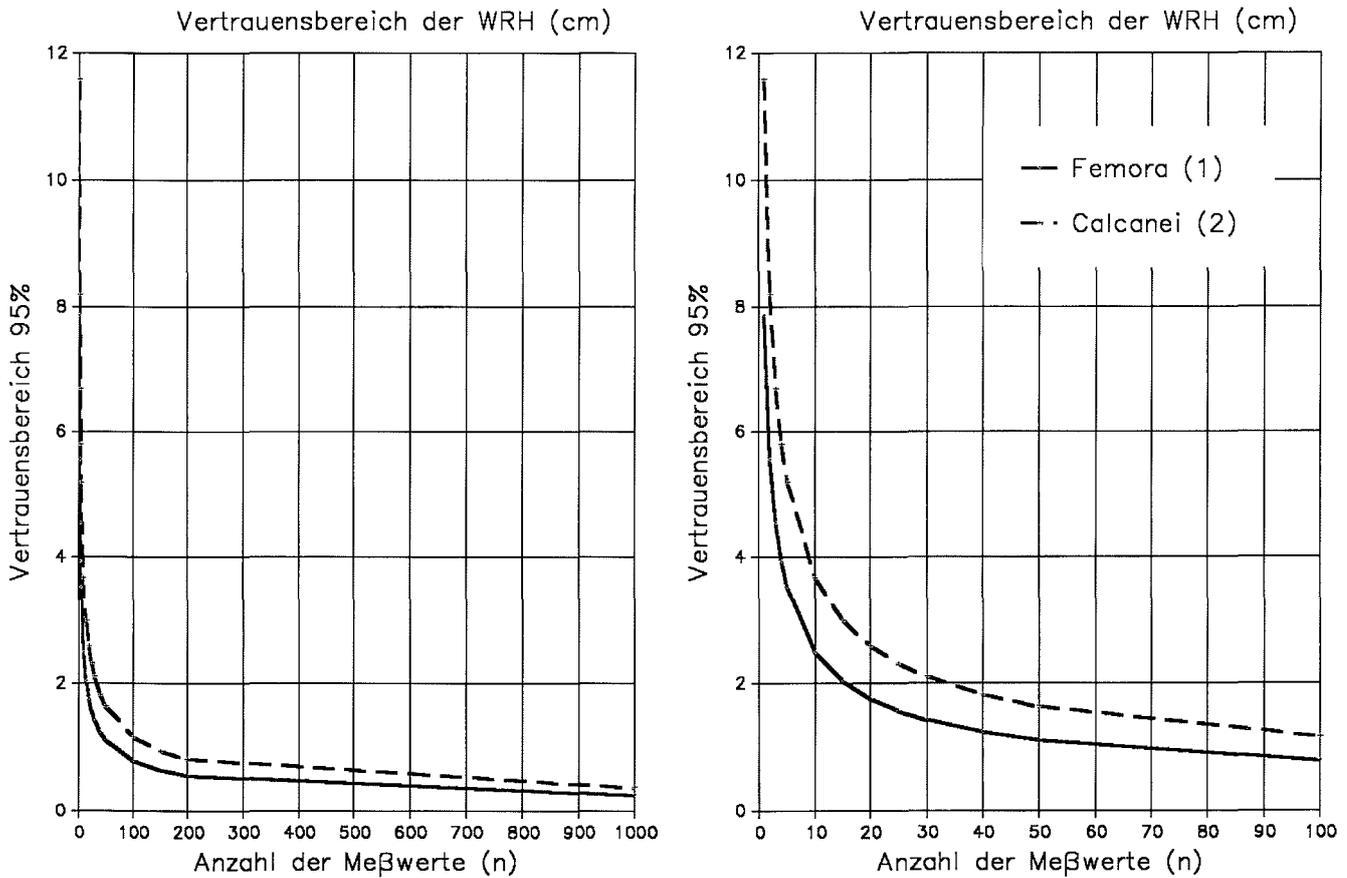


Abb. 3: Arithmetische Darstellung der Abhängigkeit zwischen der Stichprobengröße (Anzahl der Meßwerte) und der 95 %- Vertrauensbereiche von Maß-Mittelwerten. Durchgezogene Kurve: Größte Länge des Femur beim Schwein (nach TEICHERT 1969). Unterbrochene Kurve: Größte Länge des Calcaneus beim Schwein nach TEICHERT. Weitere Erklärung im Text.

relation der kleinen Meßstrecke mit der Gesamtkörpergröße an. Entscheidend für die Indikation ihres Einsatzes sind vielmehr die *Größe* des von der Fragestellung abhängigen notwendigen *Vertrauensbereiches* der ermittelten Körpergröße und die zur Verfügung stehende *Stichprobengröße* bei gegebenem Standardfehler der Schätzung. Hierbei ist zu beachten, daß die Stichprobengröße nur den absoluten, nicht aber den relativen Fehler beeinflußt. Fest steht, daß die Methode zwar für den Vergleich von Individualkörpergrößen keine brauchbaren Ergebnisse liefert, in vielen Fällen jedoch für den Vergleich mittlerer Körpergrößen aus unterschiedlichen und hinreichend großen Stichproben sehr wohl mit Gewinn eingesetzt werden kann. Es dürfte sich allgemein als vorteilhaft erweisen, die Körperhöhenschätzung anstatt nach der Methode von SONDER und KNUSSMANN (1985) direkt aus Regressionsgleichungen für die Abhängigkeit zwischen einer kleinen Meßstrecke und der Körpergröße durchzuführen. Dann würde nämlich der Fehler der Schätzung von der kleinen Meßstrecke des Knochenfragmentes auf die Größe des Langknochens entfallen. Entsprechende Erfahrungen sammelten wir bei der Ermittlung der WRH von Schweinen aus der größten Länge der Calcanei (TEICHERT et al. 1996).

Zusammenfassung

An ausgewählten Literaturbeispielen wurde der Wert bzw. Unwert einer Körpergrößenberechnung aus kleinen Maßen, wie sie z. B. von Knochenfragmentfunden zur Verfügung stehen, diskutiert. Es wurden auf mathematisch-statistischer Basis für einzelne Skelettindividuen und für Mittelwerte unterschiedlich großer Stichproben die Möglichkeiten und Grenzen solcher Methoden erörtert. Vor allem für Mittelwerte größerer Stichproben konnte belegt werden, daß die Körpergrößenberechnung aus kleinen Maßen indiziert sein kann.

Anschrift des Verfassers:
 Prof. Dr. Eberhard May
 Lehrgebiet Anthropologie des Zoologischen Institutes
 Technische Universität Braunschweig
 Postfach 33 29
 D-38029 Braunschweig

Literatur

- BACH, H. (1965): Zur Berechnung der Körperhöhe aus langen Gliedmaßenknochen weiblicher Skelette. *Anthrop. Anz.* 29, 12–21.
- BREITINGER, E. (1937): Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßenknochen. *Anthrop. Anz.* 14, 249–274.
- DRIESCH, A. von den & J. BOESSNECK (1974): Kritische Anmerkungen zur Widerristhöhenberechnung aus Längenmaßen vor- und frühgeschichtlicher Tierknochen. *Säugetierkundl. Mitt.* 22, 325–348.
- MAY, E. (1977): Aktuelle methodische Aspekte zur Behandlung und Deutung »allometrischer« Daten. *Z. Morph. Anthrop.* 68/1, 88–106.
- MAY, E. (1977): Body Heights and the Relation of Measured Lengths. In: O. G. EIBEN (Hrsg.), *Growth and Development. Physique Symp. Biol. Hung.* 20, 299–308.
- MAY, E. (1985): Ein Beitrag zur Vergleichbarkeit und Interpretation von Maßen und Indices auf der Grundlage wachstumsbiologischer Überlegungen. *Homo* 36/1 u. 2, 53–68.
- MAY, E. (1985): Widerristhöhe und Langknochenmaße bei Pferden – ein immer noch aktuelles Problem. *Z. Säugetierkunde* 50, 368–382.
- MAY, E. (1992): The Comparability and Standardization of Measurements, Indices and Variabilityparameters of Different Body Height. *Anthrop. Közl.* 34, 55–63.
- SACHS, L. (1974): *Angewandte Statistik.* 4. Aufl., Berlin u. a.
- SACHS, L. (1976): *Statistische Methoden, ein Soforthelfer.* Berlin u. a.
- SONDER, E. & R. KNUSSMANN (1985): Zur Körperhöhenbestimmung männlicher Individuen aus Femur-, Tibia- und Humerus-Fragmenten. *Z. Morph. Anthrop.* 75/2, 131–153.
- TEICHERT, M. (1969): Osteometrische Untersuchungen zur Berechnung der Widerristhöhe bei vor- und frühgeschichtlichen Schweinen. *Kühn-Archiv* 83/3, 237–292.
- TEICHERT, M., MAY, E. & K. HANNEMANN (1996, im Druck): Allometrische Aspekte zur Ermittlung der Widerristhöhe bei Schweinen auf der Grundlage der Daten von M. TEICHERT. In: M. KOKABI & J. Wahl (Hrsg.), *Beiträge des 7. ICAZ Kongresses vom 26. 09.–02. 10. 1994.* *Anthropozoologica* 20.