

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Beerli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835

Quantitativ-morphologische Verfahren zur osteologischen Analyse - kritische Evaluierung konventioneller Verfahren und innovative Ansätze

„Ist Morphometrie noch zeitgemäss?“¹

Winfried Henke

Abstract

The present paper reviews the development of quantitativ-morphological approaches in osteological analyses and points to innovative methods within this somewhat conservative field of research.

Einleitung

Eine der zahlreichen Definitionen von Anthropologie lautet nach der Übereinkunft einer Arbeitsgruppe deutscher Anthropologen aus dem Jahre 1981 (vgl. Vogel 1982): „Ziel der Anthropologie ist es, das Problemfeld Evolution des Menschen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft zu beschreiben, zu analysieren und zu interpretieren“. Schliessen wir uns dieser Definition an, so lässt sich Anthropologie als das Studium der Variabilität des Menschen in Zeit und Raum wie folgt systematisieren (Abb. 1): Wir können **einen makroevolutiven und einen mikroevolutiven Zeitabschnitt der Anthropogenese** differenzieren und hinsichtlich der spatialen Variabilität zwischen **Interpopulations- und Intrapopulationsstrukturen** unterscheiden. Im Rahmen der von uns hier zu diskutierenden Probleme klammern wir zunächst die stammesgeschichtlichen, das heisst die vorwiegend die **transspezifische Evolution** betreffenden Fragestellungen aus, zumal die Paläoanthropologie sich überwiegend eines prinzipiell abweichenden Methodeninventars bedient, welches Henke/Rothe (1994) ausführlich für den deutschsprachigen Bereich systematisiert haben. Wir wollen uns hier vorwiegend dem Problemkreis der prähistorischen und historischen Anthropologie zuwenden, - bezogen auf den zentralen Begriff der Evolution also vornehmlich auf die **mikroevolutiven Prozesse**. In ihrem wegweisenden Beitrag „Der Mensch als Geschichtsquelle“ hatte Ilse Schwidetzky die wissenschaftliche Aufgabe der prähistorischen Anthropologie 1950 weitgehend umrissen und schliesslich wie folgt formuliert (Schwidetzky 1971a): „Zielsetzung der prähistorischen Anthropologie ist die Rekonstruktion bevölkerungsbiologischer Strukturen und die Analyse der Dynamik populationsbiologischer Prozesse“. Diese Zielsetzung wurde durch das seit den sechziger Jahren mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft systematisch aufgebaute **Datenarchiv für prähistorische und historische Skelettserien** in Mainz verfolgt und in zahlreichen Studien von Schwidetzky und Mitarbeitern umgesetzt. Dabei hatten rasche Fortschritte auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung einen „katalytischen“ Effekt, der insbesondere in den siebziger und achtziger Jahren in grossangelegten regionalen und diachronen Vergleichsstudien zum Tragen kam.

¹Einführungsvortrag zum SGA/AGHAS-Workshop vom 1.-2. Dezember 1995 in Basel unter der Leitung von Prof. Dr. Winfried Henke/Mainz.

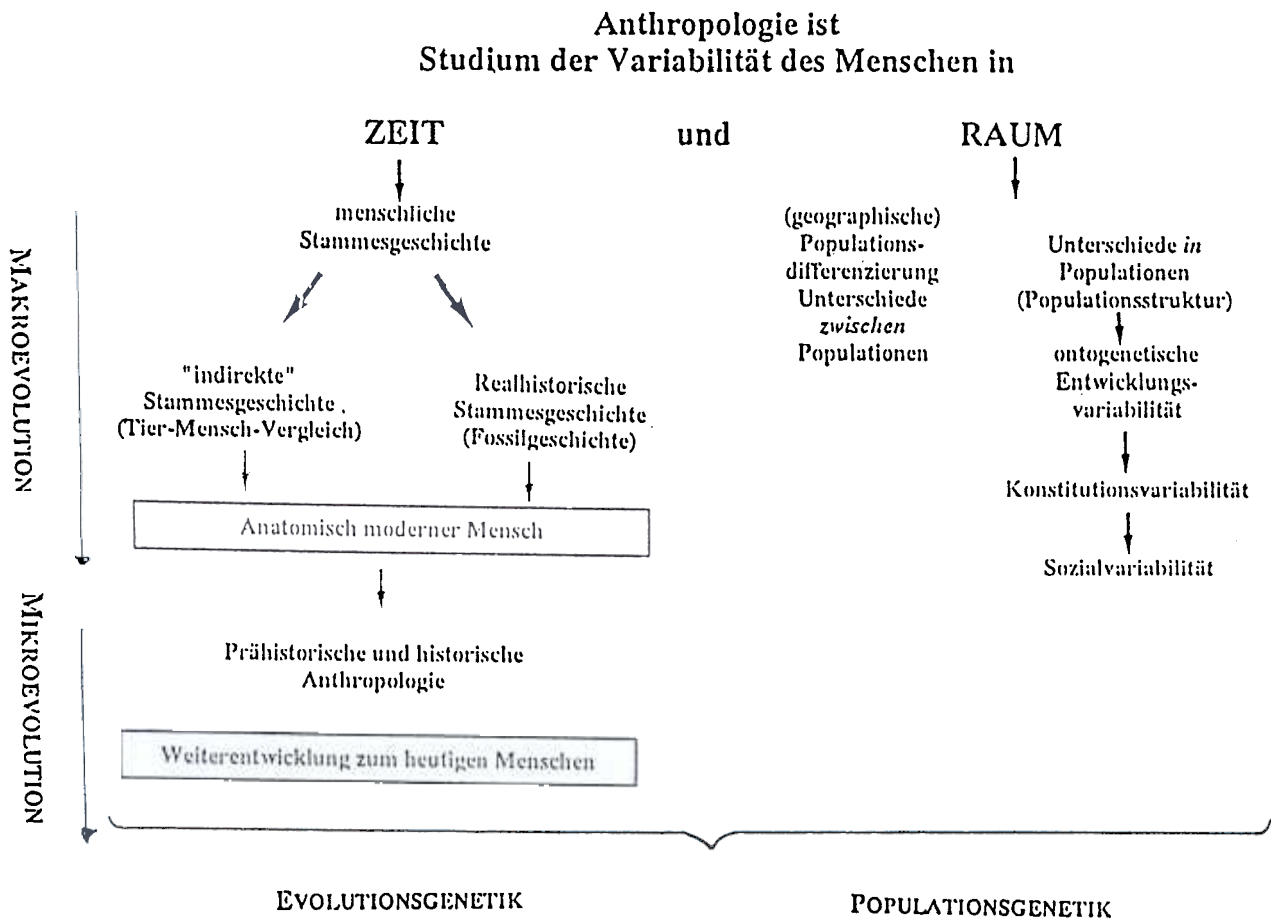


Abb. 1: Anthropologie - Konzept (in Anlehnung an Bernhard, unpubl.).

Es wurde nicht nur eine systematische Erhebung der prähistorisch-osteologischen Daten vorgenommen [ausser in Mainz unter anderem auch durch Roland Menk (Genf) sowie durch Nikolaos Xirotiris (Heraklion/Komotini)], sondern es erfolgte auch eine ständige Optimierung der applizierten Programme sowohl von anthropologischer als auch kommerzieller Seite (unter anderen SPSS, BMDP, SAS).

Unter den europäischen Anthropologen waren es „in der ersten Stunde“ insbesondere R. Knussmann, U. Rempe, H. Hemmer und F. Twiesselmann, die neben dem Franzosen J. Hiernaux sowie dem Amerikaner W.W. Howells und vielen anderen „auf dieses Pferd setzten“ und wegweisende Arbeiten zur Biostatistik in der Anthropologie lieferten. Als exemplarisch können multivariate Bevölkerungsuntersuchungen von Hiernaux (1968) an den subsaharischen Populationen sowie Howells Studie „Cranial Variation in Man“ von 1973 gelten, die in „Skull Shapes and the Map“ im Jahre 1989 eine Fortsetzung fand.

In den siebziger und achtziger Jahren waren es insbesondere Arbeiten von Gerrit N. Van Vark und Roland Menk, aber auch von amerikanischen Kollegen wie Sokal und Corruccini, um nur einige zu nennen, die ständig eine Verfeinerung der statistischen Verfahren und insbesondere deren adäquate Applikation verlangten. Dabei hatten - was nicht vergessen sei - Czekanowski bereits Anfang des Jahrhunderts (1909) Ähnlichkeitskoeffizienten berechnet und Pearson im Jahre 1926 einen „Coefficient of racial likeness“ ermittelt.

Fisher wandte 1936 erstmals eine Diskriminanzanalyse auf eine anthropologische Fragestellung an, und der Mahalanobis D^2 -Abstand wurde zum ersten Mal 1955 von Mukherjee et al. in der Anthropologie appliziert.

Der später so häufig verwendete Penrose-Abstand wurde 1954 eingeführt und seit den sechziger Jahren war - wie der Beitrag von Knussmann (1962) in „Die neue Rassenkunde“ zeigt - ein breites Methodeninventar vorhanden, inklusive Faktoren- und Hauptkomponentenanalysen. Während Chopra (1968) in seiner Dissertation zur Kennzeichnung prähistorischer Schädelserien Faktorenanalysen anwandte, waren es bei Hemmers Dissertation (1967) allometrische Verfahren, die zum Vergleich diachroner Serien herangezogen wurden.

Mit der Übersichtsarbeit von Rainer Knussmann in der Sammelschrift „Die neue Rassenkunde“ [ein heute wohl diskussionsbedürftiger Titel] war also das wesentliche Inventar uni-, bi- und multivariater Verfahren aufgezeigt und damit der breite Anwendungsrahmen in der Anthropologie im allgemeinen und der prähistorischen respektive ethnischen Anthropologie im besonderen abgesteckt.

Es zeigt sich jedoch eine deutliche Rigidität bei den osteologisch arbeitenden Anthropologen, diese Verfahren zu nutzen. Die Gründe hierfür sind einleuchtend, denn neben der notwendigen apparativen Ausstattung, die häufig auf die Rechenzentren beschränkt war und wegen der hohen Anschaffungskosten nicht von den Instituten getragen werden konnte, waren es schlichte Vorurteile und Berührungsängste gegenüber der biostatistischen Materie, die nur durch Kenntnisse in ALGOL oder FORTRAN umgesetzt werden konnten, die man also entweder selbst erwerben oder aber kostspielig durch Informatiker akquirieren musste, solange keine PCs und einfach anzuwendende Software auf dem Markt waren. In anderen Ländern (z.B. den USA) wurden diese Verfahren in der Praxis offenbar schneller aufgegriffen, denn die DA-Verfahren von Giles/Elliot (1963) und Giles (1964) zur Geschlechtsdiagnose wurden bald systematisch appliziert, aber auch die deutschsprachigen Anthropologen waren zum Teil sehr aktiv, wie die Arbeiten von Knussmann und Schwidetzky zeigen. Mit dem **Neolithikum-Symposium von 1966 in Mainz** sowie den Studien des in Tübingen arbeitenden Amerikaners Norman Creel (1968) fanden Ähnlichkeitsanalysen und Clusterverfahren systematisch Eingang in die Arbeitsweisen der prähistorisch arbeitenden Anthropologen und gehören seitdem zum obligaten Methodeninventar einer als fortschrittlich geltenden Studie.

Es war der Ungar Andor Thoma, der die Mainzer Anthropologen - Verf. gehörte damals noch nicht diesem Kreis an - auf das Penrose-Verfahren als für den Vergleich prähistorischer Skelettserien besonders geeignetes Verfahren hinwies, da es auf der Verrechnung von Mittelwerten basiert und nicht auf komplette Datensätze angewiesen ist. Die Kritik an diesem Verfahren (Huizinga 1962, Menk 1978, Van Vark 1976, Henke 1990a,b und vielen anderen) wurde zugunsten der praktischen oder „vermeintlichen“ praktischen Erfolge weitgehend negiert.

In der osteologischen Praxis trieb man die Anwendung der multivariaten Verfahren voran: Van Vark (1970) und Henke (1971) optimierten die Verfahren der Geschlechtsbestimmung am Skelettmaterial, nachdem dieses Problem seitens der forensischen Osteologie und prähistorischen Anthropologie anhand aussereuropäischer Serien mehrfach aufgegriffen worden war. Ditch/Rose (1972), Black (1978), Langenscheidt (1984) und andere setzten derartige Studien an Zahnkronen fort, die die Geschlechtsbestimmung subadulter Individuen ermöglichen sollen, und Schutkowski (1990) lieferte Diskriminanzfunktionen für Beckenmerkmale immaturer Individuen.

Bereits Anfang der siebziger Jahre fand auch eine Art Zwischenbilanz statt: Auf der Tagung der Gesellschaft für Anthropologie und Humangenetik in Göttingen wurde 1971 die „Bedeutung morphologischer, serologischer und biochemischer Merkmale für die Evolution und Bevölkerungsbiologie“ in drei Übersichtsreferaten von C. Vogel (Makroevolution), H. Walter (Bevölkerungsvergleich) und I. Schwidetzky (Mikroevolution) dargestellt.

Hinsichtlich der Bevölkerungsvergleiche weist Walter (1971, S. 169) auf die grosse Bedeutung multivariat-statistischer Analysen hin, da man mit Einzelmerkmalen Bevölkerungen nicht beschreiben kann, und er ergänzt:

„... - und auch Bevölkerungsvergleiche, etwa zur Prüfung möglicher Beziehungen zwischen ihnen, sind auf der Basis von Einzelmerkmalen nicht sehr informativ.“

Sein Beitrag macht aber auch deutlich, dass - in der ethnischen Anthropologie - offenbar Simultanvergleiche von Phänotypenhäufigkeiten bzw. Genfrequenzen den höheren Stellenwert haben und dass zumindest gleichzeitige Vergleiche in möglichst vielen Merkmalen und Merkmalssystemen angestrebt werden sollten.

Für die prähistorische Anthropologie erweist sich dieser Ansatz wegen des Fehlens geeigneter Merkmale jedoch als nicht gangbar, das heisst die ausschliessliche Berücksichtigung kontinuierlich-variiender Merkmale, die polyfaktoriell bestimmt sind, stellt offensichtlich ein gewichtiges Problem dar, ebenso wie die Interkorrelation der Merkmale. Durch vergleichende bevölkerungsbiologische Analysen rezenter Populationen auf der Basis morphologischer, anthropometrischer, morphometrischer, daktyloskopischer, serologischer, biochemischer und physiologischer Merkmale kommt Hubert Walter (1971, S. 179) zu der Schlussfolgerung: „...nach Möglichkeit alle diese Merkmale in Beschreibungen und Vergleiche von Bevölkerungen einzubeziehen. Ferner wird der Wert multivariater statistischer Methoden für derartige Untersuchungen betont. Abstandsmessungen aufgrund von anthropometrischen und serologisch-biochemischen Merkmalen scheinen in der Regel zu verschiedenen Ergebnissen zu führen. Das wird in dem Sinn interpretiert, dass möglicherweise durch anthropometrische Merkmale ältere Bevölkerungszusammenhänge angezeigt werden, während die serologisch-biochemischen offenbar jüngere Differenzierungen anzeigen. Grundsätzlich erfordert die anthropologische Interpretation von Abstandsmassen gleich welcher Art die Berücksichtigung ethnologischer, archäologischer, geographischer und ähnlicher Informationen, um zu begründbaren Schlussfolgerungen zu kommen.“

Ilse Schwidetzky (1971b) machte in ihrem **Beitrag zum Thema Mikroevolution**, das heisst zur „intraspezifischen Evolutionsforschung“ deutlich, dass die **Analyse von Zeitreihen** (zumindest noch 1971!) nur an morphologischen Merkmalen aufgestellt werden könne, dazu zählten die Analyse von Prozessen wie **Brachykranisation und Grazilisation**, aber auch Veränderungen des **Sexualdimorphismus**. Neben solchen systematischen Analysen durch Schwidetzky et al. wurden auch von Borgognini Tarli/Repetto 1986; Henke 1985a, 1990b, 1992 unter anderem diachrone multivariat-statistische Vergleichsanalysen vorgenommen und von Sokal/Uyterschaut (1987) unter Berücksichtigung von Autokorrelationen ergänzt (vgl. Henke 1990b). Beals et al. (1984) untersuchten mittels sogenannter **Climaps** die Beziehungen zwischen morphologischen und Klimaparametern, und Menk (1981) optimierte in seiner Neolithikum-Studie die Vergleichsverfahren beträchtlich, will sagen, dass nicht nur Routinearbeiten vorgenommen wurden, sondern auch stets versucht wurde, eine methodische Optimierung zu erreichen. Das gilt auch für die jüngsten CRANID-Studien von Wright, einem Computer-Programm für forensische und andere Applikationen, unter anderem die Korrelationsanalyse zwischen Kranialform und Geographie bei *Homo sapiens* (Wright 1992).

Neben zahlreichen merkmalsstatistischen Analysen spatialer und diachroner Differenzierungen, die in den achtziger Jahren von der raschen technischen Entwicklung auf dem EDV-Sektor profitierten, trat immer mehr die **Analyse non-metrischer Merkmale oder diskontinuierlich-variiender Merkmale** in den Vordergrund, nachdem unter anderen bereits Berry (1968) in den sechziger Jahren und insbesondere Czarnetzki (1971, 1972) durch ihre grundlegenden Studien wichtige Impulse in dieser Richtung gesetzt hatten.

Auch die APPA-Sitzungen in Mainz und Basel haben diesen Trend erkennen lassen, ohne jedoch einen Durchbruch zu erreichen (- die Gründe hierfür gilt es zu diskutieren). Es wurden

grossflächige und über weite Zeiträume und Regionen gespannte Analysen fortgesetzt und mit breitem statistischem Methodeninventar analysiert [unter anderen Howells (1970, 1989) in Ozeanien; Bernhard (1971, 1974) in Afghanistan, Pakistan und Indien; Glinka (1978) in Indonesien; Hitzeroth (1983) in Südafrika; Winkler (1984) in Kenia; Rösing (1990) im ägyptischen Raum; Menk (1981) für das Neolithikum; Henke (1990b) für das europäische und zirkummediterrane Jungpaläolithikum und Mesolithikum und viele andere]. Es zeichnete sich jedoch bei näherer Betrachtung bereits ein Trend ab: **Intrapopulationsvergleiche** nahmen an Bedeutung zu, das heisst die Binnenanalysen wurden zunehmend verfeinert, zum Teil bereits in den beschriebenen Populationen oder „aggregierten Populationen“.

Der sich in den beiden letzten Dezennien abzeichnende Trend spiegelt sich aber in einem grundsätzlich gewandelten wissenschaftstheoretischen Verständnis der Forschungsinteressen der Anthropologie wider, welches sich retrospektiv wie folgt kennzeichnen lässt.

In seinem Beitrag zur Anthropologie der menschlichen Skelettreste aus dem Bremer Dom (Henke 1985b) hatte Verf. eine Systematisierung der konzeptionellen Ebenen der prähistorischen Anthropologie versucht, die sich an dem bereits seit den fünfziger Jahren abzeichnenden bevölkerungswissenschaftlichen Konzept orientierte, welches auch in der von Bernhard/Kandler (1974) herausgegebenen Bevölkerungsbiologie noch tragend ist. Abbildung 2 versucht, die Programmatik graphisch aufzubereiten, indem eine Ebene der individuellen Diagnose von der populationsbiologischen Diagnose abgegrenzt wird.

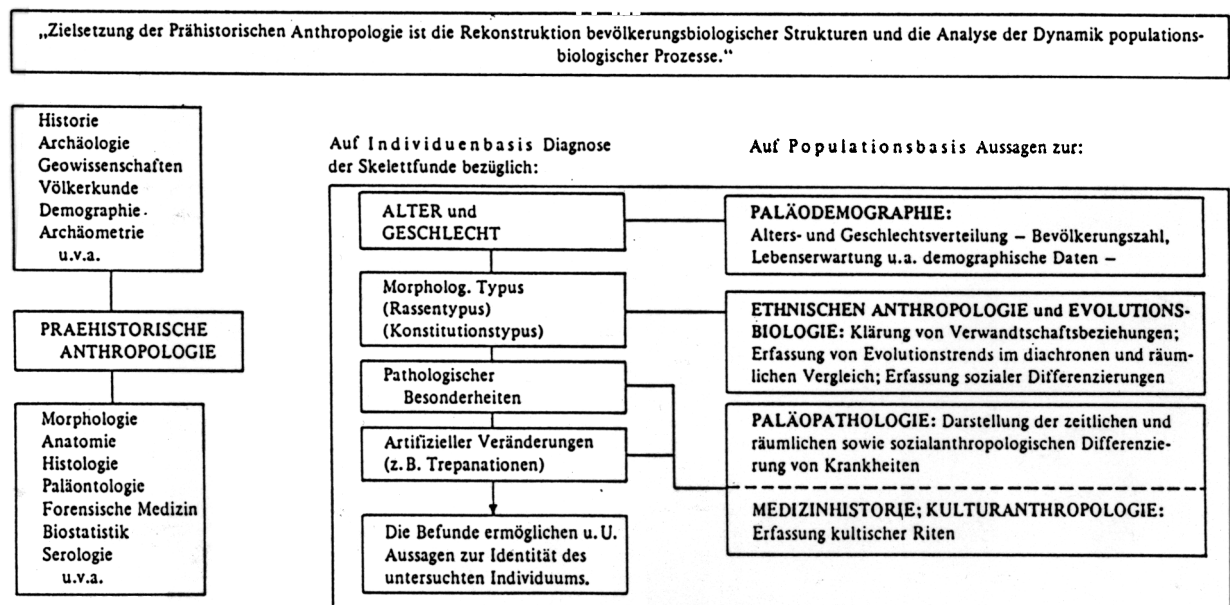


Abb. 2: Konzept der prähistorischen Anthropologie (nach Henke 1985b).

Die weitere Entwicklung in der prähistorischen Anthropologie (die nachfolgend gegenüber der historischen Anthropologie zu differenzieren ist) machte jedoch deutlich, in welchem Masse sich die Zielsetzungen aufgrund neuerer Fragestellungen und methodischer Zugänge zu ihrer Problemlösung in dem letzten Dezennium verändert haben. Es stellte sich zunächst die Frage, welchen Beitrag die biometrischen Analysen zur Lösung auf dem „Problemfeld Evolution in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft“ beizusteuern vermögen – denn dies ist die beschriebene Definition der Aufgabenstellung der Anthropologie (s.o.). Die Arbeitsweisen der prähistorischen Anthropologie stiessen zunehmend hinsichtlich ihrer Objektivität,

Reliabilität und Validität Anfang der achtziger Jahre auf massive Kritik, ja - sie wurden in beträchtlichem Masse in Frage gestellt. Christian Vogel (1982) beschrieb **das sogenannte Theorie-Defizit der biologischen Anthropologie** in Deutschland folgendermassen:

„Wenn man der Überzeugung ist, dass die kreativen „Motoren“ und „Leitschienen“ einer Wissenschaft ihre präzise ausgearbeiteten theoretischen Konzepte, die daraus abgeleiteten Hypothesen und Prognosen sowie deren methodisch saubere empirische Überprüfung sind, dann schien und scheint es in der Tat nicht sehr gut um die biologische Anthropologie bestellt zu sein.“

Er bemängelte in Anlehnung an Hans Kummer (1980), dass die Arbeitsweisen der Anthropologie kein „massgeschneidertes Kostüm“, sondern nur ein sehr lose geschneidertes Gewand darstellen würden: „...in das die verschiedenartigen Ansätze traditionellen ideographischen, klassifikatorischen, typologischen und „idealistischen“ Ordnungsdenkens ebenso unbehelligt schlüpfen konnten wie fast jeder unter dem Namen dieser Wissenschaft produzierte „Datenkörper“. Ein „massgeschneidertes Kostüm“ entsteht erst, wenn im Rahmen einer potenten übergreifenden Theorie untereinander kontingente, in sich schlüssige Konzepte, Hypothesen, Prognosen und Modelle entwickelt werden, die jeder Hilfe von aussen beraubt, also „genau beim Wort genommen“, harten empirischen Tests unterzogen werden können und unterzogen werden...“ (Vogel 1982, S. 226).

Für die physische Anthropologie und die auch im Jahre 1982/83 noch zentralen Arbeitsbereiche der biologischen Anthropologie kommt Vogel in Abgleichung dieses Anspruchs mit der realen Situation der anthropologischen Forschung zu dem Urteil, dass sie von dem in der Biologie erfolgten Paradigmenwandel zunächst erstaunlich wenig mitbekommen hat: „Für die klassischen, auch heute noch zentralen Arbeitsbereiche der biologischen Anthropologie scheint das sogar genau genommen bis in die Gegenwart zu gelten. Die vorwiegend deskriptive Klassifizierung von Formtypen, Populationen, Rassen usw., die Erstellung von hierarchischen Systemen nach Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten, bis hin zu modernen „Cluster“-Analysen - wie raffiniert und differenziert ihre statistischen Verfahren auch sein mögen - sowie die auf diesem analytischen Wege daraus unmittelbar abgeleiteten Interpretationen genealogischer und historischer Zusammenhänge sind letztlich „vordarwinisch“ geblieben. Sie bedürfen nicht der strikt „nomothetischen“ Theorie Darwins und aller ihrer stringenten Postulate, sie verharren eigentlich im „Ideographischen“ der früheren „Naturgeschichte“, so wichtig solche Arbeiten im Vorfeld einer „erklärenden“ Theorie auch waren und sind“ (Vogel 1982, S. 227; Unterstreichung durch W.H.).

Die theoretische Unverbindlichkeit liefert nach seinem Urteil aber auch Raum für „ideologische Spekulationen“ und „logische Zirkelschlüsse“, letztlich keineswegs eine positive und ermunternde Bilanz für die Arbeitsweise der prähistorischen und ethnischen Anthropologie. Dass diese Einschätzung nicht unbedingt von den auf diesem Forschungsgebiet tätigen Anthropologen geteilt wurde und wird, zeigt unter anderem die Abhandlung von Rösing/Winkler (1992, S. 37) zur Paradigmengeschichte der Taxonomie: von Bernier über von Eickstedt zu Hiernaux. So sehen die beiden Autoren die Zukunft einer Rassensystematik „...zuerst in neuen multivariaten Methoden wie in der räumlichen Autokorrelation, dann auch in einer Rehabilitation der Morphologie und der Erschliessung von neuen Merkmalssystemen (z.B. DNS-Fragmentlängen oder Hormonen), um wieder zu einer ganzheitlichen Sicht und Beschreibung des Menschen zu gelangen“.

Für die prähistorisch-anthropologische Forschung wird also doch wohl mit dem Begriff „Rehabilitation“ letztlich eine Art Verteidigungsposition zum Rückgewinn verlorenen Terrains aufgezeigt. Was die DNA-Analysen betrifft, so ist es aufgrund der Fortschritte in den aDNA-Analysen (Herrmann/Hummel 1994) auch für Knochenmaterial keineswegs mehr eine Utopie, näher an die genetische Basis und damit an konkrete Aussagen zur Verwandtschaft zu gelangen.

Bleiben wir bei dem Bild des „verlorenen Terrains“, so ist zu fragen, wohin sich das Gewicht einer innovativen prähistorischen Anthropologie verlagerte. Antworten finden sich in dem „output“ der 1986 von Bernd Herrmann durchgeführten Berliner Tagung zum Thema „Innovative Trends in der prähistorischen Anthropologie“ sowie dem von dem Göttinger Autorenkollektiv unter der Leitung von B. Herrmann entstandenen Lehrbuch „Prähistorische Anthropologie“ (Herrmann et al. 1990) und insbesondere in dem von G. Grupe (1985) aufgezeigten ökosystemischen Interpretationsraster für die Bevölkerung eines historischen Zeitabschnitts.

Herrmann (1986) unterscheidet - wie in dem vom Verf. gezeigten Aufbau der prähistorischen Anthropologie - **eine Individualebene**, auf welcher die Lebensweise untersucht wird, **eine Populationsebene**, auf welcher die Lebensbedingungen analysiert werden, sowie darüber hinaus eine **Ebene der Interpopulationsabstände**, die nach den Konstituenten des Lebensraumes fragt (Abb. 3). Die Bemühungen der prähistorischen Anthropologie sind nach Auffassung von Herrmann lange Zeit in dem überholten Konzept auf der zweiten Ebene stecken geblieben. Es galt, insbesondere durch morphologische Vergleiche verwandtschaftliche Zusammenhänge zwischen Populationen aufzuklären. Die Bemühungen, aus diesen Vergleichen Hinweise auf die Mechanismen der Formdifferenzierungen beim Menschen zu erhalten, haben „...ausser der Bestätigung allgemeinbiologischer Sachverhalte keine wirklich überzeugenden Einsichten im Hinblick auf im Grundsatz bis heute ungeklärte Phänomene erbracht (wie beispielsweise Grazilisation und Brachykranisierung).“

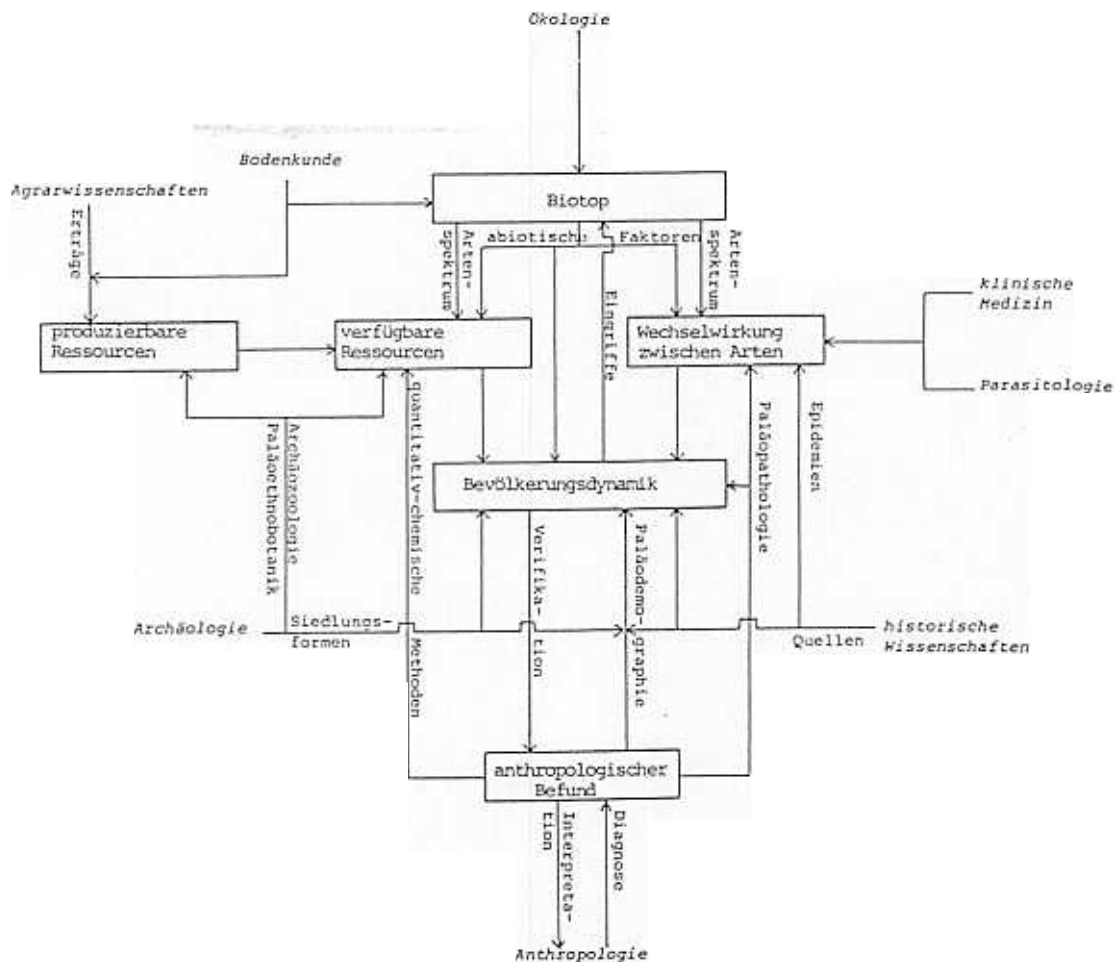


Abb. 3: Konzept der Prähistorischen Anthropologie (nach Herrmann 1994).

Herrmann sieht in der konzeptionellen Neuorientierung den Vorzug, dass die Problemstellung nicht durch das Material vorgegeben wird, sondern die Materialauswahl nach dem Problem im Vordergrund steht - und ferner sind neue analytische Wege gangbar, die berechtigterweise als innovativ zu bezeichnen sind. Diese haben - wie auch der „Leitfaden der Feld- und Labor- methoden der Prähistorischen Anthropologie“ zeigt, offenbar relativ wenig mit multivariaten statistischen Verfahren zu tun. Gisela Grupe stellte bereits 1984 diesen Trend für die historische Anthropologie fest. Sie wies darauf hin, dass die historische Anthropologie „...im Gegensatz zu anderen existierenden anthropologischen Fragestellungen, welche unter die Oberbegriffe Evolution und Soziobiologie eingeordnet werden können, [...] bislang über kein derart straffes Konzept...“ verfügte und damit Gefahr lief, in der Rolle einer Wissenschaft zu verharren, die überwiegend Kasuistik betreibt. Eine Lösung sieht sie in einer ökosystemischen Betrachtungsweise, welche dieses notwendige theoretische Konstrukt zu liefern vermag (Abb. 4).

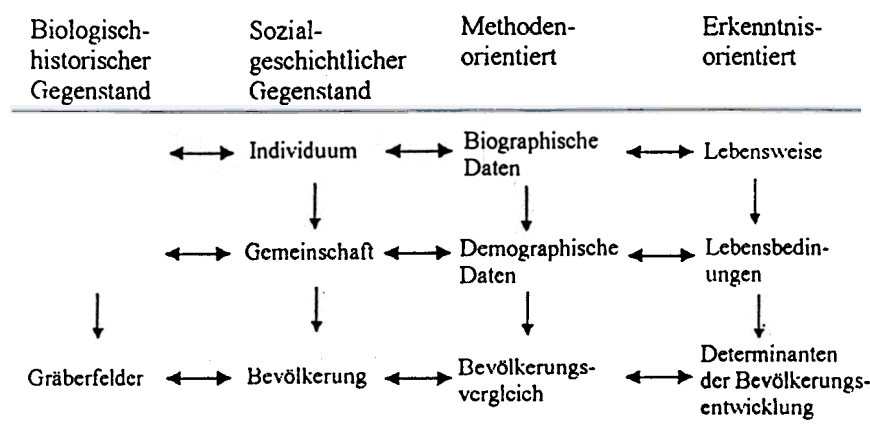


Abb. 4: Ökosystemisches Interpretationsmodell (nach Grupe 1985)

Ihre Kernforderung ist, „...im Rahmen eines interdisziplinären Ansatzes ein **ökosystemisches Interpretationsraster** zu entwickeln, welches es von seiten der Anthropologie mittels Deduktion auf seine biologische Plausibilität...“ zu prüfen gilt. Die konsequente Verfolgung dieses Ansatzes eines deduktiven Modells hat, wie das Vernetzungsmodell zeigt, die morphometrische Arbeitsweise zugunsten anderer Ansätze und Methoden marginalisiert, was sich auch in der fachlichen Ausrichtung der forschungstreibenden Institute widerspiegelt. Offensichtlicher wird dieser - sinnvolle und notwendige - Wandel einer zu innovativen Ansätzen verpflichteten Anthropologie, wenn wir uns einerseits das von Gallay (1978, Abb. 5; vgl. auch Henke/ Rothe 1994) aufgezeigte **Beziehungsdiagramm induktiver und deduktiver Arbeitsweisen** betrachten, in welchem am Beginn der Untersuchung die Fragestellung steht, auf welche hin die Datensammlung erfolgt und ein theoretisches Konstrukt durch Induktion entwickelt wird. Dieses Modell gilt es zu deduzieren respektive zu verifizieren, das heisst, wir haben eine Hypothesenprüfung vorzunehmen und nicht - wie so häufig in der prähistorischen Anthropologie - blosse Kasuistik zu betreiben - oder - im Sinne des Vogelschen Vorwurfs - in der „theoretischen Unverbindlichkeit“ unserer Aussagen steckenzubleiben, sprich auf der induktiven Ebene zu verharren.

Das Resümee hinsichtlich der Bedeutung der biostatistischen Verfahren in der prähistorischen Osteologie fällt zweifellos negativ aus, wenn wir die ethnohistorische Verwandtschaftsforschung mittels multivariater Verfahren in Betracht ziehen, ein Befund, zu dem auch Rösing (1986) inhaltlich gelangte. Dagegen sieht er in dem vermehrten Trend zu differenzierten Binnenanalysen innovative Ansätze. Dem könnte weitgehend zugestimmt werden, wenn wir hin-

sichtlich der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Skelettmerkmale einen höheren Kenntnisgrad über deren Heritabilität hätten.

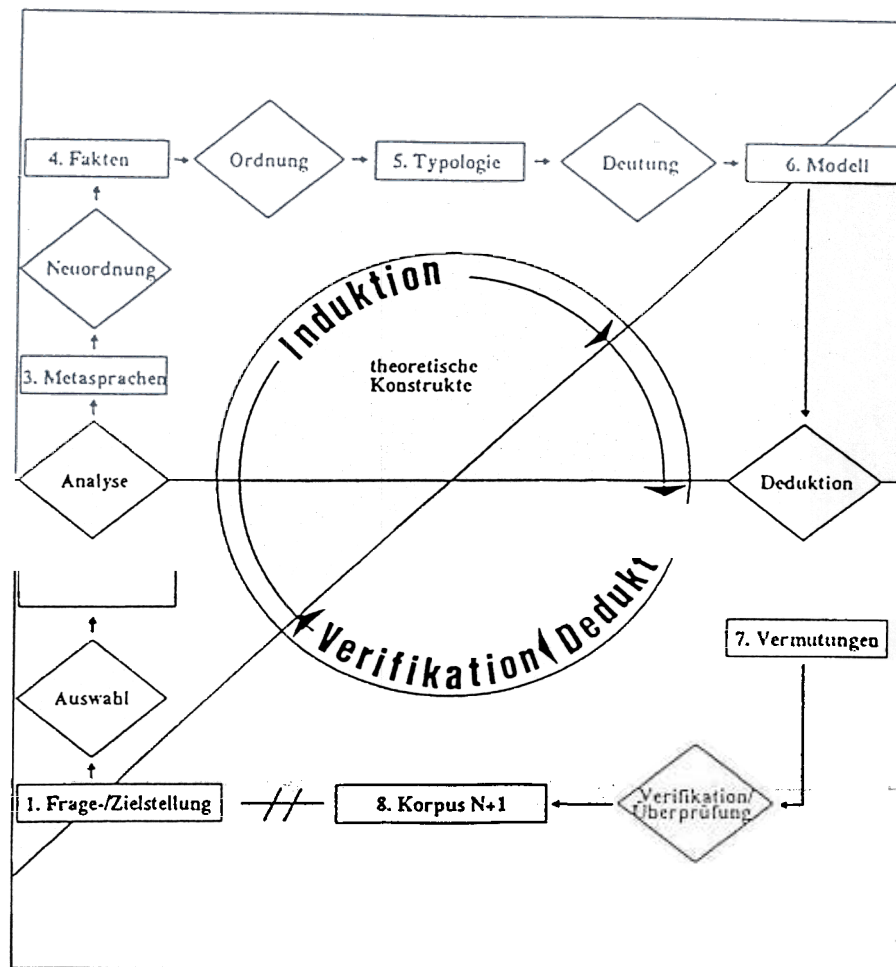


Abb. 5: Beziehungsdigramm induktiver und deduktiver Arbeitsweise (nach Gallay 1978 aus Henke/Rothe 1994).

Herbert Ullrich (1969) hat in seiner Pionierstudie zur Verwandtschaftsanalyse die Notwendigkeit der Analyse eines breiten morphologischen Spektrums herausgestellt, und Bruno Kaufmann (1986) entwickelte eine Ähnlichkeitsanalyse anhand kombinierter metrischer/nichtmetrischer Befundgruppen, die metrische Daten, morphognostische Merkmale und anatomische Varianten erfasst. Als wichtigsten Nachteil bezeichnet er, dass noch keine Kontrolle an Material mit gesichertem Verwandtschaftsgrad durchgeführt und auch der mögliche Bearbeiterfehler noch nicht umrissen wurde. Es ist zu prüfen, ob dies durch neuere Studien geschehen ist.

Eckardt (1989) hat vor nicht allzu langer Zeit eine Übersichtsarbeit zu diesem Thema erstellt und auf die Bedeutung dieser Kenntnisse für die Rekonstruktion von Verwandtschaftsbeziehungen zwischen räumlich und zeitlich unterschiedlich verteilten Bevölkerungen hingewiesen, und auch in dem Band von Van Vark/Howells (eds., 1984): „Multivariate Statistical Methods in Physical Anthropology“ finden sich von Sjøvold, Susanne und anderen Autoren wichtige Beiträge, welche die biologische Basis der morphologischen Merkmale untermauern und zumindest ein Gegengewicht zu den zunehmend dominierenden biochemischen und molekularbiologischen Befunden bilden.

Neuere Ansätze zur Optimierung der morphologischen Verwandtschaftsforschung finden sich auch in der Dentalanthropologie, jedoch sind diese Versuche aus meiner Sicht nur Variationen eines Themas, ohne das Kernproblem morphologischer Verwandtschaftsanalysen zu lösen, welches in der beschränkten Aussagefähigkeit des morphologischen Merkmalsmusters im intraspezifischen Bereich aufgrund alternativer Erklärungsmöglichkeiten von „Ähnlichkeit“ liegt; mit anderen Worten, die Bewertung phänotypischer Merkmalssysteme in Verwandtschaftsanalysen war so lange vertretbar, als es keine Zugänge zum Studium genotypischer Merkmale gab. Wir befinden uns wegen des hohen Untersuchungsaufwands für molekularbiologische und biochemische Verfahren zwar noch in einer Übergangsphase, aber letztlich weisen alle Anzeichen darauf hin, dass die Morphologie in der prähistorischen Anthropologie an Bedeutung verliert, entsprechend dem Bedeutungswandel in der erbbiologischen Paternitätsbegutachtung.

Verf. hält diese Entwicklung - sofern es um Verwandtschaftsanalysen im makro- und mikroevolutiven Bereich geht - auch für absolut notwendig, denn die Persistenz auf veralteten Strukturen zählt sich in der Wissenschaft - wie auch generell - nicht aus. Lassen Sie mich in diesem allgemeinen Bezug auf Hubert Markl's (1994) Essay „Unser Standort im Strom“ zitieren, in welchem er das Bild der „Red Queen“ aus Lewis Carrolls „Through the Looking-glass“ kommentiert:

„In ihrem Land, lernt Alice, muss man so schnell laufen, wie man kann, damit man wenigstens auf der Stelle bleibt. Der kulturell-zivilisatorische Entwicklungsfortschritt anderer Nationen und Gesellschaften, unserer Konkurrenten im wirtschaftlichen Wettbewerb auf den global geöffneten Märkten, die Konkurrenz um Beschäftigungsmöglichkeiten für die Menschen, die davon profitieren wollen - all dies steht genauso wenig still. Nichts kann uns garantieren, dass die Welt, in der wir es uns scheinbar jetzt schon erträglich eingerichtet haben, auch morgen noch so bleibt: Die Lebenswirklichkeit ist ein unerschöpflich einfallreicher Spielverderber und zugleich ein Eröffner immer neuer Lebensspiele voll hoffnungsvoller Chancen.“ (FAZ 20.4.1994).

Die Erkenntnis der Notwendigkeit von Innovativität zwecks Sicherung unserer Wissenschaft und Chancenwahrung ist deutlich. Klarer und salopper formuliert: Wenn uns als prähistorisch-anthropologisch arbeitenden Osteologen nichts Neues einfällt, dann sind wir sehr bald als universitäre Forschungsrichtung ein Auslaufmodell.

Ist Morphometrie noch zeitgemäss? Die Frage scheint beantwortet. - Doch - wo bleibt das Positive?

Die Morphologie ist mit Sicherheit nicht so morbide, wie es sich in der geschilderten Form ausnimmt. Die Frage ist nur, in welchem Kontext ihr nach wie vor Bedeutung zukommt und welche Fortschritte wir im Methodischen zu verzeichnen haben, um diesem Arbeitsfeld neue Perspektiven zu eröffnen.

Es war der Genfer Anthropologe Roland Menk, der mit unvergleichlichem Engagement bis zu seinem plötzlichen Tod vor nunmehr 10 Jahren durch neue technische Verfahren (unter anderem Stereoclustering) und äusserst ideenreichen Beiträgen nach neuen Wegen suchte. Bezogen auf das Mainzer Institut wurde knapp Anschluss an diese Entwicklung gehalten, und schon entwickelt sich die quantitative Morphologie in eine gänzlich andere Richtung, die bereits 1989 in *Folia Primatologica* im Workshop „New Quantitative Developments in Primatology and Anthropology“ unter der Leitung von Robert D. Martin (Zürich) ausgelotet worden war.

Insbesondere in der stammesgeschichtlichen Forschung - aber damit keineswegs für die prähistorische Osteologie ohne Bedeutung - haben sich mit den zunehmenden apparativen Mög-

lichkeiten 2-dimensionale topologische Verfahren in Pilotstudien bewährt (siehe Henke 1971, Piechulek/Rösing 1986, Friess 1994 und viele andere), und schon weist die Entwicklung auf 3-D-Analysen, die mittels der CT-Scanner und des Imaging-Verfahrens eine Wiedergabe externer und interner Strukturen und damit eine schier unerschöpfliche Fülle von Informationen erlaubt. Vannier/Conroy (1989) differenzieren zwischen drei Typen von Workstations für die „computer-aided“ Primatology:

1. Einfache Stationen, die als „picture archiving and communication systems“ funktionieren, das heisst als elektronische Speichermedien.
2. Diagnostic reporting - worunter Workstations verstanden werden, die die Möglichkeit zur Manipulation von Graustufen und Rohdatenwerten und damit vielfältige Anwendungen erlauben, unter anderem Contouranalysen, Volumenberechnungen etc.
3. Manipulationssysteme, die dreidimensionale Modellierungen und Computergraphiken ermöglichen (s. Friess 1994, dieser Band).

Dass das Computer-Imaging in der Primatologie und Stammesgeschichtsforschung eine breitere Anwendung erlangen wird als in der prähistorischen Anthropologie mit ihren in der Regel viel umfangreicheren Stichproben, ist offensichtlich. Untersuchungen an dem Mann vom Hauslabjoch lassen zwar einige Möglichkeiten der intensiveren Bearbeitung und der Korrektur durch Manipulationssysteme und Modellierungen erkennen, aber der wissenschaftliche Wert steht bislang gegenüber dem praktischen deutlich zurück.

Für dentometrische Analysen könnte man sich den Einsatz stereometrischer Reflexinstrumente vorstellen, über die MacLarnon (1989) berichtete. Derartige Instrumente bilden einen Satz nicht-kontaktierender Messinstrumente, zur Messung dreidimensionaler Strukturen kleiner Objekte oder von Stereophotographien. Die schon weit fortgeschrittenen Aufnahmeverfahren sowie hochwertige Software (unter anderem von Sokal/Sneath 1963, Sneath/Sokal 1973, Rohlf/Sokal 1965) werden in der Zoologie bereits eingesetzt, unter anderem in bezug auf taxonomische Probleme. Sie können zur Analyse von Musterveränderungen in zwei- und dreidimensionalen geometrischen Systemen herangezogen werden und sind bezüglich Fragen zu Säugetierintrogressionen auch für Kranialuntersuchungen erfolgreich angewendet worden. Software ist offenbar hinreichend verfügbar, um in sog. „Contourplots und 3-Dimensional Computer Representations“ Veränderungen erkennbar zu machen (vgl. auch Friess, dieser Band).

Quantitative Ansätze in der Primatenmorphologie hat auch Preuschoft (1989) aufgezeigt, wobei dentalanthropologische Untersuchungen sowie Fragen der Formmerkmale des Schädels, der Körpersegmente, der Proportionen und der allgemeinen Grösse im Vordergrund standen. Preuschoft betont, dass die quantitativen Erfassungsmöglichkeiten bislang keineswegs ausgeschöpft wurden, wenn auch die Nützlichkeit morphometrischer Analysen für taxonomische Probleme (- ich ergänze: oberhalb der Art) allgemein akzeptiert sind, insbesondere dann, wenn multivariate Verfahren eingesetzt werden können. Das Hauptgewicht sieht er aber in der Notwendigkeit, den selektiven Wert eines Merkmals zu verstehen, weshalb eine andere Art von quantitativen Daten notwendig ist, nämlich quantitative Daten aus dem Bereich der Mechanik. Dass auf diesem Feld sehr effektiv gearbeitet wird, zeigen die zahlreichen Studien seiner Arbeitsgruppe und seiner ehemaligen Schüler, unter anderem die Schädelanalysen von Brigitte Demes (1985).

Während der Brückenschlag von diesen funktionsmorphologischen Fragestellungen zu den prähistorisch-anthropologischen Analysen recht schwierig erscheint, so zeigen sich doch in den von O'Higgins (1989) aufgezeigten traditionellen und innovativen Verfahren zur kranialmorphologischen Analyse, unter anderem der Fourieranalyse, Anknüpfungspunkte. Der besondere Nutzen der Fourieranalyse liegt darin, dass komplexe, kontinuierliche Formen nicht nur typologisch, sondern auch quantitativ beschrieben werden. Damit ist die Möglichkeit ge-

geben, bislang nur deskriptiv-morphognostisch erfassbare Merkmale in Form einer Anzahl kontinuierlicher Variablen auszudrücken, womit die gesamte Bandbreite der multivariaten Statistik zugänglich wird (vgl. Jacobshagen 1994). Mittels der sog. Fouriersynthese ist eine visuelle Darstellung jederzeit wieder möglich, und Individualkurven können ebenso wie Gruppenrisse gezeichnet werden. Das Spektrum der Möglichkeiten ist bislang noch keineswegs ausgeschöpft und steht in den Anfängen (z.B. morphometrische Analyse des Schädels von Monte Circeo, Pesce Delfino et al. 1991; oder Quantifizierung der Incisura ischiadica zur Geschlechtsdiagnose durch Novotny 1995).

Zusammenfassend ist nach diesem sehr kursorischen Abriss festzuhalten, dass der Einsatz multivariat-statistischer Verfahren in der prähistorischen Anthropologie zur Lösung vielfältiger Probleme der Ähnlichkeits- respektive Verwandtschaftsanalyse zum Standard unseres wissenschaftlichen Methodeninventars gehört, wobei in zahlreichen Fällen dessen Objektivität, Reliabilität und Validität stark in Zweifel zu ziehen sind.

Trotz unserer geringen Kenntnisse der Heritabilität morphometrischer und morphognostischer Merkmale oder doch zumindest des hohen Unsicherheitsgrades der Erbllichkeit hat die Erfahrung gezeigt, dass wir mittels der multivariaten Datenanalysen Ordnungsmuster erkennen oder quantifizieren, die im historisch-archäologischen Kontext überwiegend plausibel erklärt werden können. Die Forderung der Wissenschaftstheorie ist es jedoch, nicht zu unverbindlichen - plausiblen - Ergebnissen zu gelangen, sondern kausale Zusammenhänge zu erkennen. Damit scheiden sich die „Geister“. Während diejenigen prähistorischen Anthropologen, die sich multivariat-statistischer Verfahren zur Ähnlichkeitsanalyse bedienen und dazu noch aufgrund der Komplexität der applizierten Prozeduren und Darstellungsformen zum Teil auf einem innovativen Forschungsfeld wännen, zeichnet sich die einem geschlossenen biologischen Konzept hinreichend Genüge tuende Forschung auf einem anderen Bereich ab, der zukünftig präzisere Antworten auf die uns beschäftigenden Fragen weiss. Dass es dennoch von Interesse sein wird, das Erscheinungsbild prähistorischer und historischer Populationen und dessen diachrone Veränderungen durch Zeitreihenanalysen erkennen zu wollen, räumte selbst Vogel in seiner herben Kritik ein, als er schrieb, dass diese Arbeit im Vorfeld einer erklärenden Theorie wichtig war und ist. Die Forderung nach einer Systematisierung der Arbeitsschritte und der Überprüfung der Verfahren ist lange überfällig, wie auch Van Vark/Schaafsma (1992) betonen.

Hinzu kommen bislang ungeahnte Möglichkeiten in der Form- und Funktionsanalyse, die in der Evolutionsmorphologie einen besonderen Stellenwert haben. Die Verfahren, die zum Teil an sehr aufwendige apparative Ausstattungen gebunden sind, sollten intensiv hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf taxonomische und biomechanische Probleme überprüft werden. Hier gilt es, Anschluss an die internationale Entwicklung zu halten und - als prähistorische Anthropologen - die Transfermöglichkeiten auf die spezifischen Fragestellungen auszuloten. Dieses Symposium entspricht diesem Anliegen, kann aber nur als ein Einstieg in den Dialog verstanden werden.

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag gibt einen historischen Abriss der Entwicklung quantitativ-morphologischer Verfahren zur osteologischen Analyse und fragt nach innovativen Ansätzen dieses überwiegend konventionellen Arbeitsfeldes.

Literaturverzeichnis

Alt K.W., Türp J.C. (Hg.) 1997

Die Evolution der Zähne. Phylogenie - Ontogenie - Variation. Quintessenz. Verlags-GmbH, Berlin.

Beals K.L., Smith C.L., Dodd St.M. 1984

Brain Size, Cranial Morphology, Climate, and Time Machines. *Current Anthropol.* 25(3), S. 301-330.

Bernhard W. 1971

Multivariate statistische Untersuchungen zur ethnischen Anthropologie von Afghanistan, West-Pakistan und Kashmir. *Homo* 22, S. 1-19.

Bernhard W. 1974

Zur anthropologischen Stellung der ethnischen Gruppen im Hindukush. - Multivariate statistische Untersuchungen. In: Bernhard W., Kandler A. (Hg.), *Bevölkerungsbiologie. Beiträge zur Struktur und Dynamik menschlicher Populationen in anthropologischer Sicht.* Fischer, Stuttgart. S. 154-212.

Bernhard W., Kandler A. (Hg.) 1974

Multivariate statistische Untersuchungen zur ethnischen Anthropologie von Afghanistan, West Pakistan und Kashmir. *Homo* 22, S. 1-19.

Berry J. 1968

The biology of non-metrical variation in mice and men. In Brothwell D.R. (ed.), *The Skeletal Biology of Earlier Human Populations.* Pergamon Press, London. S. 103-134.

Black T.K. 1978

Sexual dimorphism in the toothcrown diameter of the deciduous teeth. *Am. J. Phys. Anthrop.* 48, S. 77-82.

Brothwell D.R. (ed.) 1968

The Skeletal Biology of Earlier Human Populations. Pergamon Press, London.

Chopra V.P. 1968

Faktoren des Craniums bei prähistorischen Populationen. Faktorenanalytische Untersuchungen. Diss. Univ. Mainz.

Creel N. 1968

Die Anwendung statistischer Methoden in der Anthropologie. Diss. Tübingen.

Czarnetzki A. 1971

Epigenetische Skelettmerkmale im Populationsvergleich. I. Rechts-links-Unterschiede bilateral angelegter Merkmale. *Z. Morph. Anthrop.* 63, S. 238-254.

Czarnetzki A. 1972

Epigenetische Skelettmerkmale im Populationsvergleich. II. Frequenzunterschiede zwischen den Geschlechtern. *Z. Morph. Anthrop.* 63, S. 341-350.

Czekanowski J. 1909

Zur Differentialdiagnose der Neandertalgruppe. *Korr. Bl. Dtsch. Ges. Anthrop. Ethnol. Urgesch.* 15, S. 44-47.

Demes B. 1985

Biomechanics of the primate skull base. *Adv. Anat. Embryol. Cell. Biol.* 94, S. 1-59.

Ditch L.E., Rose J.C. 1972

A multivariate dental sexing technique. *Am. J. Phys. Anthrop.* 37, S. 61-64.

Eckardt B. 1989

Evolutionary morphology of human skeletal characteristics. *Anthrop. Anz.* 47, S. 193-228.

Fisher R.A. 1936

The use of multiple Measurements in taxonomic Problems. *Ann. Eugenics* 7, S. 179-188.

Friess M. 1994

Topologische Analyse zur phylogenetischen Stellung spätpleistozäner Hominiden - eine methodische Untersuchung. Magisterarbeit Institut für Anthropologie der Univ. Mainz.

Gallay A. 1978

Stèles néolithique et problématique archéologique. *Arch. suisses d'Anthrop. gén.* 42, S. 75-103.

Giles E. 1964

Sex Discrimination by Discriminant Function Analysis of the Mandible. *Am. J. Phys. Anthrop.* 22, S. 129-135.

Giles E., Elliot O. 1963

Sex Determination by Discriminant Function Analysis of Crania. *Am. J. Phys. Anthrop.* 21, S. 53-68.

Glinka J. 1978

Gestalt und Herkunft. Beitrag zur anthropologischen Gliederung Indonesiens. *Studia Instituti Anthropos* 35. Verlag Anthropos-Institut, St. Augustin.

Grupe G. 1985

Ein deduktives Modell für die historische Anthropologie. *Z. Morph. Anthrop.* 75, S. 189-195.

Hemmer H. 1967

Allometrie-Untersuchungen zur Evolution des menschlichen Schädels und seiner Rassentypen. Fischer, Stuttgart.

Henke W. 1971

Morphognostische und multivariate statistische Verfahren zur Geschlechts- und Rassendiagnose. Aus dem anthropologischen Institut der Universität Mainz.

Henke W. 1985a

Zur morphologischen Variabilität der Jungpaläolithiker und Mesolithiker Europas - Versuch einer diskriminanzanalytischen Differenzierung. In: Herrmann J., Ullrich H. (Hg.), *Menschwerdung - biotischer und gesellschaftlicher Entwicklungsprozess*. Schriften zur Ur- und Frühgeschichte Bd. 41, S. 136-154. Akademie Verlag, Berlin.

Henke W. 1985b

Anthropologische Untersuchung der Skelette. In: Brandt K.H. (Hg.), *Ausgrabungen im St.-Petri Dom zu Bremen*. Bd. 1. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Nägele & Obermiller, Stuttgart. S. 182.

Henke W. 1990a

Die morphometrischen Affinitäten der Epipaläolithiker Nordafrikas zu Populationen Europas und des Vorderen Orients. (I. Deskriptive Statistik und diskriminanzanalytische Befunde). *Homo* 41, S. 146-201.

Henke W. 1990b

Jungpaläolithiker und Mesolithiker - Beiträge zur Anthropologie. Habilitationsschrift FB Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Henke W., Rothe H. 1994

Paläoanthropologie. Springer, Heidelberg.

Herrmann B. (Hg.) 1986

Innovative Trends in der prähistorischen Anthropologie. Mitt. Berliner Ges. Anthrop. Ethnol. Urgesch. 7, Berlin.

Herrmann B. (Hg.) 1994

Archäometrie. Naturwissenschaftliche Analyse von Sachüberresten. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Herrmann B., Hummel S. 1994

Ancient DNA. Recovery and Analysis of Genetical Material from Palaeontological, Archaeological, Museum, Medical and Forensic Specimens. Springer, Heidelberg, Berlin, New York.

Herrmann B., Grupe G., Hummel S., Piepenbrink H., Schutkowski H. 1990

Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Hiernaux J. 1968

La diversité humaine en Afrique subsaharienne. Inst. Soc. Univ. Libre, Bruxelles.

Hitzeroth H.W. 1983

Anthropometric interrelationship of the Southern African Negro, Khoi and San populations I and II. Homo 34, S. 65-93; S. 194-227.

Howells W.W. 1970

Anthropometric Grouping Analyses of Pacific Peoples. Archeol. Phys. Anthrop. Oceania 5, S. 192-217.

Howells W.W. 1973

Cranial Variation in Man. A Study by Multivariate Analysis of Patterns of Difference Among Recent Human Populations. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University, Vol. 67, Cambridge, Mass.

Howells W.W. 1989

Skull Shapes and the Map. Craniometric Analysis in the Dispersion of Modern Humans. Peabody Museum Arch. Ethnol., Harvard University. Harvard University Press, Cambridge.

Jacobshagen B. 1994

Fotografie. In: Knussmann R. (Hg.), Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Bd. 1. Fischer, Stuttgart. S. 631-640.

Kaufmann B. 1986

Eine Ähnlichkeitsanalyse anhand kombinierter metrischer- nichtmetrischer Befundgruppen. S. 63-67. In: Herrmann B. (Hg.), Innovative Trends in der prähistorischen Anthropologie. Mitt. Berliner Ges. Anthrop. Ethnol. Urgesch. 7, Berlin.

Knussmann R. 1962

Moderne statistische Verfahren in der Rassenkunde. In: Schwidetzky I. (Hg.), Die neue Rassenkunde. Fischer, Stuttgart.

Langenscheidt F. 1984

Diskriminanzanalytische Geschlechtsbestimmung anhand von Zahnmassen - unter Verwendung von Verfahren zur angenähert unverzerrten Schätzung der Trennstärke. Homo 34, S. 22-27.

MacLarnon A.M. 1989

Applications of the Reflex Instruments in Quantitative Morphology. Folia Primatologica 53, S. 33-49.

- Markl H. 1994
Unser Standort im Strom. Forschung, Innovation und Wettbewerb: Die ewige Wiederkehr des Neuen. Frankfurter Allgemeine Zeitung 30.04.1994.
- Martin R.D. (ed.) 1989
New Quantitative Developments in Primatology and Anthropology. 1. Schultz-Biegert Symposium in der Kartause Ittingen. Folia Primatologica 53, S. 1-248.
- Menk R. 1978
La mesure des différences morphologiques entre populations humaines. Révision critique de coefficients et distance et leur partage en grandeur et en forme. - Arch. suisses d'Anthrop. gén. 42, S. 55-74.
- Menk R. 1981
Anthropologie du Néolithique européen: Analyse multivariée et essai de synthèse. Diss. Genf.
- Mukherjee R., Rao Cr., Trevor J.C. 1955
The ancient Inhabitants of Jebel Moya (Sudan). Cambridge University Press, Cambridge.
- Novotny V. 1995
Sexual dimorphism and sex determination in human skeleton: results of the research 1985-1995 and perspectives of the project. In: Perspectives in Anthropology of Past and Present Populations. Winkler's Memorial Symposium. Xanthi, S. 59-60 (abstract).
- O'Higgins P. 1989
Developments in Cranial Morphometrics. Folia Primatologica 53, S. 101-124.
- Pearson K. 1926
On the Coefficient of racial Likeness. Biometrika 18, S. 105-117.
- Penrose L. 1954
Distance, size and shape. Ann. Eugen. 18, S. 337-343.
- Pesce Delfino V., Vacca E., Potente F., Lettini T., Ragone P. 1991
Morfometria analitica del Cranio neandertaliano del Monte Circeo (Circeo 1). Ministero per i beni culturali e ambientali, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato.
- Piechulek H., Rösing F.W. 1986
Zur Topologie des menschlichen Schädels. Z. Morph. Anthropol. 76, S. 169-188.
- Preuschoft H. 1989
Quantitative approaches to primate morphology. Folia Primatologica 53, S. 82-100.
- Rösing F.W. 1986
Zwischenanalyse und Binnenanalyse von Bevölkerungen. Zur Innovativität in der Skeletbiologie. In: Herrmann B (Hg.), Innovative Trends in der prähistorischen Anthropologie. Mitt. Berliner. Ges. Anthrop. Ethnol. Urgeschichte 7, Berlin. S. 75-80.
- Rösing F.W. 1990
Qubbet el Hawa und Elephantine. Zur Bevölkerungsgeschichte von Ägypten. Fischer, Stuttgart.
- Rösing F.W., Winkler E.M. 1992
Zur Paradigmengeschichte der Taxonomie: von Bernier über von Eickstedt zu Hiernaux. Homo 43, S. 29-42.
- Schutkowski 1990
Zur Geschlechtsdiagnose von Kinderskeletten. Morphognostische, metrische und diskriminanzanalytische Untersuchungen. Diss. Univ. Göttingen.

- Schwidetzky I. 1950
Grundzüge der Völkerbiologie. Fischer, Stuttgart.
- Schwidetzky I. 1971a
Hauptprobleme der Anthropologie. Rombach, Freiburg.
- Schwidetzky I. 1971b
Bedeutung morphologischer, serologischer und biochemischer Merkmale für die Evolution und Bevölkerungsbio-logie. A. Mikroevolution. Z. Morph. Anthropol. 63, S. 180-191.
- Sneath P.H., Sokal R.R. 1973
Numerical Taxonomy. W.H. Freeman and Company, San Francisco, London
- Sokal R.R., Sneath P.H. 1963
Principles of Human Taxonomy. W.H. Freeman and Company, San Francisco, London.
- Rohlf F.J., Sokal, R.R. 1965
Coefficients of correlation and distance in numerical taxonomy. Univ. Kansas, Sci. Bull. 45/1, S. 3-27.
- Sokal R., Uytterschaut H. 1987
Cranial Variation in European Populations: A Spatial Autocorrelation Study at Three Time Periods. Am. J. Phys. Anthropol. 74, S. 21-38.
- Turner II, C.G. 1989
Teeth and Prehistory in Asia. Sci. Amer. 260(2), S. 70-77.
- Turner II, C.G. 1992
Microevolution of East Asian and European Populations: A dental perspective. In: Akazawa T, Aoki K, Kimura T. (eds.), The Evolution and Dispersal of Modern Humans in Asia. Hokusensha Publishing Co., Tokio, Japan, S. 416-438.
- Ullrich H. 1969
Verwandschaftsdiagnostische Untersuchungen an Skeletten. Wiss. Zeitschrift d. Humboldt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. R. XVIII, 5, S. 893-895.
- Van Vark G.N. 1970
Some Statistical Procedures for the Investigation of Prehistoric Human Skeletal Material. Thesis, University of Groningen.
- Van Vark G.N., Howells W.W. (eds.) 1984
Multivariate Statistical Methods in Physical Anthropology. Reidel Publishing Co, Dordrecht, Netherlands.
- Van Vark G.N., Schaafsma W. 1992
Advances in the quantitative Analysis of Skeletal Morphology. In: Saunders S.R., Katzenberg M.A. (eds.), Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods. Wiley-Liss, New York. S. 225-257.
- Vannier M.W., Conroy G.C. 1989
Three-Dimensional Surface Reconstruction Software System for IBM Personal Computers. Folia Primatologica 53, S. 22-32.
- Vogel C. 1971
Makroevolution. Z. Morph. Anthropol. 63, S. 141-191
- Vogel C. 1982
Biologische Perspektiven der Anthropologie: Gedanken zum sog. Theorie-Defizit der biologischen Anthropologie in Deutschland. Z. Morph. Anthropol. 73, S. 225-236.

Walter H. 1971

Bedeutung morphologischer, serologischer und biochemischer Merkmale für die Evolution und Bevölkerungsbiologie. B. Bevölkerungsvergleich. Z. Morph. Anthropol. 63, S. 167-180.

Winkler E.-M. 1984

Zur systematischen Stellung der Populationen West-Kenias. Homo 35, S. 73-109.

Wright R.V.S. 1992

Correlation between cranial form and geography in *Homo sapiens*: CRANID - a computer program for forensic and other applications. Pers. Hum. Biol. 2/Archaeol. Oceania 27, S. 128-134.

Dank

Der Autor dankt dem Präsidenten der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie, Herrn Andreas Cueni, sowie Frau Dr. Susi Ulrich-Bochsler, Leiterin der Historischen Anthropologie Bern, und den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft für Historische Anthropologie der Schweiz für die Möglichkeit der Konzipierung und Durchführung des Symposiums über quantitativ-morphologische Verfahren zur osteologischen Analyse.

Ferner gilt mein Dank der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften, die den Workshop finanziell grosszügig förderte. Ebenso danke ich den Referenten und Diskutanten, die zum Gelingen des Workshops beigetragen haben, sowie all jenen Gesellschaftsmitgliedern, die für die optimalen Rahmenbedingungen des Arbeitstreffens gesorgt haben.

Anschrift

Prof. Dr. Winfried Henke
Institut für Anthropologie
Universität Mainz
Colonel-Kleinmann-Weg 2 (SB II)
D - 55099 Mainz

Eingang: 21.2.1997

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Beerli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835

Zwischengruppenanalysen anhand multivariat-statistischer Verfahren: Diskriminanz-, Faktoren- und Clusteranalyse¹

Winfried Henke

Abstract

Focus of the present paper is the quantitative analysis of skeletal morphology. If one follows a biostatistical approach to compare skeletal samples one can choose different methods using numerical characterization and subsequent computation. The discussed methods are the discriminant analysis, the factor analysis (principal component analysis) and the cluster analysis. The relative usefulness of these mathematical approaches has been evaluated.

Einführung

Zielsetzung dieses biostatistischen Exkurses ist es, die Zwischengruppenanalyse anhand multivariater statistischer Verfahren vorzustellen und zu diskutieren. Während sich noch vor wenigen Jahrzehnten die Populationsvergleiche fast ausschliesslich auf Beschreibungen der Gestalt stützen konnten und daher typologischen Konzepten folgen mussten, stehen uns heute eine Vielzahl biostatistischer Verfahren zur Verfügung, die es erlauben, eine Reihe von metrischen und nicht-metrischen Merkmalen zu berücksichtigen und zu quantifizieren (vgl. Herrmann et al. 1990).

Der rasche Aufschwung dieser Arbeitsrichtung wurde durch die technische Entwicklung begünstigt und die damit gegebene Möglichkeit der Speicherung umfangreichster Datensätze zum Zwecke von Populationsvergleichen und Zeitreihenanalysen zu einer idealen Voraussetzung, um Beziehungsmuster zwischen prähistorischen Populationen sowie Ethnien zu erfassen und mikroevolutive Trends im diachronen Vergleich aufzuzeigen (Zusammenfassung der Literatur in Knussmann 1992). Es geht hier nicht um die mathematische Begründung der statistischen Verfahren, für die ich mich auch als weitgehend inkompetent ansehen würde. Ich halte es da mit Van Vark und Schaafsma (1992, S. 254), der schrieb:

„A positive point is that it is unnecessary for every anthropologist to fully understand the mathematical background. The nonspecialist anthropologist could be compared with a skilled factory worker who successfully uses sophisticated tools without exact knowledge of how the tools are made. What this anthropologist needs is no more than a general understanding of the underlying rationale of these techniques as well as a knowledge of how and when to use them.“ Die Autoren fahren ergänzend fort: *„Another positive point is that with increasing power and user-friendliness of personal computers and software, multivariate analyses will be easier and faster to carry out. Mathematical multivariate methodology can be far more rewarding than it has been so far. There is no doubt that future studies will contribute considerably to our understanding of past peoples and their evolution.“*

Es geht um das Verständnis des prinzipiellen Ansatzes eines Verfahrens sowie um Kenntnisse darüber, wie und wann die verschiedenen Verfahren korrekt eingesetzt werden können.

¹Vortrag gehalten am SGA/AGHAS-Workshop vom 1.-2. Dezember 1995 in Basel unter der Leitung von Prof. Dr. Winfried Henke/Mainz.

Tab. 1: Den Informationsniveaus adäquate Verfahren (nach Knusmann 1992).

Informationsniveau	1 Stichprobe			2 Stichproben		mehrere Stichproben	
	1 Variable	2 Variablen	mehrere Variablen	1 Variable	mehrere Variablen	1 Variable	mehrere Variablen
Nominalskala	(Prozentsatz) (%-Standardfehler) (Dispersionsindex)	Kontingenzindex χ^2 -Test FREEMAN-HALTON Kontingenzkoeffizient Phi-Koeffizient tetrachor. Korrelation	Konfigurationsfrequenzanalyse Faktorenanalyse M- u. S-Koeffizient	t-Test f. Prozente Kontingenzindex* χ^2 -Test* FREEMAN-HALTON* Kontingenzkoeffizient* Phi-Koeffizient* tetrachor. Korrelation*		Konfigurationsfrequenzanalyse*	Multinomialregel Divergenzmaß SMITH SANGHVI-Abstand Genet. Abstand NEI Genet. Abstand EDWARDS u. CAVALLI-SFORZA
Ordinalskala	Differenzen-Vorzeichen-Test Phasenhäufigkeitstest	Rangkorrelation Rangregression	part. und multiple Rangkorrelation Faktorenanalyse Distanzmaß KENDALL	U-Test KOLMOGOROFF-SMIRNOV WILCOXON (Paardiff.)* Rangkorrelation* Rangregression*	part. u. multiple Rangkorrelation*	H-Test FREEDMAN-Test*	Distanzmaß KENDALL
Kardinalskala nicht normalverteilt	(Mittelwerte) (Variationsbreite) (Perzentile) (Schiefe, Exzeß) Anpassungstest: Differenzen-Vorzeichentest Phasenhäufigkeitstest						
normalverteilt	(Mittelwerte) (Variationsbreite) (Perzentile) (Standardabweichung) (Variationskoeffizient) ($\bar{x}$ -Standardfehler) Anpassungstests	Prod.-Mom.-Korrelation Bestimmtheitsmaß Regression Korrelationsverhältnis nonlineare Regression	part. und multiple Prod.-Mom.-Korrel. multiple u. multivariate Regression kanon. Korrelation Faktorenanalyse euklid. Distanz MAHALANOBIS-Abstand PENROSE-Abstand Q-Korrelation	F-Test t-Test t-Test (Paardiff.)* Prod.-Mom.-Korrelation* Bestimmtheitsmaß* Regression* Korrelationsverhältnis* nonlineare Regression*	part. u. multiple Prod.-Mom.-Korrel.* multiple u. multivariate Regression* kanon. Korrelation* Diskriminanzanalyse	BARTLETT-Test unifakt. Varianzanalyse + SCHEFFÉ-Test + SCHEFFÉ-Test + Varianzkomponenten + Varianzkomponenten unifakt. Kovarianzanalyse Intraklastkorrelation*	multifakt. Varianzanalyse + SCHEFFÉ-Test + Varianzkomponenten multivar. Varianzanalyse + WILKS' Λ + Varianzkomponenten multiple Diskriminanzanalyse euklid. Distanz MAHALANOBIS-Abstand PENROSE-Abstand Q-Korrelation
gemischte Variablen		Zweizeilenkorrelation	Ähnlichkeitsmaß von GOWER				Lokationsmodell HIERNAUX-Abstand Ähnlichkeitsmaß von OLIVIER

Spezielle Methoden für verbundene Stichproben sind mit * gekennzeichnet;

() = deskriptive Verfahren;

Normaldruck = Tests auf Unterschiede bzw. Zuordnungsverfahren;

kursiv = Zusammenhänge messende Verfahren;

halbfett = Distanz- und Ähnlichkeitsmasse;

Clusterverfahren i.e.S. sind nicht berücksichtigt, da das Tabellenschema hierfür nicht relevant ist.

Die Tabelle 1, die von Knusmann (1992) zusammengestellt wurde, listet die statistischen Verfahren in ihrer Adäquatheit zum Informationsniveau auf, und Tabelle 2 vermittelt die Beziehung zwischen Fragestellung und multiplen Verfahren (n. Herder-Lexikon der Psychologie). Die hier zunächst zu behandelnden Verfahren - **die Diskriminanz- und Faktorenanalyse** - sind umrahmt. Ihre Zuordnung macht deutlich, dass die Diskriminanzanalyse (DA) immer dann angewandt werden kann, wenn zwei oder mehr Stichproben vorhanden sind, sofern mehrere Variablen erfasst wurden und diese normalverteilt sind, während die Applikation der Faktorenanalyse auch bei nominal-skalierten Daten und Ordinalskala anzuwenden ist.

Tab. 2: Multiple Verfahren bezogen auf spezifische Fragestellungen (Herder-Lexikon der Psychologie).

C. Multiple Verfahren bei metrischen Variablen		
Fragestellung	Verfahren	Bemerkungen
Wie groß ist der Einfluß einer Variablen S auf die Korrelation zwischen zwei Variablen X und Y?	/Partielle Korrelation, kann über t geprüft werden	Durch sukzessive Anwendung des Verfahrens können mehrere Einflüsse auspartialisiert werden
Wie groß ist der Zusammenhang zwischen einer optimalen Kombination von mehreren Prediktorvariablen und einem Kriterium?	/Multiple /Korrelation, multiple /Regression zur Darstellung der optimalen Vorhersagegleichung	/linearer Zusammenhang, alle Variablen normalverteilt
Wie groß ist der maximale Zusammenhang zwischen einer Kombination von Prediktorvariablen und einer Kombination von Kriterien?	Kanonische Korrelation. Erweiterung: Kanonische Faktorenanalyse	/lineare Zusammenhänge bzw. lineares Modell
Lassen sich mehrere Variablen durch eine geringere Zahl gemeinsamer Faktoren erklären?	/Faktorenanalyse	Im allgemeinen lineares Modell, Lösung nicht eindeutig, hat meist nur heuristischen Wert
Wie wirken sich Kombinationen von verschiedenen Bedingungen auf den Mittelwert einer Zufallsvariablen aus, besteht eine Wechselwirkung zwischen den Bedingungen?	/Varianzanalyse	sehr viele verschiedene /Versuchspläne
Durch welche Linearkombination(en) von beobachteten Variablen lassen sich Gruppen aus verschiedenen Grundgesamtheiten mit geg. statistischer Sicherheit trennen?	/Diskriminanzanalyse	

Exkurs: Es sei daran erinnert, dass eine Nominalskala die Klassifikationsgrundlage qualitativer Daten darstellt und die einzige Bedingung, die eine Nominalskala erfüllen muss, darin besteht, dass Ereignis und Klasse einander eindeutig zugeordnet werden können. Zwischen den Klassen einer Nominalskala besteht qualitative Verschiedenheit, innerhalb der Klasse Gleichheit aller Fälle.

Eine Ordinalskala ist eine Rangordnung und damit die einfachste Form der Metrik. Sie ermöglicht Aussagen über die Größenrelation von Beobachtungseinheiten im Sinne von kleiner - grösser, nicht jedoch über die Größenunterschiede zwischen den verschiedenen Elementen. Eine Normalverteilung oder Gauss-Verteilung respektive Glockenkurve entsteht, wenn die ein Merkmal verursachenden Faktoren zahlreich, voneinander unabhängig und in ihrem Wirken additiv sind.

Die Erfüllung der obigen Voraussetzungen ist notwendig, um die einzelnen Prozeduren anwenden zu können. Bezüglich der Prüfung auf Normalverteilung, unter anderem durch den Kolmogorov-Smirnov-Test zur Analyse der Normalverteilung, liegen sehr unterschiedliche Stellungnahmen vor. Seidler/Formann (1980) weisen darauf hin, dass - entgegen der verschiedentlich geäußerten Auffassung - anthropometrische Daten nicht immer normalverteilt seien und somit insbesondere die Anwendung multivariater Verfahren Einschränkungen unterliege. Diese Einlassung kann man sicher auch für morphometrische Skelettdaten annehmen. Zu den Voraussetzungen der statistischen Theorie der DA (Rao 1952, Linder 1964, Van Vark 1971, 1976) zählt aber, dass die Variablen multivariat normalverteilt sein müssen und die Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen gewährleistet sein soll.

Ergänzung: In einer bivariaten Verteilung ist das durchschnittliche Produkt der Abweichungspaare vom jeweiligen Mittelwert die **Kovarianz**. Sie ist ein Mass für die gemeinsame Variation zweier Variablen, hängt jedoch ausserdem von den Streuungen der beiden Variablen ab.

Die Prüfung auf Normalverteilung wirft in der Regel einige Probleme auf, denn aus methodischen Gründen lassen sich nur uni- und bivariate Verteilungen auf Normalität prüfen, und wegen der Abhängigkeit der Signifikanzschwelle vom Stichprobenumfang zeigen kleinere Stichproben nach allgemeiner Erfahrung eher Abweichungen von der Normalverteilung. Hinweise auf mögliche Abweichungen beobachteter Verteilungen einzelner Variablen ergeben sich auch durch die stichprobenkennzeichnenden Grössen Schiefe (*skewness*) und Exzess oder Wölbung (*kurtosis*) (vgl. Sachs 1969).

Klecka (1975) beschrieb eine gewisse „Robustizität“ diskriminanzanalytischer Verfahren, so dass auf mathematische Transformationen der Daten meistens verzichtet werden kann. Seidler/Formann (1980) nehmen auch an, dass schon kleine „Ecken“ in der empirischen Verteilung Signifikanz im K-S-Test anzeigen. Winkler (1982) erläutert diesbezüglich, dass anthropometrische Daten biologisch bedingte Ober- und Untergrenzen haben und dass solche „*truncated distributions*“, die im Bereich der dritten und vierten Standardabweichungen keine Besetzung mehr aufweisen, „abreissen“ und dadurch zu Signifikanzen im K-S-Test führen können. Er kommt deshalb auch zu folgender Feststellung:

„Für den an die Variationen des Lebendigen gewöhnten Biologen kann eine empirische Verteilung durchaus noch dem Typus der Normalverteilung (symmetrische Glockenkurve) entsprechen, während der „strengere“ Test in diesem Fall bereits signifikante Abweichungen von der theoretischen Normalverteilung anzeigt“ (Winkler 1982, S. 97).

Van Vark und Schaafsma (1992) weisen mit Recht darauf hin, dass jeder Einführung in multivariat-statistische Methoden Erörterungen über die Begriffe **Population und Stichprobe** (*sample*) voranzustellen sind. Das, was der Biologe unter einer Population versteht, eben eine Fortpflanzungsgemeinschaft, hat mit dem in der Statistik verwendeten Begriff in der Regel nur wenig gemein. Im allgemeinen beinhaltet das Konzept der Population im statistischen Sinn Individuen, die in einer bestimmten Region in einem bestimmten Zeitraum leben. Da Zeit und Raum unter Umständen beträchtlich variieren, können die Individuen unterschiedliche taxonomische Ursprünge aufweisen. Auch Neandertaler-Individuen werden als Populationen aufgefasst, obwohl wir uns nicht sicher sind, ob es sich um eine fossile Spezies oder nur um eine Subspezies des Genus *Homo* handelt. Selbst beim Vergleich von Geschlechtergruppen wird von männlichen und weiblichen Subpopulationen gesprochen, so dass eine beachtliche Konfusion gegenüber dem strengen populationsgenetischen Begriff vorliegt. Eine Stichprobe wird als Untergruppe (Subgruppe) einer Population definiert, und wir behandeln in der Statistik in der Regel die Stichproben oder „*samples*“ so, als wären die Individuen unabhängig und rein zufällig ausgewählt worden.

Es ist allen, die prähistorische Skelettserien bearbeiten, klar, dass unsere Stichproben erhebliche Schwächen und die biostatistischen Berechnungen daher auch gravierende Fehlermöglichkeiten aufweisen können. Dennoch schreiten wir häufig mit sehr empfindlichen statistischen Prozeduren zur bevölkerungsbiologischen Analyse, ohne uns dieses „weichen Fundaments“ dabei bewusst zu sein, anders ausgedrückt: Wir sind uns dieser Schwächen zwar bewusst, verdrängen sie aber nicht selten und büssen damit an Glaubwürdigkeit ein. Würden wir den abzufordernden Ansprüchen im einzelnen Rechnung tragen, so könnten wir häufig jeden weiteren analytischen Schritt abbrechen.

Diskriminanzanalyse: Unter den hier zu diskutierenden Verfahren sei zunächst wegen ihrer grossen Bedeutung in der Anthropologie die DA diskutiert, die Barnard (1935) erstmals applizierte und Fisher (1936) formal beschrieb (vgl. Van Vark/Schaafsma 1992). Wenn es also das Ziel ist, eine bestmögliche Trennung von Gruppen aufgrund zahlreicher Merkmale zu erreichen, so liegt der Schluss nahe, durch die Einbeziehung besonders vieler Merkmale die Trennfunktion zu optimieren. Nun weiss man aber, dass Stichprobeneffekte besonders dann gegeben sind, wenn die Stichprobengrössen in Relation zur Variablenzahl recht klein sind.

Vernachlässigt man diese Effekte, so bedeutet das den Verlust des diagnostischen Wertes einer Analyse, systematische Fehler in den Resultaten sowie Fehlinterpretationen. Bezüglich der verschiedenen Schritte, die man als

- (1) Formulierung der DF (Diskriminanzfunktion),
- (2) Schätzung der DF,
- (3) Prüfung der DF und
- (4) Klassifizierung von Elementen

zerlegen kann, sollen nur einige Aspekte eingehender diskutiert werden.

Das DA-Verfahren wird deswegen so häufig für Vergleichsanalysen eingesetzt, weil es morphologische Distanzen zum Ausdruck bringen kann und die Beziehungen von Kollektiven sowie auch von deren Individuen in einem Ordnungsmuster zu quantifizieren vermag. Die Diskriminanzanalyse findet nicht nur im Zweigruppen-Vergleich Anwendung, sondern unter anderem auch in der Divergenzschätzung mittels des verallgemeinerten Abstandes bei phylogenetisch-systematischen Untersuchungen sowie zur Analyse mutmasslicher Introgressionen (z.B. in der Mammologie, vgl. Rempe/Bühler 1969). Wesentlich ist, dass stets zwei oder mehr Gruppen definiert sein müssen. Dabei kann die Definition der Gruppen unter Umständen auch das Ergebnis einer vorgeschalteten Analyse sein, eines hypothesengenerierenden Verfahrens wie einer Clusteranalyse.

Untersucht man die durch die Clusteranalyse evidenten Gruppen, so kann man dies auf derselben Merkmalsbasis tun oder aber auf andere Merkmale zurückgreifen. Man unterscheidet daher aktive Variablen, die zur Gruppierung führten, und passive Variablen, auf denen die DA dann aufbaut.

Die DA bezieht komplette Datensätze auf metrischem Skalenniveau ein, das heisst sämtliche berücksichtigten Merkmale (Variablen) aller Elemente (Individuen) eines Kollektivs oder einer Gruppe müssen erfasst sein, und es müssen zwei oder mehr Kollektive zur Analyse vorliegen. Binäre (zweiwertige) Variablen lassen sich generell wie metrische (quantitative) Variablen behandeln. Die DA transformiert die Variablen (Merkmale) so, dass sich die Gruppen bestmöglich trennen, weshalb man auch vom Trennverfahren spricht (Linder 1964). Ausgangspunkt des Verfahrens ist nach Fisher (1936) die sogenannte **lineare Diskriminanzanalyse**, der Zweigruppenfall, wobei $y = c_1x_1 + c_2x_2 \dots + c_nx_n$ ist. x_n sind die metrischen Variablen und c_n die Diskriminanzkoeffizienten, die es im Rahmen der Diskriminanzanalyse zu ermitteln gilt. Sie gewichten den Einfluss der einzelnen Variablen, auf denen die lineare Funktion aufbaut. Die Auswahl der Merkmalsvariablen erfolgt nach Backhaus et al. (1990) zunächst hypothetisch, das heisst aufgrund von theoretischen oder sachlogischen Überlegungen. Die Studie von Howells (1973) ist ein ideales Beispiel dafür, dass man auf diesem Feld sehr kreativ sein kann. Er wählte sogenannte Gesichtsflächheitsmasse aus, die sich als besonders effektiv für die Trennung mongolider Populationen gegenüber Europiden und Negriden erwiesen.

Die Kernüberlegung von Fisher (1936) bei der Entwicklung der DA war, dass sich zwei Gruppen auf Grund *eines* Merkmals umso besser trennen lassen, je grösser die Differenz der beiden Mittelwerte ist und je weniger sich die beiden Streuungen überschneiden, das heisst, je kleiner die beiden Streuungen sind. Die Abhängigkeit des Unterschieds zweier Verteilungen von Mittelwertsdifferenz und Streuung ist in Abbildung 1 illustriert. Die Darstellung macht deutlich, dass sich die Trennung der beiden Verteilungen in *a* verbessert, wenn man, wie in *b* demonstriert, bei gleichbleibenden Streuungen die Mittelwertsdifferenz vergrössert, oder wie in *c* dargestellt, die Mittelwertsdifferenz beibehält, aber die Streuungen verkleinert (vgl. Knussmann 1962, 1992). Dass die Verteilung der individuellen Messwerte zweier Kollektive sehr unterschiedlich sein kann, gibt Abbildung 2 wieder. Jede Koordinate repräsentiert die Massskala für ein Merkmal. Die an den Koordinaten dargestellten Verteilungskurven für die Punktwolken (Kreise bzw. Vierecke) zeigen, dass die Trennung jeder einzelnen Variable

nicht optimal ist. Dagegen stellt die schräg verlaufende Gerade die bestmögliche Trenngerade für die beiden Gruppen dar. Die rechtwinklig zu ihr abgetragenen Verteilungskurven betreffen das Rechenmass als Linearkombination aus beiden Merkmalen. Diese Graphiken belegen, dass man durch den Vergleich der Mittelwerte einer Merkmalsvariablen in verschiedenen Gruppen ein sogenanntes „diskriminatorisches Potential“ überprüfen kann. Die tatsächliche diskriminatorische Bedeutung einer Variablen lässt sich aber erst nach Schätzung der Diskriminanzfunktion feststellen, da sie auch von der Korrelation zu den übrigen Merkmalsvariablen in der Diskriminanzfunktion abhängig ist. Wenn man ein Merkmal auf- oder herausnimmt, verändert sich mit der Diskriminanzfunktion auch ihre eigene Trennstärke und wegen der Interkorrelation zugleich diejenige aller Einzelmerkmale. Van Vark/Van der Sman (1982) und Van Vark/Schaafsma (1992) haben durch zahlreiche Artikel immer wieder darauf hingewiesen, dass die Trennschärfe nur bis zu einer gewissen Variablenzahl zunimmt, um dann - insbesondere bei sehr grosser Variablenzahl (p) - wieder zu sinken (Abb. 3). Knusmann (1992) empfiehlt für den Fall, dass man zahlreiche Variablen zur Verfügung hat oder wenn man mit dem Ziel einer ökonomischen Diagnoseformel eine Trennfunktion aus möglichst wenigen Variablen aufstellen will, statt der simultanen Einbeziehung der Variablen (im SPSS Methode Direct) eine schrittweise Diskriminanzanalyse vorzunehmen. In der Regel arbeitet das Verfahren derart, dass man vom Merkmal mit der höchsten Trennstärke ausgeht und eine sequentielle Einbeziehung des Merkmals mit der nächstbesten Trennschärfe erfolgt. Es gibt aber auch rückschreitende Eliminationen. Kriterium für den Einschluss bzw. Ausschluss sind partielle F-Werte und zwar „F to enter“ und „F to remove“, die sich an einem Schwellenwert orientieren.

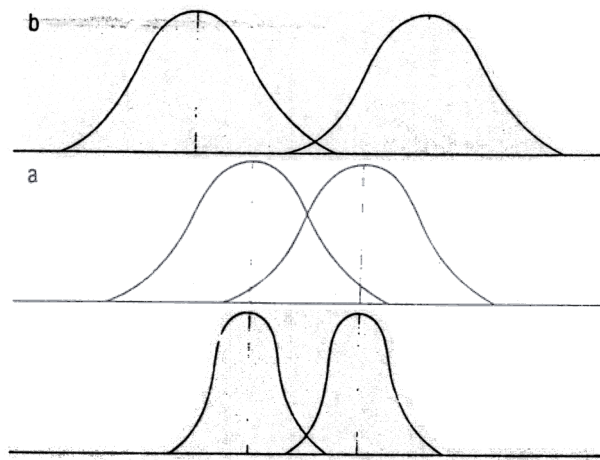


Abb. 1: Abhängigkeit des Unterschieds zweier Verteilungen von der Mittelwertsdifferenz und der Streuung. Geht man von der Teilabbildung a aus und vergrössert bei gleichbleibenden Streuungen die Mittelwertsdifferenz (b) oder verkleinert bei gleichbleibender Mittelwertsdifferenz die Streuungen c, so verbessert sich die Trennung der beiden Verteilungen (nach Knusmann 1992).

Knusmann (1992) erwähnt mit Recht, dass es sinnvoller wäre, nicht mit einem starren Schwellenwert zu arbeiten, sondern in jedem Schritt alle diejenigen Merkmale auszuscheiden, deren „F to remove“ hinter dem „F to enter“ des jeweils neu aufgenommenen Merkmals zurückbleibt.

Van Vark/Van der Sman (1992) kommentieren die schrittweise Diskriminanzanalyse dahingehend, dass die darin geforderten Kriterien nicht notwendigerweise zu einer Auswahl der optimalen Variablenzahl führen, so dass der aktuelle Diskriminanzwert D_a maximiert wird.

Die Autoren sehen ein sinnvolles Kriterium nur durch die Zielsetzungen der Untersucher gegeben. Diese Ziele könnten sein:

- a) Prüfung der Unterschiede der untersuchten Bevölkerungen;
- b) Konstruktion von Prozeduren zur Klassifikation von Individuen;
- c) Konstruktion von Prozeduren zur Schätzung von „*posterior probabilities*“ von Individuen (Wahrscheinlichkeitsklassifikation).

Der Vorschlag der Autoren für eine optimale Variablenauswahl, um eine maximale Trennschärfe zu erzielen, ist unter anderem das sogenannte *Leaving-one-out*-Verfahren nach Lachenbruch (1967), bei welchem die Stichprobe nicht in eine Ausgangs- und Kontrollstichprobe zerlegt wird, sondern alle verfügbaren Individuen sukzessiv als Design- sowie als Test-Stichprobe einbezogen werden.

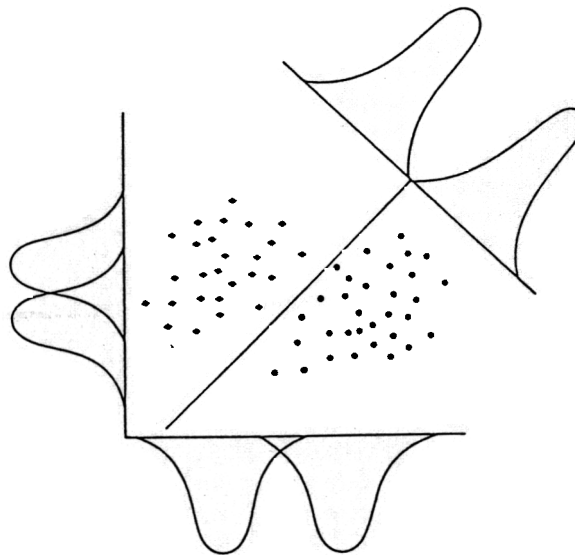


Abb. 2: Die Verteilung der individuellen Messwerte von zwei Merkmalen in zwei Gruppen (Kreise bzw. Vierecke). Jede Koordinate repräsentiert die Masskala für ein Merkmal; die betreffenden Verteilungskurven sind an der Koordinate abgetragen. Die schräg verlaufende Gerade stellt die bestmögliche Trenngerade der beiden Stichproben dar; die rechtwinklig zu ihr abgetragenen Verteilungskurven treffen das Rechenmass als Linearkombination aus den beiden Merkmalen (nach Knussmann 1992).

Welche Methode man auch wählt, es gibt eine Tendenz, D_a zu überschätzen und die Wahrscheinlichkeit der Fehlklassifikation zu unterschätzen, sofern die Kalkulation dieser Statistiken zuvor zur Ordnung der Variablen diente. Die von Van Vark/Schaafsma (1992) vorgeschlagene Prozedur eines Super-LOO, bei welchem die Berechnung bei Ausschluss eines Individuums jeweils wiederholt wird, wird von den Autoren selbst als unpraktisch und möglicherweise fehllaufend gekennzeichnet, abgesehen davon, dass kein kommerzielles Programmpaket dafür verfügbar ist. Dass in jeder Diskriminanzanalyse ein systematischer Fehler stecken kann, weil die Beobachtungsstichprobe und die Teststichprobe nicht identisch sind, haben die Autoren in Abbildung 4 deutlich gemacht. Wie man erkennen kann, wurden offenbar mehrere Gruppen verglichen und daher zwei Diskriminanzfunktionen erstellt. Während die Beobachtungsstichproben mit durchgezogenen isodensischen Ellipsen gekennzeichnet sind, wurden die der Test-Stichproben gepunktet. Es ist erkennbar, dass die Ellipsen der Be-

obachtungsstichproben kleiner und im Vergleich mit den Teststichproben weiter voneinander entfernt sind und damit ein Unzuverlässigkeitsfaktor für die Klassifikation unbekannter Fälle vorliegt. Es kann als eine statistische Regel gelten, dass der systematische Fehler grösser wird, je kleiner der Quotient aus der Gesamtgrösse der beobachteten Stichproben und der Anzahl der Variablen, die in die Funktionen eingeflossen sind, ist. Das hat insbesondere dann Folgen, wenn man Einzelfälle lokalisieren will.

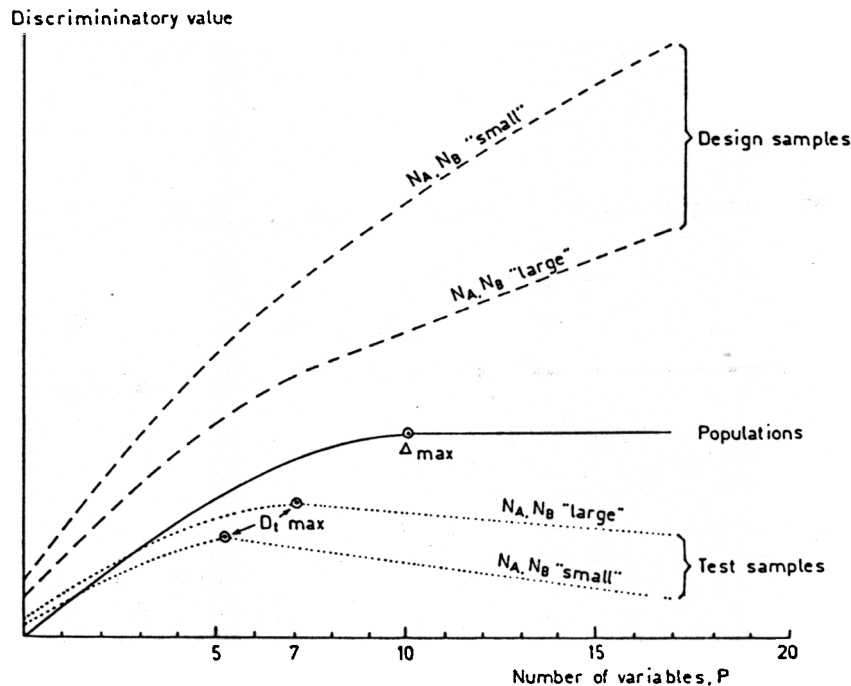


Abb. 3: Theoretischer Vergleich der Diskriminanzwerte. Delta: Theoretisch berechnete Delta-Kurve von zwei Populationen. D: Kurven, die von der Design-Stichprobe dieser Populationen genommen wurden. D_a : Kurven, die für Teststichproben dieser Populationen erstellt wurden. (Aus Van Vark 1976, Van Vark/Schaafsma 1992).

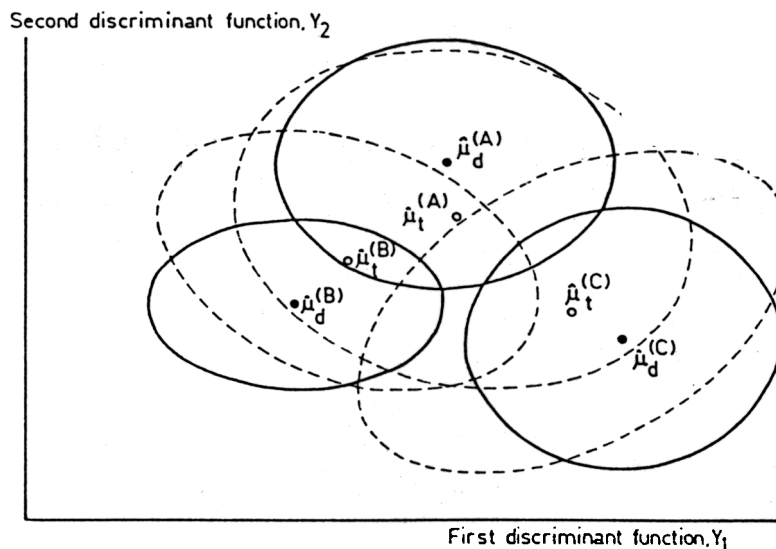


Abb. 4: Vergleich isodensischer Ellipsen von Design- und Test-Sample (aus Van Vark 1971, Van Vark/Schaafsma 1992).

Ein häufig begangener Fehler zur Bewertung der Trennschärfe liegt in der Beurteilung der sogenannten **Trefferquote**. Das Klassifikationsergebnis wird in der Regel in einer Klassifikationsmatrix dargestellt. In der Diagonalen stehen die Fallzahlen der korrekt klassifizierten Elemente jeder Gruppe und in den übrigen Feldern die der falsch klassifizierten Elemente. In den Klammern sind die relativen Häufigkeiten wiedergegeben. Die Klassifikationsmatrix ist für Mehrgruppenfälle analog aufgebaut. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Trefferquoten in unseren prähistorisch-anthropologischen Analysen deutlich überhöht sind, da die DF in der Regel so ermittelt wird, dass die Trefferquote in der verwendeten Stichprobe maximal wird, so dass bei Applikation der Diskriminanzfunktion auf eine andere Stichprobe mit einer niedrigeren Trefferquote zu rechnen ist. Dieser sogenannte Stichprobeneffekt vermindert sich allerdings mit zunehmendem Umfang der Stichprobe. Man kann eine gewisse Kontrolle dadurch vornehmen, dass man zwei Unterstichproben aufgrund von Zufallskriterien schafft und die eine Stichprobe zur Berechnung der DF, die andere zur Kontrolle verwendet. Dieses Vorgehen ist jedoch nur dann ratsam, wenn man eine hinreichend grosse Stichprobe zur Verfügung hat, da mit abnehmender Stichprobengrösse die Zuverlässigkeit der geschätzten Diskriminanzkoeffizienten abnimmt. Backhaus et al. (1990) betonen ferner, dass die vorhandene Information dadurch nicht hinreichend genutzt wird.

Die Prüfung der Diskriminanzfunktion kann auf verschiedene Weise dokumentiert sein. Erstens durch den sogenannten Eigenwert, das heisst das Verhältnis von erklärter zu nichterklärter Streuung. Dieser Wert ist wenig aussagefähig, da er nicht auf Werte zwischen null und eins normiert ist. Der kanonische Korrelationskoeffizient, der sich als Wurzel aus der Verhältniszahl von erklärter Streuung und Gesamtstreuung versteht und im Zweigruppen-Fall identisch ist mit der Korrelation zwischen den geschätzten Diskriminanzwerten und der Gruppierungsvariablen, gibt einen ersten Eindruck über die Trennkraft (Güte) einer Funktion. Aber das ideale Gütemass ist Wilks' Lambda ($L = 1/(1 + \text{Eigenwert})$), welches Wahrscheinlichkeitsaussagen über die Unterschiedlichkeit von Gruppen erlaubt, wodurch eine Signifikanzprüfung möglich ist. Die Signifikanzprüfung geht von der Nullhypothese aus, dass die verglichenen Gruppen sich nicht unterscheiden. Für Mehrgruppen-Fälle gibt es ein multivariates Wilks' Lambda. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass die statistische Signifikanz einer DF noch keineswegs besagt, dass diese auch wirklich gut trennt, sondern lediglich, dass sich die Gruppen bezüglich dieser Diskriminanzfunktion signifikant unterscheiden.

Der Trennbeitrag der einzelnen Variablen kann nicht durch die ermittelten Diskriminanzkoeffizienten beurteilt werden, denn die Grösse eines Diskriminanzkoeffizienten hängt auch von der Standardabweichung der zugehörigen Variablen und damit willkürlichen Skalierungseffekten ab (unter anderem Masseinheiten). Dieser Effekt ist auszuschalten, indem man den Diskriminanzkoeffizienten mit den Standardabweichungen der betreffenden Merkmalsvariablen multipliziert. Derartige Koeffizienten werden als standardisierte Diskriminanzkoeffizienten bezeichnet. (Zur Berechnung der Diskriminanzwerte müssen immer die unstandardisierten Diskriminanzkoeffizienten verwendet werden.)

Schliesslich seien noch einige Worte über die Klassifizierung der Elemente gesagt, die nach dem Distanzkonzept, dem Wahrscheinlichkeitskonzept und nach Klassifikationsfunktionen erfolgen kann. Im SPSSX/SPSS/PC werden für jedes zu klassifizierende Element/Individuum die jeweils zwei höchsten Klassifizierungswahrscheinlichkeiten sowie die bedingte Wahrscheinlichkeit für die Gruppe mit der höchsten Klassifizierungswahrscheinlichkeit angegeben.

Nach den kommerziellen Programmen erfolgt für jedes Individuum eine Klassifizierung, das heisst, die Klassifizierungswahrscheinlichkeiten erlauben deshalb auch keine Aussage darüber, ob und wie wahrscheinlich es ist, dass ein klassifiziertes Element überhaupt einer der betrachteten Gruppen angehört.

Weitere Ausführungen zur DA müssen hier ausgespart werden, um den anderen zu diskutierenden Verfahren noch gerecht zu werden. Es sei jedoch erwähnt, dass die wichtigen Kennzeichen einer Diskriminanzfunktion in Publikationen stets angegeben werden sollten, um die Güte der Trennfunktion abschätzen zu können. Auch die Diskriminanzfunktion mit den unstandardisierten DF-Koeffizienten sollte mitgeteilt werden, um später Berechnungen und Zuordnungen weiterer Elemente vornehmen zu können.

Erst die vollständige Angabe der Parameter und Gütemerkmale einer Diskriminanzfunktion erlaubt es, fundierte Kritik zu üben. So lassen sich z.B. mittels des sogenannten Delta-Programms, welches von einem ehemaligen Mitarbeiter des Instituts für Anthropologie der Universität Mainz, Dieter Butz, nach Angaben von Van Vark erstellt wurde, die für die Analysestichprobe ermittelten D_a -Diskriminanzrechenmasse für die Grundgesamtheit ermitteln. Dabei wird die Überschätzung der Trefferquote - insbesondere für kleinere Stichproben, korrigiert (siehe hierzu Henke 1990a unpubl.: *De discrimine sexuum*).

Faktorenanalyse: Ziel von Faktorenanalysen ist es, das Zustandekommen der Korrelationen zwischen einer grossen Zahl von Variablen auf das Wirken einer kleineren Zahl von abstrakten oder abgeleiteten Grundfaktoren zurückzuführen. In diesem Ziel liegt ein allgemeiner Anspruch der Wissenschaft, aus den beobachteten Erscheinungen eine ökonomische Menge von Grundkonzepten abzuleiten. In der Physik und Chemie können in der Regel leicht Aussagen über diese Grundkonzepte gemacht werden, während in der Biologie und in den Sozialwissenschaften, wo viel mehr Faktoren wirksam sind, die Faktorenanalyse ein Instrument zur ersten vereinfachenden Begriffsbildung ist.

Das Verfahren, welches am häufigsten zur Analyse interindividueller Beziehungen auf der Basis morphometrischer Daten herangezogen wird, ist die sogenannte **Hauptkomponentenanalyse** (PCA = **Principal Component Analysis**; Sneath/Sokal 1973, Knussmann 1962, 1992 und viele andere).

Die Aufgabe der ursprünglich auf Hotelling (1933) zurückgehenden PCA, dieses speziellen Verfahrens der Faktorenextraktion, kann wie folgt umschrieben werden: Sofern in einem multivariaten Zahlenmaterial hochkorrelierte Variablen vorhanden sind, kann es für interpretative Zwecke von Vorteil sein, die m Variablen durch eine Anzahl $m' < m$ neuer, unkorrelierter Variablen zu ersetzen. Die neuen Variablen sollen dabei aus den alten durch lineare Transformation so abgeleitet werden, dass vorläufig keine Information verlorenggeht. Anders ausgedrückt, die Werte in den ursprünglichen m Variablen sollen aus den Werten der m' neuen Variablen rekonstruierbar sein.

Grundgedanke der PCA ist es also, bei einer vorgegebenen m -dimensionalen Korrelationsmatrix ein neues orthogonales Koordinationssystem so zu bestimmen, dass ein Maximum der Gesamtvarianz in Richtung der ersten Hauptachse liegt, ein Maximum der Restvarianz in der zweiten Hauptachse usw. Die PCA-Lösung stellt ein geeignetes und in der prähistorischen Anthropologie vielfach bewährtes Verfahren zur Reduktion zahlreicher korrelierter Variablen auf einige wenige unkorrelierte dar (vgl. Knussmann 1962, 1992; Überla 1971, Schuchard-Fischer et al. 1980, Weber 1980, Flury/Riedwyl 1983). Die Abgrenzung der Hauptkomponentenanalyse gegenüber der Faktorenanalyse ist teilweise eine Nomenklaturfrage. Überla (1971, S. 88) vertritt die Auffassung, dass sich die Hauptkomponentenanalyse sinnvoll in die Faktorenanalyse einordnen lässt.

Zur Kennzeichnung der Unterschiede soll zunächst die Aufgabe der „klassischen Faktorenanalyse“ erläutert werden. Sie liegt, wie bereits zum Teil ausgeführt, darin, die Vielzahl möglicher Variablen auf wenige wichtige Einflussfaktoren zu reduzieren und die erklärungsrelevanten Variablen bzw. Variablenbündel „zu entdecken“. Die Faktorenanalyse unterstellt also, dass die Korrelationen der Beobachtungsdaten durch ein oder mehrere hinter den Variablen

stehende Faktoren erklärt werden können. Ihr Ziel ist es, die Faktoren mittels mathematisch-statistischer Prozeduren aus der Ausgangsinformation aufzudecken. Die Bedeutung der extrahierten Faktoren wird durch die sogenannten Faktorenladungen zum Ausdruck gebracht; sie sind eine Massgrösse für den Zusammenhang zwischen Variablen und Faktoren, mithin ein Korrelationskoeffizient zwischen Faktoren und Variablen.

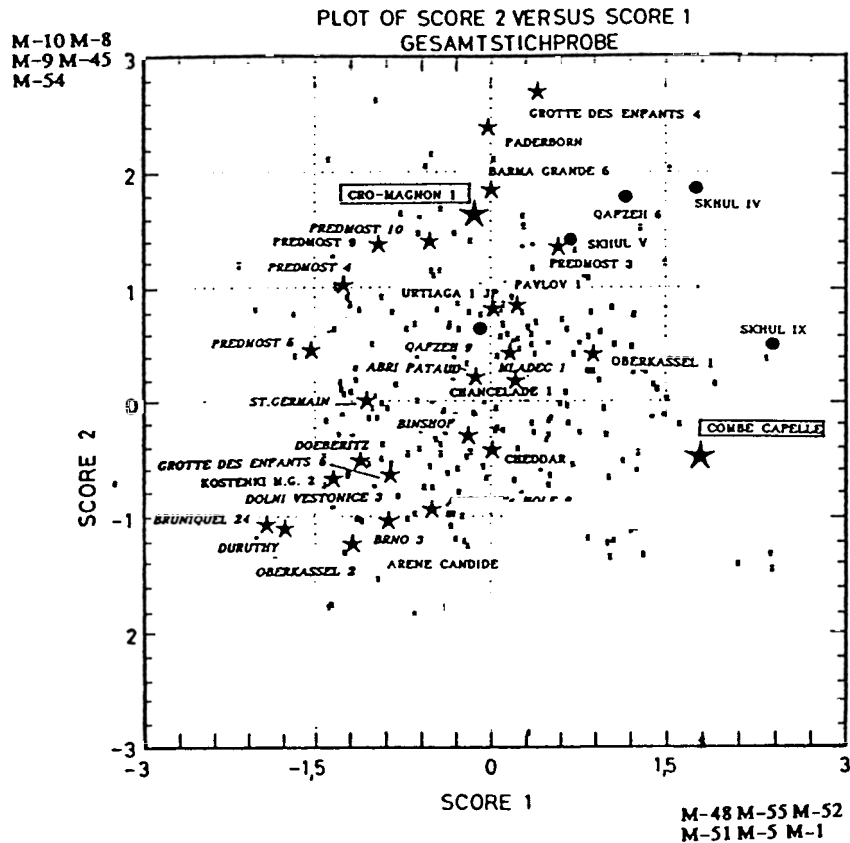
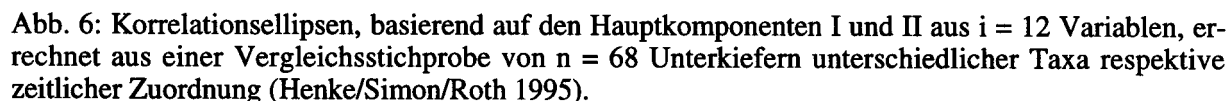


Abb. 5: Zweidimensionales Scattergramm einer PCA Vergleichsanalyse (Beispiel Scattergramm der individuellen Faktorenwerte; PC 1 (Abszisse), PCII (Ordinate der gemischtgeschlechtlichen Stichprobe ($n = 278$); Mittelpaläolithiker (o) und Jungpaläolithiker (*) mit Label; Mesolithiker, Ibéromaurusier u.a. als Punkte. Die Abkürzungen an den Achsen geben die nach Martin (1928) codierten Variablen wieder, nach Henke 1992).

Durch Quadrierung der Faktorenladungen in bezug auf eine Variable und deren anschließende Summation kann der Varianzerklärungsanteil des betrachteten Merkmals dargestellt werden. Die Summe der Ladungsquadrate der Faktoren bezüglich einer Variablen erklärt die gesamte Ausgangsvarianz nur dann vollständig, wenn diese auch wirklich durch die gefundenen Faktoren bedingt ist. Den Teil der Gesamtvarianz einer Variablen, der durch die gemeinsamen Faktoren erklärt wird, bezeichnet man als Kommunalität (h_1). In der Regel erklären die gemeinsamen Faktoren die Gesamtvarianz nicht vollständig, so dass die Kommunalitäten kleiner als eins sind. Während nun bei den faktorenanalytischen Verfahren gemeinsame Faktoren extrahiert werden und daher die Korrelationen zwischen den Variablen ($r_{x_1x_2}$) durch Schätzungen der Kommunalitäten (h^2) ersetzt werden sollen, will die Hauptkomponentenlösung die Beobachtungsdaten durch wenige Faktoren, sogenannte Hauptkomponenten, exakt reproduzieren. Es wird also keine explizite Kommunalitätsschätzung vorgenommen, sondern von der errechneten Korrelationsmatrix ausgegangen. Man verwendet daher die in der Hauptdiagonalen stehenden Werte von 1. Die Variablen werden hierbei durch die Kompo-

Die Anzahl der ermittelten Hauptkomponenten, die notwendig ist, um die Gesamtvarianz zu erklären, hängt von der Anzahl der Variablen und dem Grad ihrer Interkorrelationen ab. Bei anthropologischen Analysen kennzeichnen meist bereits die ersten zwei oder drei Hauptkomponenten einen hohen Anteil der Gesamtvarianz, weshalb auch häufig zweidimensionale Darstellungen zur Kennzeichnung des Beziehungsmusters gewählt werden (vgl. Abb. 5).

Bei den in der prähistorischen Anthropologie gegebenen Fragestellungen ist es häufig nicht nur von Interesse, die Variablen auf eine geringe Anzahl an Faktoren (Hauptkomponenten) zu reduzieren, sondern anschliessend auch zu erfahren, welche Werte die Individuen hinsichtlich der extrahierten Hauptkomponenten annehmen. Es werden also nicht nur die Hauptkomponenten, sondern auch die Ausprägung der einzelnen Individuen bezüglich der verschiedenen Hauptkomponenten ermittelt, die sogenannten Hauptkomponentenwerte (*factor scores*).



Die Berechnung der Hauptkomponentenwerte wird meistens mittels der PA1 (Varimaxrotation = orthogonale Rotation, die die Spalten der Faktormatrix vereinfacht) des SPSS berechnet. Die individuellen Hauptkomponentenwerte (Faktorwerte) werden dann auf verschiedene Weise zur Darstellung gebracht, z.B. wie in Abbildung 6 in einem zweidimensionalen Scattergram, wobei in den meisten Fällen nur die erste und die zweite Hauptkomponente einen guten Einblick in das Beziehungsmuster geben. Mittels verschiedener Graphikprogramme lassen sich aber auch räumliche Darstellungen auf der Basis von drei Hauptkomponenten vornehmen. Wichtig ist noch zu erwähnen, dass die Stichprobengrößen nicht zu klein sein sollten (> 30) und die Variablenzahl in einem angemessenen Verhältnis dazu stehen sollte. Die Prozeduranweisungen von SPSS, BMDP u.a. Software-Paketen geben nähere Hinweise. [Die als PA1 durchgeführte Beispielrechnung auf der Basis der Westerhus-Daten wurde als *hand-out* zusammengestellt, ist hier jedoch wegen des Umfangs nicht wiedergegeben, kann jedoch beim Verfasser angefordert werden.]

Clusteranalysen: Mit der Diskriminanzanalyse hatten wir bereits ein Klassifikationsverfahren besprochen, durch welches eine bestehende Ordnung näher analysiert wird. Dabei geht es häufig um die Frage, ob ein Individuum oder ein Element einer von zwei oder mehreren Gruppen eindeutig zugeordnet werden kann; es wird also ein neues Objekt klassifiziert, indem es einer vorhandenen Klasse zugeordnet wird. Nun kann aber auch die Fragestellung lauten, eine Klassifikation in dem Sinne vorzunehmen, dass eine heterogene Menge in homogene Klassen eingeteilt wird. Man kann diese Frage mit der Clusteranalyse lösen, einem sogenannten explorativen Verfahren, also quasi einem Hilfsmittel, um die Fülle von Daten, welche die Individuen/Elemente/Objekte beschreiben, transparent zu machen (Deichsel 1985).

Nach Überla (1971, S. 307) handelt es sich dabei „um eine Regel oder einen Algorithmus, mit Hilfe dessen man Gruppen von Punkten auffindet“. Die Clusteranalyse selbst zerfällt in zwei Schritte:

- a) die Erhebung und Verarbeitung von Daten in der Weise, dass sich Zahlenwerte ergeben, auf deren Basis ein Gruppierungsversuch vorgenommen wird, und
- b) der Gruppierungsversuch selbst (clustering, Clusteranalyse i.e.S.) (Knussmann 1992).

Die unterschiedlichen Arten gruppierungsfähiger Daten von Euklidischen Distanzen, über Penrose-Abstände bis hin zu D^2 -Werten sollen nicht diskutiert werden. Hierzu sei auf die Abstandsanalysen unserer Mainzer Programmbibliothek verwiesen (siehe Krenzer 1996). Hier sollen nur die Clusteranalysen im engeren Sinne kurz angesprochen werden. Clusteranalysen sind zunächst nicht mehr als ein deskriptives Verfahren, aber von grossem heuristischem Wert (vgl. Haf/Cheab 1985). Aus der Vielzahl der Klassifikationsverfahren, die in den einschlägigen Programmpaketen verfügbar sind (unter anderen Clustan: Wishart 1984; BMDP, Bollinger et al. 1983), wurden hierarchische Techniken ausgewählt. Hinsichtlich der Algorithmen lassen sich hierbei agglomerative und divisive Methoden unterscheiden. Bei letzteren wird der Datensatz zunächst in einer Klasse zusammengefasst, die dann schrittweise in immer feinere Untergruppen geteilt wird. Bei den häufiger verwendeten agglomerativen Methoden werden die Elemente (in unseren Untersuchungen in der Regel Skelettindividuen oder -populationen) zu immer weniger Gruppen mit immer mehr Elementen zusammengefasst. Im Gegensatz zur Faktoren- und Diskriminanzanalyse bleiben die Individuen in der Clusteranalyse in bezug auf ihre Lage im n -dimensionalen Variablenraum unverändert. Dies bedeutet, dass nach einer Klassenbildung die Ähnlichkeitsbeziehungen zu den ausserhalb der Klassen liegenden Individuen (oder Stichproben) nicht mehr berücksichtigt werden, was einen entscheidenden Nachteil darstellt. Die Dendrogramme gestatten wohl eine völlige Integration der vorliegenden Information, doch ist die daraus hervorgehende Darstellung der Beziehungsstrukturen ausschliesslich deskriptiver Natur und lässt keine kausale Interpretation zu.

Creel (1968, S. 34) hat die Nachteile der herkömmlichen Clusterung so beschrieben: „Da die Beziehungen zwischen den Gruppen grundsätzlich mehrdimensional sind, bedeutet jede Form von zweidimensionaler Wiedergabe zwangsläufig eine übermäßige Vereinfachung.“ Versuche, die spezifischen Nachteile der Clusteranalysen auszuschalten, liegen zwar vor, jedoch sind die Programmpakete für sogenannte Stereodendrogramme, die Roland Menk (1980) entwickelte, an hohe technische Voraussetzungen, wie interaktive Graphikcomputer, gebunden.

Die in der Anthropologie vorwiegend vorgenommene Clusterung basiert auf der dualsequentiellen Methode, die unter anderem bei Creel (1968) erläutert wurde. Sie entspricht grundsätzlich der im BMDP-P2M (Bollinger et al. 1983) und von Deichsel (1985) dargelegten CENTROID-Methode, bei der aus zwei Fällen bzw. Punkten ein neuer Pseudopunkt (Centroid) gebildet wird, der dann in die weiteren Distanzberechnungen einfließt. Jeder Gruppierungsschritt erfordert die Neuberechnung der Distanzmatrix. Für Beispiele kann auf Schwidetzky (1974) und Deichsel (1985) verwiesen werden.

Ein anderes, häufig verwendetes Verfahren ist der Algorithmus „pseudo-nearest-neighbours“ des Programms P2M. Wählt man die Verknüpfungsmethode SINGLE (LINK = 1), so werden jeweils zwei Fälle, ein Cluster und ein Fall oder zwei Cluster miteinander verknüpft, deren Distanz am geringsten ist. Auch hier kann man zahlreiche weitere Verfahren, die in neuerer Form Knussmann (1992) systematisch dargestellt hat, anführen und auch das Mainzer Institut für Anthropologie verfügt über eine kleine Dokumentation (vgl. Krenzer 1995).

Dieser kleine Einstieg in die wichtigsten gängigen Verfahren wie DA, PCA und Clusteranalyse sollte Ihnen nur einige Möglichkeiten der Datenanalysen demonstrieren, die in der prähistorischen Anthropologie von elementarer Bedeutung sind. Dabei kam es neben einem knappen Überblick vornehmlich darauf an, auf einige Probleme der Applikation hinzuweisen, die ubiquitär zu beobachten sind, und die trotz Mahnung verschiedener Kollegen dennoch keine Beachtung finden. Gerade bei multivariat-statistischen Verfahren wird die Anwendbarkeit nicht selten überschätzt. Bezogen auf den verallgemeinerten Abstand nach Mahalanobis (D^2) hat Huizinga (1962) die Anwendbarkeit dieses Verfahrens generell in Frage gestellt. Die Auffassung, dass es für die anthropologischen Probleme ausreichen würde, wenn die Voraussetzungen nur ungefähr erfüllt seien, erinnert ihn an „*the procedure of breaking a fly on the wheel*“, oder anders ausgedrückt, an einen sinnlosen Kraftakt (vgl. Henke 1990b).

In der Tat vermögen bei näherem Hinsehen multivariat-statistische Ergebnisse bisweilen nicht zu überzeugen, da mit weniger anspruchsvollen Verfahren vergleichbare Schlüsse gezogen werden könnten. Um nicht dem Vorwurf ausgesetzt zu sein, als prähistorisch arbeitender Osteologe ohne Notwendigkeit komplexe Verfahren nur appliziert zu haben, um zu demonstrieren, dass man mit „modernen“ respektive vermeintlich modernen Methoden arbeitet, prüfe man daher stets die wissenschaftliche Intention.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der quantitativen Analyse skelettmorphologischer Daten. Der Versuch, Skelettstichproben biostatistisch zu vergleichen, kann auf unterschiedlichen Ansätzen zur numerischen Kennzeichnung und Vergleichsberechnung aufbauen. Die hier diskutierten Verfahren sind die Diskriminanzanalyse, die Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse) sowie die Clusteranalyse. Die relative Brauchbarkeit dieser mathematischen Ansätze wurde evaluiert.

Literaturverzeichnis

Arnold W., Eysenck H.J., Meili, R. (Hg.) 1972
Lexikon der Psychologie. Herder, Freiburg, Basel, Wien.

Backhaus K., Erichson B., Plinke W., Weiber R. 1990
Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Barnard M.M. 1935
The secular variations of skull characteristics in four series of Egyptian skulls. *Annals of Eugenics* 6, S. 352-371.

Bollinger G., Herrmann A., Möntmann M. 1983
BMDP, Statistikprogramme für die Bio-, Human- und Sozialwissenschaften. Fischer, Stuttgart, New York.

Creel N. 1968
Die Anwendung statistischer Methoden in der Anthropologie. Beitrag zur Erklärung der Entwicklungsprozesse europäischer Populationen. Diss. Tübingen.

Deichsel G. 1985
Clusteranalyse. In: Deichsel G., Trampisch H.J. (Bearb.), Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse. Fischer, Stuttgart, S. 1-56.

Fisher R.A. 1936
The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics* 7, S. 179-188.

Flury B., Riedwyl H. 1983
Angewandte multivariate Statistik. Computergestützte Analyse mehrdimensionaler Daten. Fischer, Stuttgart.

Haf C.-M., Cheaib T. 1985
Multivariate Statistik in den Natur- und Verhaltenswissenschaften. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Wiesbaden.

Henke W. 1990a (unpubl.)
Möglichkeiten und Grenzen der Geschlechtsbestimmung an menschlichem Skelettmaterial. Vortrag, gehalten auf dem Gemeinschaftssymposium der AG Historische Anthropologie der Sektion Anthropologie der Biologischen Gesellschaft der DDR in Halle 1990. Handout *De discrimine sexuum*.

Henke W. 1990b
Jungpaläolithikum und Mesolithikum - Beiträge zur Anthropologie. Habilitationsschrift FB Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Henke W. 1992
Morphologie und Affinitäten der Proto-Cromagnoiden. *Wiss. Zschr. der Humboldt-Universität zu Berlin* 1992(2), S. 142-150.

Henke W., Simon Chr., Roth H. 1995
Qualitative and quantitative analysis of the Dmanisi mandible. In: Radlanski R.J. (ed.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Dental Morphology*, S. 459-463, Marketing-Services. C. u. M. Brünne GbR, Berlin.

Herrmann B., Grupe G., Hummel S., Piepenbrink H., Schutkowski H. 1990
Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Hotelling H. 1933

Analysis of a complex of statistical variables into principal components. J. educ. Psychol. 24, S. 417-441, 498-520.

Howells W.W. 1973

Cranial Variation in Man. A study by Multivariate Analysis of Patterns of Difference Among Recent Human Populations. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Harvard University Vol. 67, Cambridge, Mass.

Huizinga J. 1962

From DD to D^2 and back, the quantitative expression of resemblance. Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Serie C 68, S. 69-80.

Klecka W. 1975

S.P.S.S. - Statistical Package for the Social Sciences. 2nd ed., McGraw-Hill, New York.

Knussmann R. 1962

Moderne statistische Verfahren in der Rassenkunde. In: Schwidetzky I. (Hg.), Die neue Rassenkunde. Fischer, Stuttgart, S. 233-285.

Knussmann R. 1992

Biostatistik. In: Knussmann R. (Hg.), Anthropologie Bd. 1, 2. Fischer, Stuttgart, Jena, New York. S. 619-797.

Krenzer U. 1995

Ausgewählte statistische Verfahren zur Analyse anthropologischer Daten. Bull. Schweiz. Ges. Anthropol. 2(2), 1996, S. 1-11.

Lachenbruch P.A. 1967

An almost unbiased method of obtaining confidence intervals for the probabilities of misclassification in discriminant analysis. Biometrics 23, S. 639-645.

Linder A. 1964

Statistische Methoden. Birkhäuser, Basel

Menk R. 1980

L'analyse des clusters en Anthropologie physique, une nouvelle méthode: les dendrogrammes tridimensionnelles. Arch. suisses d'Anthrop. gén. 42, S. 55-75.

Rao C.R. 1952

Advanced statistical methods in biometric research. John Wiley & Sons, New York, London.

Rempe U., Bühler P. 1969

Zum Einfluss der geographischen und altersbedingten Variabilität bei der Bestimmung von *Neomys*-Mandibeln mit Hilfe der Diskriminanzanalyse. Zschr. f. Säugetierkunde 34, S. 148-164.

Sachs L. 1969

Statistische Auswertungsmethoden. 2. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Schuchard-Fischer C., Backhaus K., Humme U., Lohrberg W., Plinke W., Schreiner W. 1980

Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Schwidetzky I. 1974

Grundlagen der Rassensystematik. Bibliographisches Institut, Zürich.

Seidler H. , Formann A.K. 1980

Einige Bemerkungen zur statistischen Auswertung anthropometrischer Daten. *Anthrop. Anz.* 38, S. 270-285.

Sneath P.H. ,Sokal R.R. 1973

Numerical Taxonomy. W.H. Freeman and Company, San Francisco, London.

Überla K. 1971

Faktorenanalyse. Eine systematische Einführung für Psychologen, Mediziner, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. 2. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Van Vark G.N. 1970

Some Statistical Procedures for the Investigation of Prehistoric Human Skeletal Material. Thesis Groningen University, Groningen.

Van Vark G.N. 1976

A critical evaluation of the application of multivariate statistical methods to the study of human populations from their skeletal remains. *Homo* 27, S. 94-114.

Van Vark G.N., Schaafsma W. 1992

Advances in the quantitative Analysis of skeletal Morphology. In: Saunders S., Katzenberg M.A. (eds.), *Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods*. Wiley-Liss, New York. S. 225-257.

Van Vark G.N. , Van der Sman P.G.M. 1982

New discrimination and classification techniques in anthropological practice. *Z. Morph. Anthrop.* 73, S. 21-36.

Weber E. 1980

Grundriss der biologischen Statistik in Forschung, Lehre und Praxis. Fischer, Stuttgart.

Winkler E.-M. 1982

Zur systematischen Stellung der Populationen West-Kenias. Phänetische Analyse der Ähnlichkeitsbeziehungen von lebenden Populationen Ost-Afrikas aufgrund ihrer metrischen Merkmale. Habilitationsschrift Formal- und Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Wien.

Wishart D. 1984

Clustan. Benutzerhandbuch. 3. Ausgabe. Fischer, Stuttgart, New York.

Anschrift

Prof. Dr. Winfried Henke
Institut für Anthropologie
Universität Mainz
Colonel-Kleinmann-Weg 2 (SB II)
D - 55099 Mainz

Eingang: 21.2.1997

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Beerli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835

Innovative Ansätze zur Erfassung osteomorphometrischer Daten¹

Martin Friess

Abstract

The purpose of this paper is twofold: The first part provides a review of some analytical techniques for the description of biological shape variation and shape change. The focus will be on Fourier transformation, finite-elements scaling analysis, Euclidian distance matrix analysis and thin-plate splines. The second part deals with the use of non-contact methods of data acquisition. We emphasize the use of photogrammetry as a reliable and powerful technique for collecting landmark and outline data. The results presented here show that under certain conditions the mean measuring error can be less than 1 mm.

1. Einleitung

Die Erfassung und Analyse morphologischer und osteometrischer Merkmale stellt einen der klassischen Ansätze prähistorischer und paläoanthropologischer Forschung dar. Sie dient der vergleichenden Untersuchung der Variabilität von Skelettpopulationen sowie der Eruiierung ontogenetischer und phylogenetischer Zusammenhänge. Oft steht dabei im Mittelpunkt des Interesses die Unterscheidung von Grösse und Form (Sokal/Sneath 1963, Corruccini 1974, 1975, Relethford 1984, Henke 1989). In der Regel wird der Form die grössere evolutive Bedeutung und Stabilität zugesprochen (vgl. z.B. Penrose 1954, Piechuleck/Rösing 1986), doch kommt es den meisten Autoren nicht auf eine völlige Eliminierung von Grösseneffekten an, da diese ebenfalls von Interesse sein können, sondern vor allem auf die Möglichkeit, Grösse und Form separat zu analysieren (Corruccini 1978).

In den letzten Jahren wurden vermehrt die Defizite einfacher metrischer Analysen gerade im Zusammenhang mit der Erfassung und Differenzierung von Grössen- und Formmerkmalen unterstrichen, die - so das Credo vieler Autoren - nur mangelhaft geleistet werden können, solange simple lineare Distanzen die Datenbasis stellen. Ein weiterer Kritikpunkt ist die damit eng verbundene direkte Datenerhebung, also die Messung am osteologischen Material selbst. Diese trägt unmittelbar dazu bei, dass Merkmalskataloge auf einfache lineare Masse begrenzt bleiben.

Im folgenden wird dieser Problemkomplex rekapituliert, und es werden exemplarisch einige neuere Ansätze vorgestellt, die für sich beanspruchen, das oben genannte methodische Manko auszugleichen. Damit soll versucht werden, einen Überblick zu den Innovationen auf dem Gebiet der Formanalyse zu geben.

Im zweiten Teil wird ein eigenes Forschungsprojekt zur Formanalyse von Schädeln vorgestellt, das auf der Digitalisierung zweidimensionaler photographischer Abbildungen beruht.

¹ Vortrag gehalten am SGA/AGHAS-Workshop vom 1.-2. Dezember 1995 in Basel unter der Leitung von Prof. Dr. Winfried Henke/Mainz.

2. Klassische Anthropometrie und erste Alternativen

Wenn man Morphologie als den Versuch versteht, biologische Unterschiede anhand von Grössen- und Formunterschieden zu analysieren, dann ist Morphometrie der Versuch, diese Unterschiede zu quantifizieren, damit objektiver - und letztlich statistisch - vergleichbar zu machen. Die klassische Morphometrie stützt sich dabei auf definierte anatomische Punkte. In der Regel handelt es sich um homologe Punkte, so dass die Vergleichbarkeit a priori gewährleistet ist (Jacobshagen 1980). Mit Hilfe dieser Punkte werden lineare Distanzen erfasst und somit primär absolute und relative Grössenverhältnisse beschrieben. Zur Erfassung komplexerer Unterschiede rekuriert man oft auf die Berechnung von Zusammenhangsverhältnissen verschiedener Strecken, d.h. auf die Bildung von Indizes, Winkelbeziehungen etc. Ein solches Vorgehen impliziert, die Komplexität einer Form durch ihre Definition als „relative Grösse“ zu umschreiben (Relethford 1984).

Das grundsätzliche Konzept, biologische Formen durch einfache lineare Beziehungen anatomischer Punkte charakterisieren zu wollen, geriet ab den 70er Jahren vor allem in der angelsächsischen Zoologie und Morphologie zunehmend in Kritik (Sokal/Sneath 1963; Bookstein 1978, 1982, 1986). Erste Entwürfe zur Lösung des Grössen-Form-Problems in der Biologie griffen auf statistische Methoden zurück. Basierend auf der Arbeit von Penrose (1954) „Distance, Size and Shape“ wurde das Augenmerk vermehrt auf faktorenanalytische Ansätze und Hauptkomponentenanalysen (im folgenden HKA) gelenkt. Die Berechnung mehrerer Hauptkomponenten sollte eine Auftrennung in Grössen- und Formfaktoren ermöglichen. Solche Arbeiten wurden in den Folgejahren zahlreich durchgeführt, nicht ohne auf entsprechende Kritik zu stossen (s. vor allem Jolicoeur/Mosimann 1960, Jolicoeur 1963, Andrews/Williams 1973; Corruccini 1974, 1975, 1978; Healy/Tanner 1981, Humphries et al. 1981, Habgood/Walker 1986 und Henke in diesem Band).

Unabhängig von der mathematischen Frage, inwieweit die HKA eine reine Auftrennung in Grössen- und Formfaktoren liefert, bleibt zu unterstreichen, dass sie zwar einen wichtigen Entwicklungsschritt weg von der einfachen metrischen Analyse darstellt, jedoch nicht auf einer grundsätzlich zur klassischen Morphometrie alternativen Datenbasis fusst, sondern nach wie vor versucht, Formunterschiede mit linearen Distanzen zu charakterisieren. Gleiches gilt für die Arbeiten von Krukoff (1978), der die Geometrie von Winkelkonstanten in den Mittelpunkt kranio-metrischer Vergleiche stellte, und Delattre/Fénart (1963, 1964), die die Frage der Schädelorientierung erneut aufgriffen und eine Projektionsmethode in der Vestibularebene vorschlugen. Parallel zur aufkommenden EDV wurden zunehmend graphikorientierte Methoden entwickelt, die im Hinblick auf Automatisierung und Berührungsfreiheit Vorteile für die Datenaufnahme schaffen: Vor allem für die Bearbeitung grosser Skelettserien erscheint es wünschenswert, über eine semi- oder vollautomatische Erfassung von Merkmalen zu verfügen. Es handelt sich hier hauptsächlich um Arbeiten, die auf der Auswertung von Bildmaterial mittels 2D- oder 3D-Digitalisierer (direkt an Schädeln) basieren. Die Vorzüge solcher Ansätze lassen sich wie folgt resümieren:

- Messungen von verschiedenen Strecken, Winkeln etc. sind durch die Möglichkeiten der Bildbearbeitungselektronik wesentlich schneller zu realisieren;
- Merkmalskataloge können eventuell geändert oder neu festgelegt werden, ohne das Objekt erneut direkt zu untersuchen;

die Verfügbarkeit des Objekts stösst an keine bzw. weniger zeitliche Grenzen. Merkmale können jederzeit, auch wiederholt, erfasst werden, was vor allem dann von grosser Bedeutung ist, wenn man mit Fossilien arbeitet;

- im Kontext paläoanthropologischer Untersuchungen gewinnt der Aspekt der Berührungsfreiheit die mit Abstand grösste Bedeutung;
- die Visualisierung beobachteter Unterschiede wird mit Hilfe der elektronischen Bildverarbeitung erleichtert;
- das primäre Ziel - die Erfassung von Formunterschieden - ist wesentlich besser zu verwirklichen, da mehr Informationen erfasst werden können (Kurvaturen, Flächen, Winkel), die am Objekt selbst gar nicht oder nur schwer erfassbar sind.

Excoffier/Simon (1988) bedienten sich eines 2D-Digitalisierers und einer selbstprogrammierten Software, um Schädelformen mittelalterlicher Skelettserien zu vergleichen. Der Algorithmus führt grössenstandardisierte Superpositionen durch und berechnet aus allen Individuen gemittelte Schädelprofile sowie 90%-Konfidenzintervalle für ausgewählte kranioметриsche Punkte. Die weitergehende Analyse beinhaltet die Berechnung eines Abstandsmasses, basierend auf der Euklidischen Distanz zwischen homologen Punkten. Es handelt sich also essentiell um einen punktbezogenen Vergleich, die der von Bookstein formulierten Notwendigkeit, auch „die Form zwischen zwei Punkten in Betracht zu ziehen“² (Bookstein 1984, S. 517), nicht gerecht wird. Dennoch muss der innovative Charakter dieser Studie hervorgehoben werden, die wichtige Aspekte des Formproblems angeht und eine aufschlussreiche Visualisierung der Variabilität der Schädelformen bietet.

McHenry/Corruccini (1978) benutzten eine Anordnung, die auf einem Diagraphen sowie einer am Diagraphen angebrachten Skala basiert, welche die z-Koordinate liefert. Es handelt sich nicht um eine indirekte Erfassungsmethode im engeren Sinne, denn sie leistet lediglich eine Ausweitung der klassischen Morphometrik in die dritte Dimension. Hildebolt/Vannier (1988) bedienten sich eines 3D-Digitalisierers und testeten die Reliabilität eines solchen Gerätes gegenüber klassischen kranioметриischen Erhebungen mit einem für indirekte Methoden kritischen Ergebnis. Benfer (1975) benutzte eine Software, die mit Hilfe der trigonometrischen Formeln die Koordinaten verschiedener kranioметриischer Punkte anhand linearer Distanzmessungen an Schädeln berechnet.

Eine der Arbeit von Excoffier/Simon (1988) vergleichbare Methode des Formvergleichs wurde von Pesce Delfino et al. (1985) vorgestellt: Schädelprofile werden auf eine auf die Fläche bezogen einheitliche Grösse gebracht und in der Orientierung standardisiert. Dann wird durch die Erstellung einer Polynomfunktion eine Grundform berechnet, die eine rechnerische Approximation an die Ausgangsform darstellt. Dieses Polynom wird dann erneut in eine Standard-normalisierte Orientierung gebracht.

Ebenfalls zur Visualisierung, aber auch zur besseren Quantifizierung von Formunterschieden und des Formwandels griffen einige Autoren (z.B. Sneath 1967) die auf Thompson (1917) zurückgehende Idee der Transformationsraster erneut auf: Das Prinzip der Transformationsraster besteht darin, ein einfaches Gitternetz über eine Ausgangsform zu legen und in eine Zielform derart zu verschieben, dass die relative Position homologer Punkte im Raster gleich bleibt. Voraussetzung dafür ist die Skalierung der Umrisse auf eine einheitliche Grösse und ihre Orientierung in einer standardisierten Normalposition (Mittelwert der xy-Koordinaten gleich Null). Kritik wurde vor allem an der Subjektivität des Rasters geübt, das unter Umständen homologen Punkten nicht identische Positionen im Raster zuweist (Sneath 1967, Bookstein 1978).

² Übersetzung des Referenten.

3. Mathematische Modelle biologischer Formen und des Formwandels

Bevor die eigene Arbeit näher dargestellt wird, soll noch kurz auf Methoden eingegangen werden, die ihren Ursprung überwiegend in den Ingenieurwissenschaften haben. Im Unterschied zu den bisher dargestellten Ansätzen, die sich auf die indirekte Datenerfassung per Bildanalyse oder Digitalisierer sowie auf die graphische Präsentation der Formvariabilität konzentrieren, zeichnen sich die folgenden Studien durch ihre rein oder überwiegend mathematische Beschreibung der Form bzw. der Formveränderung aus. Darunter fallen u.a. Euklidische Distanzmatrixanalysen (EDMA), die Analyse Finiten Elemente („Finite-element scaling analysis“, FESA), Fourieranalysen (FA) und „Thin-plate Splines“ (TPS). Eine Übersicht zu diesen Methoden (ausser FA) geben Richtsmeier et al. (1992).

EDMA

Corner/Richtsmeier (1991) und Lele/Richtsmeier (1991, 1992, 1995) haben diesen Ansatz zuerst für morphologische Fragestellungen angewandt. Dann wurde er vor allem von einer italienischen Gruppe - diesmal um Ferrario (Ferrario et al. 1993a, 1993b) - aufgegriffen und speziell zu Fragen des Sexualdimorphismus weitergeführt (s. auch Lele/Cole III 1996). Der Grundgedanke der EDMa setzt an der gleichen Kritik an, wie sie Bookstein (1978, 1982) formuliert hat, nämlich an dem als unzureichend zu bezeichnenden Versuch, Formen bzw. Formunterschiede anhand weniger, mehr oder weniger sinnvoll ausgewählter anatomischer Punkte zu charakterisieren. Die Idee lässt sich wie folgt zusammenfassen: Um eine Form eindeutig beschreiben und von einer anderen unterscheiden zu können, muss man alle denkbaren Distanzen zwischen allen Fixpunkten in Betracht ziehen, anstatt einige wenige herauszugreifen. Eine EDMa berechnet an einer Ausgangsform die Distanzen zwischen allen relevanten Punkten, so dass man eine - mitunter sehr grosse - Datenmatrix erhält. Diese Prozedur wird für jedes Individuum wiederholt. Anschliessend werden alle berechneten Distanzen gemittelt und zwischen zu vergleichenden Gruppen ins Verhältnis gesetzt. Des weiteren werden diese Indizes mit uni- und bivariaten Methoden auf signifikante Unterschiede geprüft. Die EDMa nähert sich der Formbeschreibung durch eine massiv erhöhte Zahl der verwendeten Punkte, setzt letztendlich aber nicht an der Analyse der Konturen selbst an. Eine Stärke liegt in der Möglichkeit, beobachtete Unterschiede relativ genau lokalisieren zu können.

FESA

Bei Modellberechnungen nach dem Prinzip der Finiten Elemente handelt es sich - ähnlich wie TPS (s.u.) - um eine Transformationsmethode. Es wird die Menge und Art der Transformation einer dreidimensionalen Ausgangsform in eine Zielform berechnet. Dabei werden beide Formen in Polyeder strukturiert, deren Ecken die homologen Punkte der biologischen Form darstellen. Je nachdem, ob es bei der Umsetzung in die Zielform lediglich zu einer Translokation der homologen Punkte (Grössenänderung) oder zu einer Volumenänderung des den Punkt umgebenden Ellipsoids (Formänderung) kommt, lässt sich der Unterschied zwischen zwei Formen exakt definieren. Wiederum gründet die Formanalyse auf einer Auswahl von homologen Punkten. Beispiele für die Anwendung der FESA auf morphologische Fragestellungen finden sich bei Niklas (1977), Lewis et al. (1980), Cheverud et al. (1983, 1992), Bookstein (1987), Richtsmeier (1989) und Leigh/Cheverud (1991). Zu kritischen Aspekten des Verfahrens siehe auch Lele (1991).

TPS

Die Methode der TPS geht wie die FESA ursprünglich auf ingenieurwissenschaftliche Anwendungen zurück und dient in ihrem eigentlichen Kontext der Simulation von Baudeformationen unter bestimmter Kräfteeinwirkung. Dieses Verfahren beschreibt dort die Energie, die nötig ist, um dünne Metallplättchen zu verbiegen („bending energy“). Mathematisch gesehen handelt es sich um ein Interpolationsverfahren („Spline“), das auf kartesische Koordinaten angewandt wird. Für morphologische Untersuchungen wird ebenfalls - ähnlich wie bei der

FESA - eine Deformation simuliert, die eine Ausgangsform in eine Zielform unter minimalem Energieaufwand transformiert. Die nötige Energie wird als abstrakte Grösse ausgegeben und kann nach „affinen“ und „nicht affinen“ Anteilen aufgeschlüsselt werden (Albrecht 1991). In der Praxis wird diese Art der Analyse bisher nur für zweidimensionale Objekte durchgeführt, basierend auf digitalisierten Koordinatendaten. Sie benutzt eine einheitliche Skalierung der untersuchten Objekte. Methodische und exemplarische Studien liegen von Albrecht (1991), Fink/Zelditch (1996), Yaroeh (1996) und Yaroeh/Thompson (1996) vor. Die TPS stellen eine direkte Weiterentwicklung der Transformationsraster von Thompson (1917) dar mit dem Unterschied, dass sie neben der graphischen Präsentation hauptsächlich quantitative Variablen produzieren, die statistisch vergleichbar sind. Wie die EDMA erlauben auch TPS eine genaue Lokalisation der Formänderung.

Eine methodische Unschärfe kann in der Übertragung des mechanischen Modells auf die graphische Repräsentation einer knöchernen Struktur gesehen werden: Zum einen berücksichtigen die TPS nicht die mechanischen Eigenschaften des Knochens, sondern übernehmen das Modell der Metallplättchen ohne Modifikation. Zum anderen stellt die berechnete „bending energy“ einen referenzlosen Wert dar, da ihre Berechnung keine mechanische Grundlage hat und somit auf keine reale physikalische Grösse bezogen werden kann, die sie widerspiegelte. Weiterhin ist zu bemerken, dass die Energieberechnung nicht umkehrbar ist, das heisst, dass die Inversion der Transformationsrichtung nicht zum gleichen Ergebnis führt. Somit ergibt sich zwangsläufig als Voraussetzung für die Berechnung der TPS, dass die Richtung der zu simulierenden Transformation (z. B. Evolutionsrichtung, also phylogenetische Beziehung) bekannt sein muss. Jedoch führten TPS-Berechnungen zu biologisch „sinnvollen“ Ergebnissen, die klassisch morphometrische Arbeiten bestätigten (z.B. Albrecht 1991, Fink/Zelditch 1996). Die einzige umfassendere Arbeit (Yaroeh 1996) wendet die TPS auf eine Stichprobe mittelpaläolithischer Kalvarien an. Die Rohdatengewinnung selbst erfolgte jedoch an publizierten Photographien und dioprographischen Profilzeichnungen. Zur unzureichenden Validität einer derartigen Datengrundlage infolge der heterogenen Qualität der verwendeten Abbildungen sei auf die eigene Pilotstudie (Friess 1994) hingewiesen.

FA

Fourieranalysen dienen in der Physik der Umwandlung von Raum- (oder Zeit-) in Frequenzdaten, ausgedrückt in Form von Sinus- und Cosinus-Funktionen. Sie beschreiben die Ausgangsdaten (z.B. Koordinaten, die eine Kurve oder ein Profil repräsentieren) als Gleichungssystem, die den Verlauf der Kurve vollständig beschreibt. Die in der Gleichung enthaltenen Koeffizienten („Harmonische“) lassen sich statistisch wie metrische Daten interpretieren (z.B. Vacca/Pesce Delfino 1991). Die Analyse gibt dabei Auskunft über den Einfluss der einzelnen Koeffizienten auf die Ausgangsform: Das erste Harmonische gibt die Grundfrequenz wieder, die zusammen mit der Konstante a_0 als Grössenfaktor gesehen werden kann (Zahn/Roskies 1972, Lestrel 1974). Die weiteren Harmonischen entsprechen den Feinheiten des Kurvenverlaufs, wobei die Genauigkeit, mit der die Kurve mathematisch beschrieben wird, von der Anzahl der Harmonischen abhängt. Dies bedeutet in der Umkehrung, dass eine Fourierreihe in die ihr zugrundeliegenden Raumdaten (i.e. Kurve) zurücktransformiert werden kann. Gibt man eine solche Synthese graphisch aus und vergleicht sie mit der Ausgangsform, erhält man damit gleichzeitig ein erstes visuelles Gütekriterium für die berechnete Fourierreihe. Der Hauptvorteil der FA liegt in der Möglichkeit, eine Form vollständig und objektiv zu beschreiben und den Anteil der Grössendifferenzen an der beobachteten Variabilität zu bestimmen.

Für biologische Vergleiche wurden FA zum ersten Mal von Mallock (1925) angewandt, später vor allem von Lestrel (1974, 1980, 1989) und Lestrel/Moore (1978) weiterentwickelt und von Rohlf/Archie (1984) und Ferson et al. (1985) genutzt (siehe auch die kritischen Einlassungen von Bookstein et al. 1982). Einen methodischen Überblick zur Fouriertransformation und ein Anwendungsbeispiel zum Sexualdimorphismus der Orbitaform von Primaten gibt Jacobshagen (1992).

4. Eigener Ansatz

Der hier vorgestellte Ansatz geht im wesentlichen auf eine Idee von W. Henke und D. Butz zurück, die Möglichkeiten eines Digitalisiertabletts für den topologischen Vergleich fossiler Hominiden zu nutzen. Die vorgestellte Arbeit basiert prinzipiell auf zwei Hauptgedanken: Zum einen in der Möglichkeit, weitestgehend berührungsfrei zu arbeiten, was durch die Auswertung digitalisierter Photographien gewährleistet wird³. Dazu wird auf photogrammetrische Methoden recurriert, wie sie vor allem von Jacobshagen et al. (1988) für die deutschsprachige Anthropologie zusammenfassend dargestellt worden sind. Zum anderen besteht ein wichtiges Ziel darin, die Variation der Schädelform im Raum und ihr Wandel in der Zeit möglichst exakt und objektiv zu erfassen. Der Vergleich konzentriert sich dabei auf das Paläolithikum Europas und des Nahen Ostens und ist im Zusammenhang mit der Debatte um Ursprung und Evolution des modernen Menschen zu sehen.

Der Bedarf an indirekten Erfassungsmethoden entsteht zwangsläufig aufgrund des Erhaltungszustandes fossiler Schädel sowie ihrer eingeschränkten Disponibilität und Handhabbarkeit. Daher greifen Anthropologen immer häufiger auf Computertomographien (CT's) zurück, die hinsichtlich der gewonnenen Datenquantität sowie der Berührungsfreiheit wohl das derzeitige Optimum darstellen. Jedoch bedürfen sie eines relativ hohen technischen Aufwandes und Know-hows, sowohl in bezug auf die Datenakquisition als auch im Hinblick auf die weitere Verarbeitung. Eine kritische Evaluierung der technischen Möglichkeiten und Grenzen geben Vannier/Conroy (1989). Zahlreiche wichtige Studien, die sich auf CT-Daten stützen, liegen u.a. von Vannier et al. (1985), zur Nedden/Wicke (1992), Spoor et al. (1993), Spoor/Zonneveld (1994), Zollikofer et al. (1995) sowie Hublin et al. (1996) vor. Da es jedoch im Hinblick auf die Untersuchung fossilen Materials darauf ankam, ein möglichst mobiles System zur Verfügung zu haben, erschien es praktikabler, auf Photographien zurückzugreifen, da sich das benötigte Equipment auf Kamera, Stativ und Lichtquelle reduziert.

Material und photogrammetrische Methoden

Das untersuchte Material setzt sich schwerpunktmässig aus mittel- und jungpaläolithischen Schädeln Europas und des Nahen Ostens zusammen. Es lässt sich operationell den - strittigen - Fundgruppen *H. erectus*, Praeneandertaler, klassische Neandertaler, archaischer *H. sapiens* und Jungpaläolithiker (anatomisch moderner Mensch) zuordnen. Zusätzlich ist die Einbeziehung einer Referenzstichprobe (anatomische Sammlung) vorgesehen. Die Datenaufnahme erfolgt am Originalmaterial. Da sie jedoch noch nicht abgeschlossen ist, wird auf eine ausführliche Auflistung der Stichprobe verzichtet. Die photogrammetrischen Methoden basieren auf den Ausführungen von Jacobshagen et al. (1988). Auf diese Quelle wird im folgenden Abschnitt mehrfach Bezug genommen.

Bei der Anfertigung von Photographien, deren optisches Prinzip schematisch Abb. 1 wiedergibt, ergeben sich prinzipiell zwei Unzulänglichkeiten, die bei der metrischen Analyse von Bildern berücksichtigt werden müssen:

- a) Verzernte Darstellung des Gesamtdurchmessers des Objekts (absolute Verzerrung);
- b) verzerrte Wiedergabe der Dimensionen verschiedener Ebenen relativ zueinander (unproportionale Verzerrung).

³ Die zur Verfügung stehende Anordnung, bestehend aus Digitalisiertablett und Software, wurde von D. Butz im IfA Mainz entworfen und auf den Stand der Anwendbarkeit gebracht.

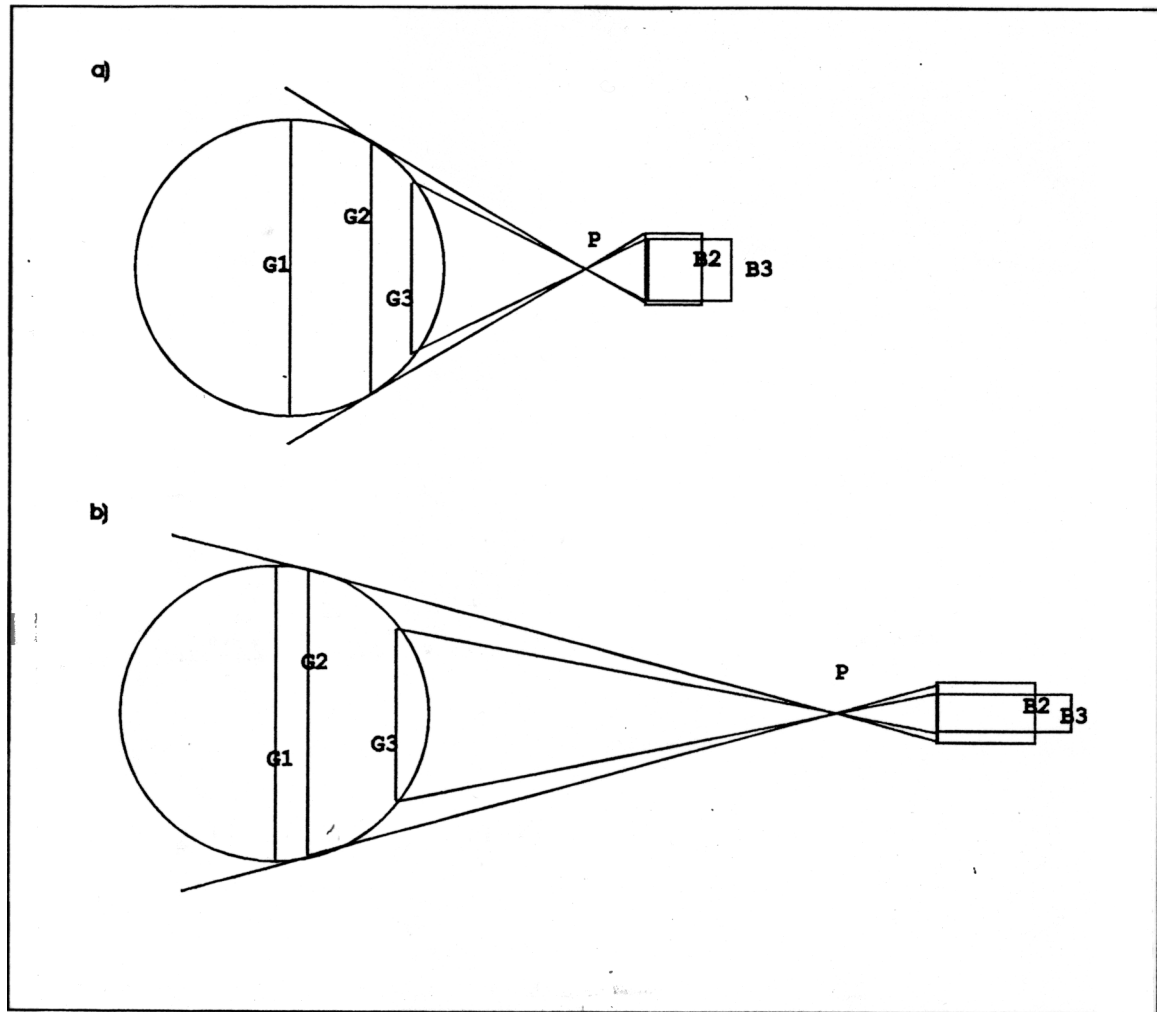


Abb. 1: Auswirkung der Zentralprojektion auf Photographien von räumlichen Objekten: a) bei kleiner Distanz, b) bei grosser Distanz (nach Jacobshagen et al. 1988).

Zur Lösung des Problems bieten sich zwei verschiedene Wege an:

- a) Der eleganteste Weg: Man geht in die dritte Dimension, wozu man lediglich ein Bildpaar braucht, jedoch entsprechende Ausrüstung, um das Bildpaar stereophotogrammetrisch auszuwerten;
- b) will man im zweidimensionalen Bereich bleiben, muss man die Aufnahmeparameter so gestalten, dass die unerwünschten Effekte der Parallaxe bis auf ein akzeptables Minimum reduziert werden. Zu diesen Parametern zählen vor allem:
 - Aufnahmedistanz;
 - Einhaltung der Orthogonalität von Filmebene, optischer Achse und Messebene.

Aufgrund theoretischer Überlegungen und systematischer Experimente wurde für die Verwendung einer Kleinbildkamera (24 x 36 mm, Canon T70) mit einer Brennweite von 400 mm entschieden. Dies gestattet ausreichend formatfüllende Aufnahmen bei 5.5 m bis 7 m.

Um einen möglichst geringen Detailverlust bei den nachfolgenden Vergrößerungen hinnehmen zu müssen, werden lichtschwache, feinkörnige Filme (Kodak Ektar bzw. Agfapan APX, jeweils 25 ASA) verwendet. Die Einhaltung der Orthogonalität aller Ebenen kann unter Verwendung einer Wasserwaage und eines Lots durch einfache Messung vor Ort sowie durch

simple trigonometrische Berechnung mit ausreichender Präzision gewährleistet werden, ohne dass die nötige Ausrüstung zu schwer wird.

Aus Gründen der Arbeitsökonomie und um den direkten Kontakt zu reduzieren, werden die Schädel auf einem Drehtisch positioniert, der Rotationen um den gewünschten Winkel (in der Regel 90° für die Normaufnahmen sowie 45° für Halbprofilaufnahmen) ermöglicht, ohne dass der Schädel bewegt und damit neu orientiert werden muss. Lediglich für die Aufnahmen in der N. verticalis bzw. N. basilaris ist ein einmaliger Aufbauwechsel nötig.

Damit die spätere Bildauswertung unter optimalen Bedingungen realisiert werden kann, werden die wichtigsten kranioметриschen Punkte der Mediansagittalebene mit Hilfe von kleinen Nadeln markiert (vgl. die ähnliche Technik bei Hursh 1976). Diese Nadeln werden mit Plastilin am Schädel befestigt, ohne dass es zu einem direkten Kontakt mit dem Schädel kommt. Dieser Aspekt ist für Untersuchungen an historischen Skelettserien weniger von Bedeutung, für die Arbeit mit Fossilien jedoch unabdingbar. Dadurch können Punkte auch dann noch exakt bestimmt werden, wenn sie im Bild durch das Schädelprofil oder durch die Wirkung der Zentralprojektion verdeckt sind.

Die Anbringung der Massstäbe im Bild erfolgt nach den Erfordernissen der späteren Bildauswertung. Wie Jacobshagen et al. (1988) unterstreichen, sind reliable Messungen nur in der Ebene möglich, in der eine Grösse bekannt ist. Messungen vor oder hinter dieser Ebene sind dann möglich, wenn die auftretende Verzerrung bekannt ist bzw. geschätzt werden kann. Dazu müssen die Tiefenausdehnung des Messbereichs und die Position des Massstabs bezogen auf die Messstrecke und die Kameraposition bekannt sein.

Mathematische Methoden

Um die unter Punkt 2 und 3 dargestellten methodischen Ansprüche bei der Bearbeitung einer paläoanthropologischen Fragestellung umzusetzen, werden einige dort besprochene Techniken zur Anwendung kommen. In erster Linie sind dies FA's und TPS. In der diesbezüglichen Literatur findet man lediglich methodische Erläuterungen und einige exemplarische Studien (Ausnahme Yaroeh 1996 s.o.). Es gibt jedoch kaum Untersuchungen, welche die Aussagekraft der genannten Methoden umfassend und an einer repräsentativen Stichprobe mittel- und jungpaläolithischen Materials erproben. Vor allem die grundsätzliche Frage nach der Variabilität der Schädelformen, wie sie durch FA und TPS beschrieben werden können, ist von Interesse. Zwei Schritte der Formanalyse werden hier zentrale Bedeutung erhalten: Die Untersuchung der Formvariabilität rezenter Populationen einerseits, durchgeführt an Schädeln einer anatomischen Sammlung, die Gegenüberstellung der rezenten Variabilität und der in paläolithischen Schädeln beobachteten Variabilität andererseits.

Reliabilität der photogrammetrischen Erhebungen

Der erste Schritt bestand in der Überprüfung der Voraussagen von Jacobshagen et al. (1988). Das zugrundeliegende physikalische Modell folgt der nachstehenden Formel:

$$F \% = \frac{\Delta g \times 100}{\bar{g}}$$

wobei

Δg = Tiefenausdehnung des Messbereichs

$\bar{g}$ = Mittlere Objektweite

Gemäss dieser Formel und analog zur in der oben genannten Quelle gegebenen Beispielrechnung ergibt sich als optischer Fehler für eine Standardaufnahme eines Schädels in der N. late-

ralis bei einer Distanz von 1 m eine Abweichung von 7.5 %; bei 2.5 m erhält man einen Wert von 3 % und erst bei 6 m ergäbe sich als mittlerer theoretischer Fehler 1.25 %. Dies entspräche einer Abweichung von 0.94 mm für eine angenommene grösste Schädelbreite von 150 mm. Dieser Wert entspricht dem von Bräuer/Knussmann (1988) für Kopfmasse angegebenen (1 mm bzw. 2 mm für die Kopfhöhe), zu akzeptierenden Untersucherfehler. Messfehler für somatologische Untersuchungen sind zwar nicht exakt mit kraniometrischen Erhebungen zu vergleichen, doch unterschreitet dieser Wert auch die in den dort zitierten Arbeiten genannten Abweichungen für Schädelmessungen. Auch wenn zahlreiche Studien zeigen (z.B. Ward/Jamison 1991), dass in der Praxis der Untersucherfehler bei klassisch anthropometrischen Erhebungen den Wert von 1 mm deutlich übersteigt, wird es für notwendig erachtet, den optischen Fehler auf 1 mm zu limitieren, da sich auch bei photogrammetrischer Auswertung zusätzlich zum optischen Fehler ein Untersucherfehler einstellen kann.

Um den theoretisch zu erwartenden optischen Fehler zu überprüfen, wurde eine Serie von Schädeln photographiert und digitalisiert. Es konnte dazu die Abgussammlung des Laboratoire d'Anthropologie der Universität Bordeaux genutzt werden. Die Aufnahmen wurden aus Distanzen zwischen einem und sieben Meter unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Grössere Distanzen schieden aus rein praktischen Gründen (Räumlichkeiten, enorme Brennweiten) von vornherein aus.

Eine erste Möglichkeit der Fehlerevaluierung besteht in der simplen Superposition des gleichen Schädels, aufgenommen aus verschiedenen Distanzen. Als Referenz dienen dioptrographische und perigraphische Zeichnungen des gleichen Schädels. Die Abbildungen 2a und 2b zeigen beispielhaft den Vergleich von Photographie und Dioptrographie.

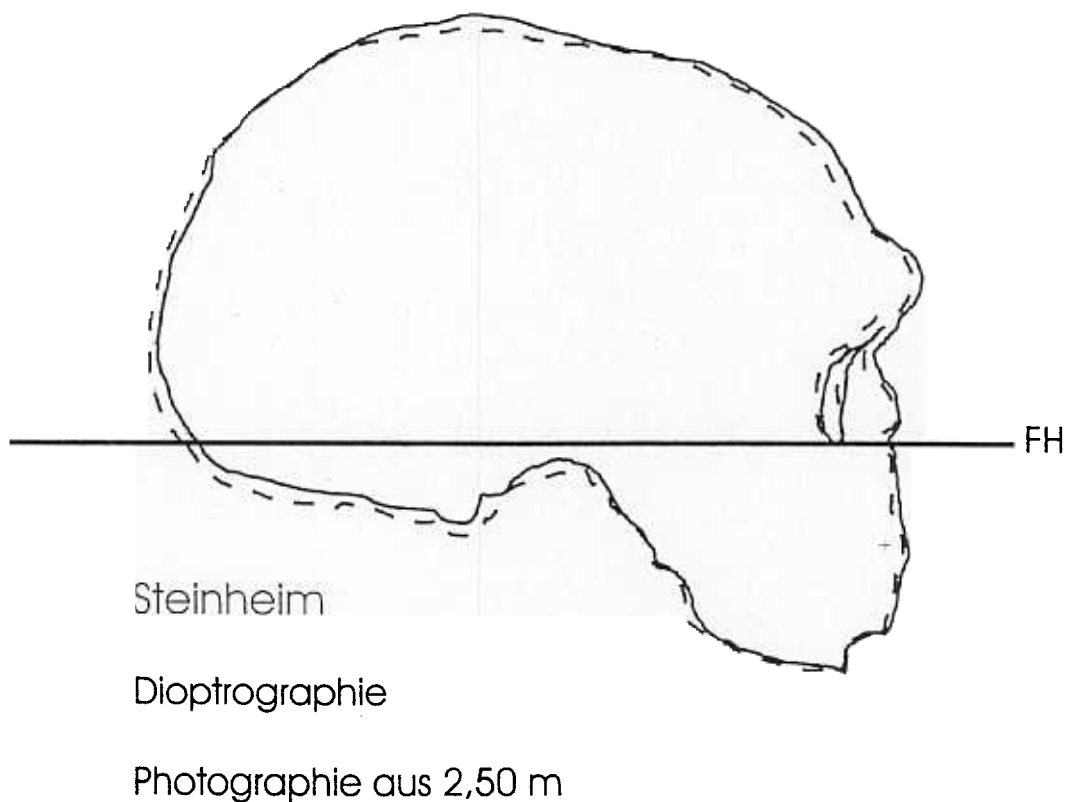


Abb. 2a: Superposition von dioptrographischer Zeichnung und Photographie aus 2.5 m: Calvarium von Steinheim, N. lateralis.

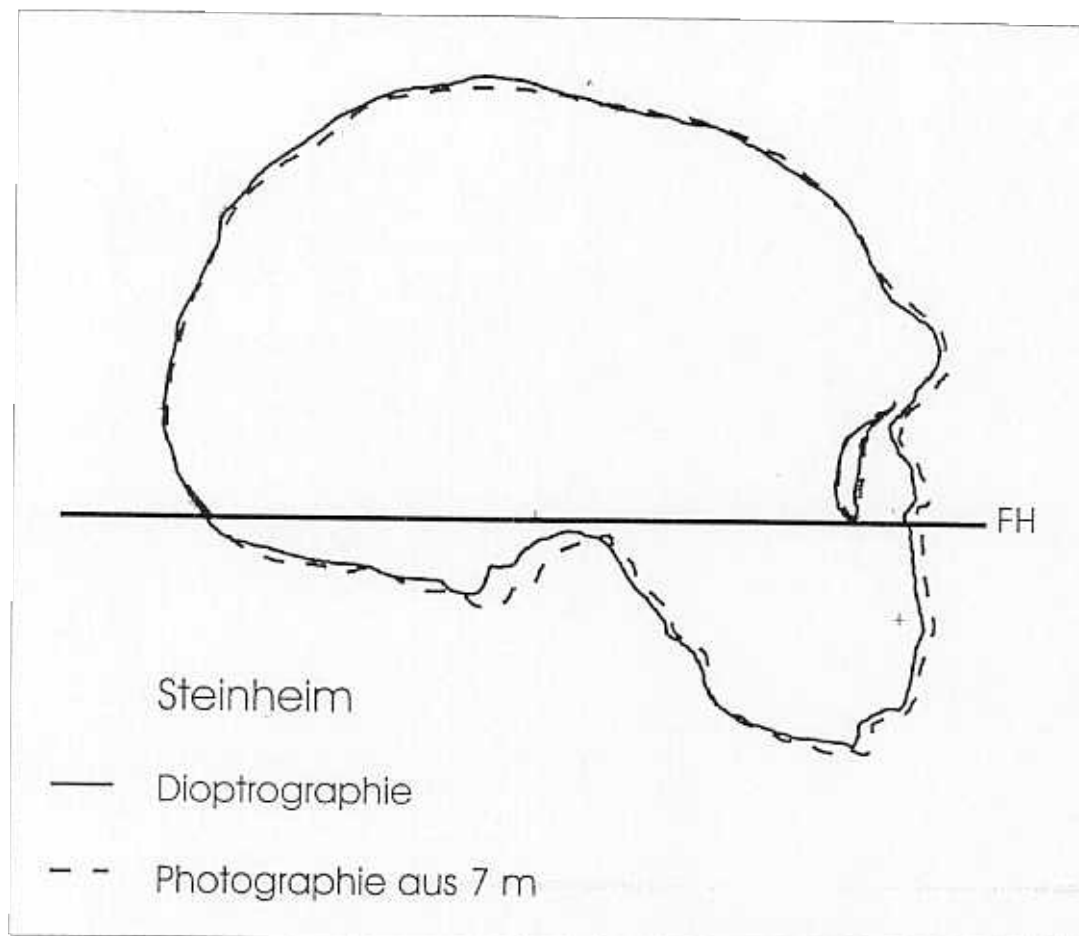


Abb. 2b: Superposition von diptrographischer Zeichnung und Photographie aus 7 m: Calvarium von Steinheim, N. lateralis.

In einem weiteren Schritt wurden Messungen an den Schädeln mit denen verglichen, die an den Bildern erfasst worden sind.

Tab. 1: Beobachteter optischer Fehler bei verschiedenen Distanzen

$\bar{x}$ Fehler	Distanzen			
	2.5 m	5 m	6 m	7 m
absolut	1.25 mm	1.31 mm	1.18 mm	0.93 mm
relativ	2.0 %	2.4 %	1.2 %	1.4 %

Tab. 2: Theoretischer und beobachteter optischer Fehler bei einer Distanz von 2.5 mp

Distanz: 2.5 m	theoret. Fehler	$\bar{x}$ Fehler		Min	max	95 %
		abs.	rel.			
mediansag.		1.25 mm	2.0 %	0.02	5.81	$0.98 > x_n < 1.50$
parasag.	3.0 %	1.47 mm	1.9 %	0.05	5.22	

Die vorläufigen Ergebnisse (Tab. 1 und 2) bestätigen die Erwartungen gemäss dem theoretischen Modell nur teilweise: Es zeigt sich, dass die Fehlergrösse mit zunehmender Distanz nicht konstant sinkt. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies zum Grossteil durch die Unvollständigkeit der Vergleichsdaten mitverursacht sein könnte. Die Anzahl der Bilder in den grösseren Distanzen ist noch zu gering, um den optischen Fehler exakt zu evaluieren.

Die Ergebnisse zeigen für die Aufnahmen aus 2.5 m einen mittleren Fehler von 1.25 mm mit 95 % aller Werte zwischen 0.98 mm und 1.5 mm. Der relative Fehler beläuft sich auf 2 %, zu erwarten gewesen wären 3 %. Dies gilt jedoch nur für die Masse der Mediansagittalen, die a priori weniger unter den Effekten der Parallaxe deformiert werden als parasagittale Dimensionen. Es wurden einige Dimensionen im Bereich des *Os temporale* und des *Os zygomaticum* gemessen, die den theoretischen Vorgaben zufolge unter der Verzerrung stärker leiden müssten, und es ergab sich ein mittlerer Fehler von 1.47 mm (1.9 %) fest. Dieser Wert liegt immer noch etwas unterhalb des Erwartungswertes, sollte jedoch aufgrund der geringeren Anzahl gemessener Strecken in der Parasagittalen mit Vorsicht interpretiert werden.

Die Messungen bei grösseren Distanzen ergeben ein heterogenes Bild: Während die Aufnahmen bei 5 m einen mittleren Fehler von 1.36 mm aufweisen, es also zu einer leichten Zunahme des Fehlers kommt, erreicht er bei 6 m einen Wert von 1.8 mm (1.2 %), was dem erwarteten Fehler entspricht. Eine kleinere Serie von Messungen an Bildern aus 7 m Distanz ergab einen mittleren Fehler von 0.93 mm, womit die gesuchte Präzision erreicht ist.

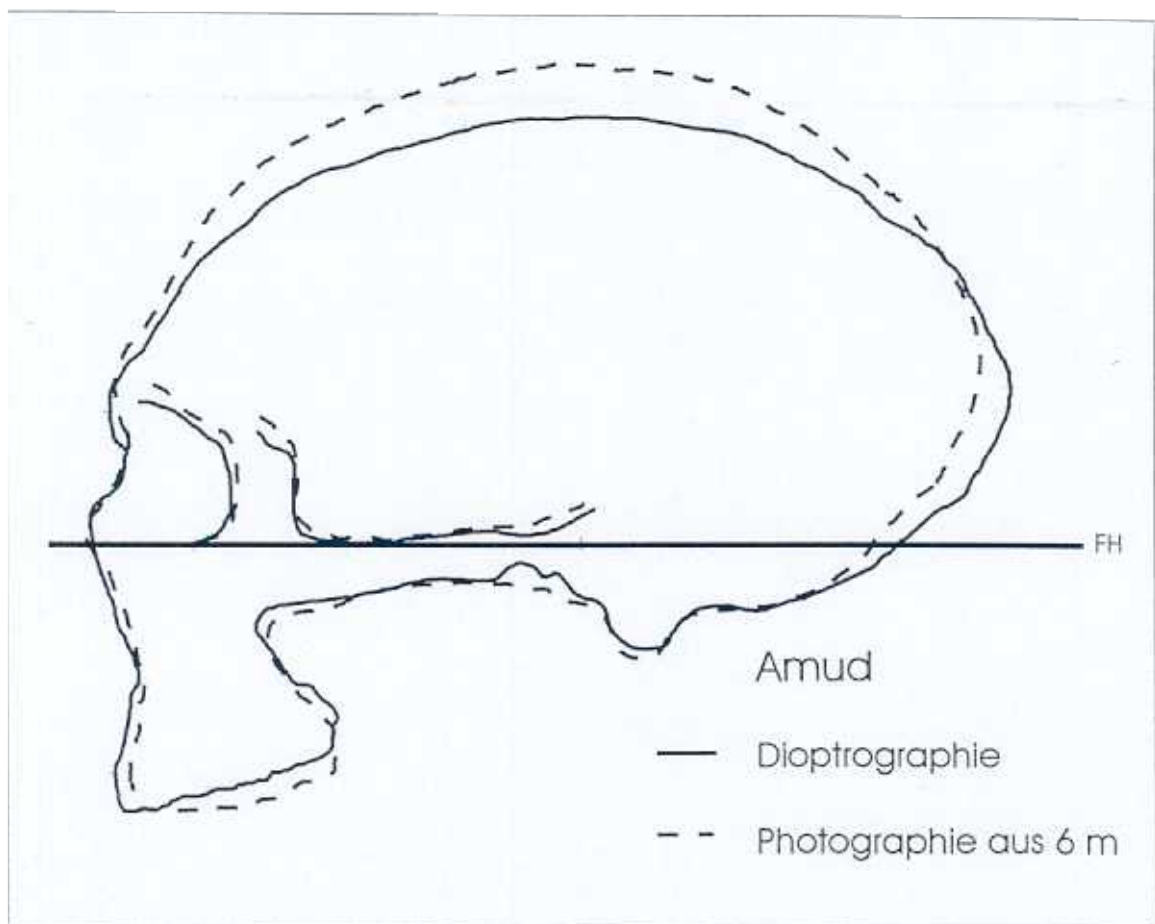


Abb. 3: Superposition von dioptrographischer Zeichnung und Photographie bei ausreichender Distanz, jedoch durch mangelhafte Orthogonalität verzerrt: Calvarium von Amud, N. lateralis.

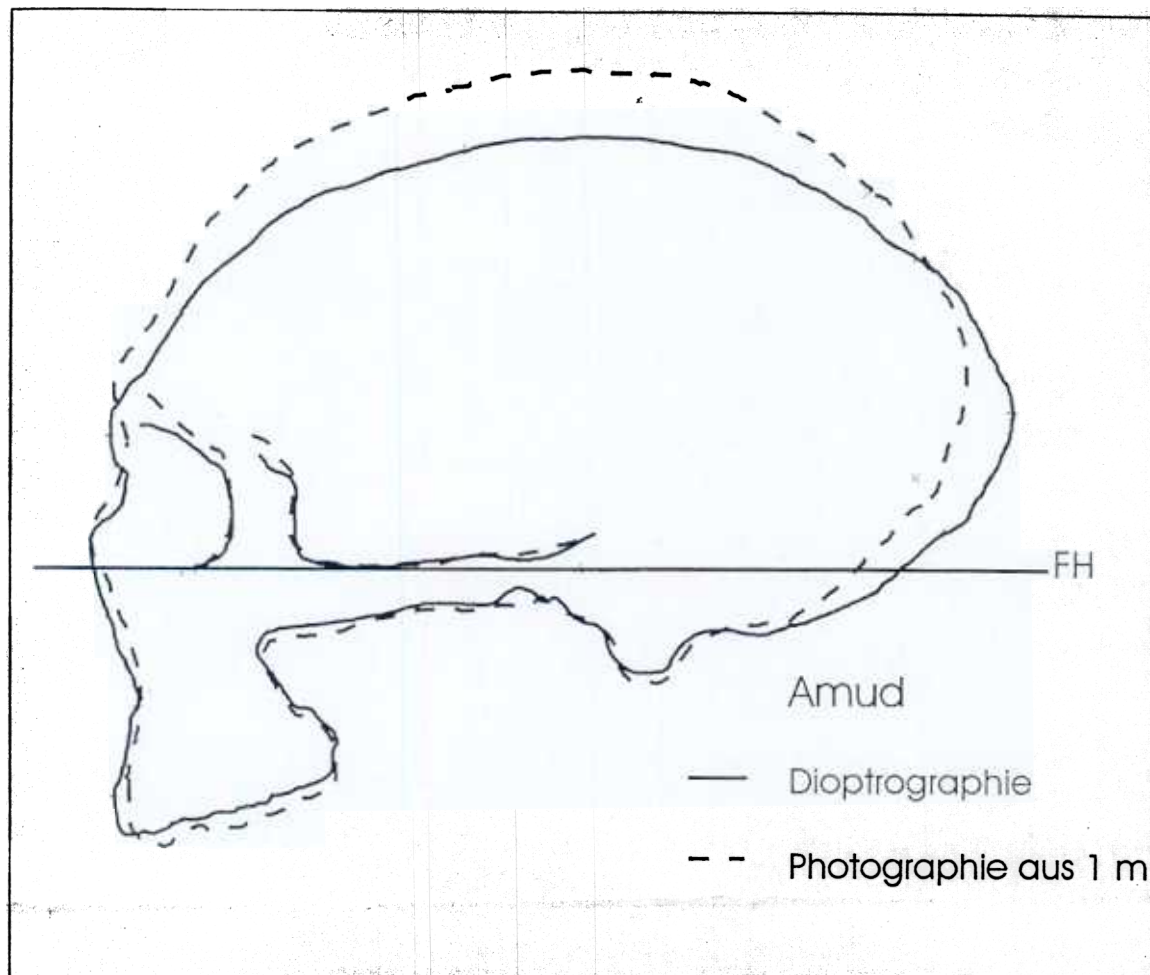


Abb. 4: Superposition von diptrographischer Zeichnung und Photographie aus zu kurzer Distanz: Calvarium von Amud, N. lateralis.

Die Ergebnisse der Fehlerevaluierung verdeutlichen, dass andere Faktoren als die Aufnahmedistanz stärker als erwartet zum Tragen kommen und ebenfalls als Ursache für die Fehlerrate in den grossen Distanzen in Betracht gezogen werden müssen: So wirkt sich vor allem eine Missachtung der Orthogonalität extrem stark aus, wie die Abb. 3 und 4 deutlich illustrieren.

Es zeigt sich, dass bei einer relativ geringfügigen Verschiebung der Bildachse nach unten (bezogen auf den Schädelmittelpunkt) ein ähnlicher Effekt entsteht, wie er bei Aufnahmen im extremen Nahbereich (d.h. bei 1 m) zu beobachten ist. Eine weitere Fehlerursache dürfte der, wenn auch geringfügige, Verlust an Definition in den Bildern bei unzureichender Vergrößerung sein. Die Folge ist eine ungenauere Bestimmung der Messpunkte. Vergrößerungen auf ein Verhältnis nahe 1:1 kompensieren diese Fehlerquelle und sind daher empfehlenswert. Weitere Fehlerursachen sind anzunehmen: Es erscheint plausibel, dass es zu einer Kombination von optischer Verzerrung und „Intra-Observer-Error“ kommt; letzterer bleibt jedoch ausschliesslich auf die direkte Messung an den Schädeln beschränkt, da er für die Prozedur des Digitalisierens überprüft wurde und mit 0.5 mm wenig bedeutsam ausfiel. Es wurde jedoch ein direkter Messfehler (das heisst bei Messungen an den Schädeln) von deutlich über 1 mm festgestellt, was als zusätzliches Argument für indirekte Analysemethoden zu sehen ist.

5. Schlussfolgerung

Zusammenfassend zeigen die Untersuchungen, dass die Aufnahmeparameter soweit kontrolliert werden können, dass akkurate Photographien hergestellt werden können. Wie die Ergebnisse für die Bilder bei 2.5 m und 7 m zeigen, liegt die Fehlerquote in einem Bereich, der den üblichen Messfehler unterschreitet. Da die Rohdatenaufnahme noch läuft, kann in bezug auf die anschliessenden Formanalysen lediglich ausblickend festgestellt werden, dass mit den dargestellten Methoden und Techniken optimale Voraussetzungen für deren Realisierung geschaffen sind.

Literaturverzeichnis

Albrecht G.H. 1991

Thin-plate splines and the primate scapula. *Am. J. Phys. Anthrop. Suppl.* 12 (Abstracts), S. 42-43.

Andrews P., Williams D.B. 1973

The Use of Principal Components Analysis in Physical Anthropology. *Am. J. Phys. Anthrop.* 39, S. 291-304.

Benfer R.A. 1975

Morphometric Analysis of Cartesian Coordinates of the Human Skull. *Am. J. Phys. Anthrop.* 42, S. 371-382.

Bookstein F.L. 1978

The Measurement of Biological Shape and Shape Change. *Lecture Notes in Biomathematics* 24: The Measurement of Biological Shape and Shape Change. Springer, Berlin, Heidelberg.

Bookstein F.L. 1982

Foundations of Morphometrics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13, S. 451-470.

Bookstein F.L. 1984

A Statistical Method for Biological Shape Change. *J. Theor. Biol.* 107, S. 475-520.

Bookstein F.L. 1986

Size and Shape Spaces for Landmark Data in Two Dimensions. *Statistical Sciences* 1(2), S. 181-242.

Bookstein F.L. 1987

Describing a Craniofacial Anomaly: Finite Elements and the Biometrics of Landmark Locations. *Am. J. Phys. Anthrop.* 74, S. 495-509.

Bookstein F.L., Strauss R.E., Humphries J.M., Chernoff B., Elder R.L., Smith G.R. 1982

A comment upon the use of Fourier methods in systematics. *Syst. Zool.* 31, S. 92-95.

Bräuer G., Knussmann R. 1988

Grundlagen der Anthropometrie. In: Knussmann, R. (Hg.), *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*. Bd. I, 1. Teil. Fischer, Stuttgart, S. 129-160.

Cheverud J., Lewis J.L., Bachrach W., Lew W.D. 1983

The Measurement of Form and Variation in Form: An Application of Three-Dimensional Quantitative Morphology by Finite - Element Methods. *Am. J. Phys. Anthrop.* 62, S. 151-165.

Cheverud J., Kohn L.A.P., Königsberg L.W., Leigh S.R. 1992

Effects of Fronto-Occipital Artificial Cranial Vault Modification on the Cranial Base and Face. *Am. J. Phys. Anthrop.* 88, S. 323-345.

- Corner B.D., Richtsmeier J.T. 1991
Morphometric Analysis of Craniofacial Growth in *Cebus apella*. Am. J. Phys. Anthrop. 84, S. 323-342.
- Corruccini R.S. 1974
Calvarial Shape Relationships Between Fossil Hominids. Yb. Phys. Anthrop. 18, S. 89-109.
- Corruccini R.S. 1975
Morphometric Assessment of Australopithecine Postcranial Affinities. Syst. Zool. 24, S. 226-233.
- Corruccini R.S. 1978
Relative growth and shape analysis. Homo 28, S. 222-226.
- Delattre A., Fénart R. 1963
Etude des projections horizontale et vertico-frontale du crâne au cours de l'hominisation. L'Anthropologie (Paris) 67(5-6), S. 525-562.
- Delattre A., Fénart R. 1964
Etude des projections horizontale et vertico-frontale du crâne au cours de l'hominisation. L'Anthropologie (Paris) 68(1-2), S. 95-132.
- Excoffier L., Simon Chr. 1988
Introduction d'une méthode informatisée pour l'analyse de la forme crânienne des populations au moyen de coordonnées cartésiennes centrées réduites. Actes des 3^{èmes} Journées Anthropologiques de Valbonnes, Notes et Monographies Techniques 24, S. 251-266. Editions du CNRS, Paris.
- Ferrario V.F., Sforza C., Miani A.Jr., Tartaglia G. 1993a
Craniofacial morphometry by photographic evaluations. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 103(4), S. 327-337.
- Ferrario V.F., Sforza C., Miani A.Jr., Tartaglia G. 1993b
Human Dental Arch Shape Evaluated by Euclidean-Distance Matrix Analysis. Am. J. Phys. Anthrop. 90, S. 445-453.
- Ferson S., Rohlf F.J., Koehn R.K. 1985
Measuring Shape Variation of Two-Dimensional Outlines. Syst. Zool. 34(1), S. 59-68.
- Fink W.L., Zelditch M.L. 1996
Historical patterns of developmental integration in piranhas. Am. Zool. 36, S. 61-69.
- Friess M. 1994
Topologische Analyse zur phylogenetischen Stellung spätpleistozäner Hominiden - eine methodologische Untersuchung. Unpubl. M.A.-Hausarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
- Habgood P.J., Walker M.J. 1986
Analyse en Composantes Principales et Classification Hiérarchique de Crânes du Pléistocène Supérieur. L'Anthropologie (Paris) 90(3), S. 555-566.
- Healy M.J.R., Tanner J.M. 1981
Size and Shape in Relation to Growth and Form. Symp. Zool. Soc. London 46, S. 19-35.
- Henke W. 1989
Jungpaläolithiker und Mesolithiker - Beiträge zur Anthropologie. Habilitationsschrift. Universität Mainz.
- Hildebolt C.H., Vannier M.W. 1988
Three-Dimensional Measurement Accuracy of Skull Surface Landmarks. Am. J. Phys. Anthrop. 76, S. 497-503.

- Hublin J.J., Spoor F., Braun M., Zonneveld F., Condemi S. 1996
A Late Neanderthal Associated with Upper Palaeolithic Artefacts. *Nature (London)* 381, S. 224-226.
- Humphries J.M., Bookstein F.L., Chernoff B., Smith G.R., Elder R.L., Poss S.G. 1981
Multivariate Discrimination by Shape in Relation to Size. *Syst. Zool.* 30(3), S. 291-308.
- Hursh T.M. 1976
The Study of Cranial Form: Measurement Techniques and Analytical Methods. In: Giles E., Friedlaender J.S. (Hg.), *The Measures of Man. Methodologies in Biological Anthropology*, Peabody Museum Press.
- Jacobshagen B. 1980
Grenzen konventioneller Techniken und Möglichkeiten alternativer Ansätze in der Anthropometrie. Mit einem Beispiel für den Einsatz der Biophotogrammetrie in der Schädelmesstechnik. *ZMA* 71(3), S. 306-321.
- Jacobshagen B. 1992
Fourieranalyse. In: Knussmann R. (Hg.), *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, Bd. I, 2. Teil. Fischer, Stuttgart, S. 812-819.
- Jacobshagen B., Berghaus G., Knussmann R., Sperwien A., Zeltner H. 1988
Fotogrammetrische Methoden. In: Knussmann R. (Hg.), *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*. Bd. I, 1. Teil. Fischer, Stuttgart, S. 328-345.
- Jolicoeur P. 1963
The Multivariate Generalization of the Allometry Equation. *Biometrics* 10, S. 497-499.
- Jolicoeur P., Mosimann J.E. 1960
Size and shape variation in the painted turtle. A principal component analysis. *Growth* 24, S. 339-354.
- Krukoff S. 1978
Structures angulaires constantes au cours de l'évolution du crâne, chez l'Homme actuel et fossile, et chez les singes supérieurs. In: *Les origines humaines et les époques de l'intelligence. Colloque international (juin 1977) organisé par la Fondation Singer - Polignac*. Paris, S. 117-152.
- Leigh S.R., Cheverud J.M. 1991
Sexual Dimorphism in the Baboon Facial Skeleton. *Am. J. Phys. Anthrop.* 84, S. 193-208.
- Lele S. 1991
Some Comments on Coordinate-Free and Scale-Invariant Methods in Morphometrics. *Am. J. Phys. Anthrop.* 85, S. 407-417.
- Lele S., Cole III T. M. 1996
A new test for shape differences when variance-covariance matrices are unequal. *J. Hum. Evol.* 31, S. 193-212.
- Lele S., Richtsmeier J.T. 1991
Euclidian Distance Matrix Analysis: A Coordinate-Free Approach for Comparing Biological Spaces Using Landmark Data. *Am. J. Phys. Anthrop.* 86, S. 415-427.
- Lele S., Richtsmeier J.T. 1992
On Comparing Biological Shapes: Detection of Influential Landmarks. *Am. J. Phys. Anthrop.* 87, S. 49-65.
- Lele S., Richtsmeier J.T. 1995
Euclidian Distance Matrix Analysis: Confidence Intervals for Form and Growth Differences. *Am. J. Phys. Anthrop.* 98, S. 73-86.

- Lestrel P.E. 1974
Some Problems in the Assessment of Morphological Size and Shape Differences. Yb. Phys. Anthropol. 18, S. 140-162.
- Lestrel P.E. 1980
A Quantitative Approach to Skeletal Morphology: Fourier Analysis. Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers 166, S. 80-93.
- Lestrel P.E. 1989
Method for Analyzing Complex Two-Dimensional Forms: Elliptical Fourier Functions. Am. J. Hum. Biol. 1, S. 149-164.
- Lestrel P.E., Moore R.N. 1978
The Cranial Base of Fetal *Macaca nemestrina*: A Quantitative Analysis of Size and Shape. J. Dent. Res. 57, S. 395-401.
- Lewis J., Lew W., Zimmermann J. 1980
A Nonhomogeneous Anthropometric Scaling Method Based on Finite Element Principles. J. Biomechanics 13, S. 815-824.
- Mallock A. 1925
The shapes of Birds' eggs. Nature (London) 116, S. 311-312.
- McHenry H.M., Corruccini R.S. 1978
Analysis of the Hominoid Os Coxae by Cartesian Coordinates. Am. J. Phys. Anthropol. 48, S. 215-226.
- Niklas K. 1977
Application of Finite Element Analyses to Problems in Plant Morphology. Ann. Botany 41, S. 133-153.
- Penrose L.S. 1954
Distance, Size and Shape. Ann. Eugenics 18, S. 337-343.
- Pesce Delfino V., Vacca E., Potente F., Lettini T., Ragone P. 1985
Morfometria Analitica del Cranio Neandertaliano del Monte Circeo (Circeo 1). In: Piperno M., Scichilone G. (Hg.), Il Cranio Neandertaliano Circeo 1. Studi e Documenti. Rom, S. 197-251.
- Piechulek H., Rösing F.W. 1986
Zur Topologie des menschlichen Schädels. ZMA 76(2), S. 169-188.
- Relethford J.H. 1984
Morphological Size and Shape Variation among Local Human Populations. J. Hum. Evol. 13, S. 191-194.
- Richtsmeier J.T. 1989
Applications of Finite-Element Scaling Analysis in Primatology. Folia Primatol. 53, S. 50-64.
- Richtsmeier J.T., Cheverud J.N., Lele S. 1992
Advances in Anthropological Morphometrics. Ann. Rev. Ecol. Syst. 21, S. 283-305.
- Rohlf F.J., Archie J.W. 1984
A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in Mosquitoes (Diptera: Culicidae). Syst. Zool. 33(3), S. 302-317.
- Sneath P.H.A. 1967
Trend-surface analysis of transformation grids. J. Zoology (London) 151, S. 65-122.

- Sokal R.R., Sneath P.H.A. 1963
Principals of numerical taxonomy. W.H. Freeman, San Francisco.
- Spoor F., Zonneveld F. 1994
The Bony Labyrinth in *Homo erectus*: A Preliminary Report. Cour. Forschungsinstitut Senckenberg 171, S. 251-256.
- Spoor F., Zonneveld F., Macho G.A. 1993
Linear Measurements of Cortical Bone and Dental Enamel by Computed Tomography: Applications and Problems. Am. J. Phys. Anthrop. 91, S. 469-484.
- Thompson D.A.W. 1917
On Growth and Form. Cambridge.
- Vacca E., Pesce Delfino V. 1991
Analytical Morphies on Mid-Sagittal Craniograms *Glabella-Opisthocranium* of *Homo erectus* and *Homo sapiens neanderthalensis*. Boll. Soc. it. Sper. Vol. LXVII(3), S. 237-245.
- Vannier M.W., Conroy G.C. 1989
Imaging Workstations for Computer-Aided Primatology: Promises and Pitfalls. Folia Primatol. 53, S. 7-21.
- Vannier M.W., Conroy G.C., Marsh J.L., Knapp R.H. 1985
Three-Dimensional Cranial Surface Reconstructions Using High-Resolution Computed Tomography. Am. J. Phys. Anthrop. 67, S. 299-311.
- Ward R., Jamison P. 1991
Measurement precision and Reliability in Craniofacial Anthropometry. Am. J. Phys. Anthrop. Suppl. 12 (Abstracts), S. 180.
- Yaroeh L.A. 1996
Shape Analysis Using the Thin-Plate Spline: Neanderthal Cranial Shape as an Example. Yb. Phys. Anthrop. 39, S. 43-89.
- Yaroeh L.A., Thompson J.L. 1996
The Thin-Plate Spline and Paleoanthropology. An innovative technique for measuring biological shape. Am. J. Phys. Anthrop. Suppl. 22 (Abstracts), S. 249-250.
- Zahn Ch.T., Roskies R.Z. 1972
Fourier Descriptors for Plane Closed Curves. IEEE Transactions on Computers 21(3), S. 269-281.
- Zollikofer Ch.P.E., Ponce de León M., Stucki P. 1995
Neanderthal Computer Skulls. Nature (London) 375, S. 283-285.
- zur Nedden D., Wicke K. 1992
Der Eismann aus Sicht der radiologischen und computertomographischen Daten. In: Höpfel F., Platzer W., Spindler K. (Hg.), Der Mann im Eis. Bd. 1. Bericht über das internationale Symposium 1992 in Innsbruck, S. 131-148.

Dank

Die Durchführung dieser Arbeit wurde zum Teil vom Programm „Human Capital & Mobility“ - Ref. 006312 - finanziell unterstützt.

Anschrift

Martin Friess
Laboratoire d'Anthropologie de l'Université de Bordeaux 1
Avenue des Facultés
F - 33405 Talence

und

Institut für Anthropologie
Johannes Gutenberg-Universität
Saarstrasse 21
D - 55099 Mainz

Eingang: 14.2.1997

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Berli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835

Erste Ergebnisse zu den Bestattungen aus dem Graben der bandkeramischen Siedlung von Vaihingen an der Enz

Katrin Welge

Einführung

Vaihingen an der Enz liegt etwa 25 km nordwestlich von Stuttgart entfernt im Kreis Ludwigsburg. Da hier ein Industriegebiet an der neuen Schnellbahnstrecke Stuttgart-Mannheim geplant ist, wurden archäologische Rettungsgrabungen durch das Landesdenkmalamt Baden-Württemberg eingeleitet. Seit 1994 sind bereits drei Grabungskampagnen mittels modernster Methoden durchgeführt worden. So wird beispielsweise der Siedlungsplan mit einem elektronischen Tachymeter vermessen und digital am Computer verarbeitet.

Wo in den nächsten Jahren ein Industriegebiet entstehen soll, siedelten vor etwa 7000 Jahren neolithische Menschen der bandkeramischen Kultur. Ihr Siedlungsareal wählten sie nach typischen Kriterien aus: Wasseranbindung und leichte Hangneigung bei hervorgehobener topographischer Situation. Der Siedlungsplatz befindet sich auf einem schwach von West nach Ost abfallenden Rücken im Bergvorland, der von Taleinschnitten zweier Bäche umgeben ist.

Es handelt sich hierbei um eine befestigte Siedlung der Bandkeramik, vergleichbar etwa mit dem Erdwerk von Heilbronn-Neckargartach (Schmidgen-Hager 1992) oder Eilsleben (Kaufmann 1989). Zahlreiche Grundrisse typischer Langhäuser sowie ein vermutlich ovaler Dorfgraben, der auf seiner Innenseite von Palisadengrübchen flankiert wird, haben sich in tonigem schweren Löss erhalten. Auch ist der Löss kalkhaltig genug, ausreichend Skelettmaterial zu überliefern.

Die zeitliche Einordnung des Grabens und der Siedlungsgruben gestaltet sich schwierig, da Beigaben selten sind und weil sich die Befunde von Hausgruben überschneiden. Aus diesem Grunde sind C-14 - Datierungen am Knochenmaterial vorgesehen. Momentan wird davon ausgegangen, dass die Mehrzahl der Bestattungen eher in die mittlere Bandkeramik datieren. Im Siedlungsareal lässt sich anhand der Keramikfunde eine Änderung von der älteren Bandkeramik, mit der Stufe Flomborn, über die mittlere Bandkeramik bis hin zur jüngeren und jüngsten Bandkeramik nachweisen. Deshalb werden seitens der Archäologie 3-4 Besiedlungsphasen angenommen (Krause 1996).

Befundsituation

Die Bestattungen finden sich in allen Niveaus der Grabenverfüllung. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt konnten fast 120 Gräber freigelegt werden. Dabei wurde deutlich, dass im Bereich der Grabensohle und an den Grabenflanken für die Bestattungen zum Teil Grabgruben gegraben wurden, die gelegentlich sogar unter das Niveau der Grabensohle eingetieft worden waren. Diese Gruben sind besonders dort eindeutig zu beschreiben, wo sie über die Graben-

flanken hinaus in den anstehenden Löss reichen. Darüber hinaus konnten ähnliche Befunde in nächster Nähe des Dorfgrabens in den hausbegleitenden Gruben und Siedlungsgruben gemacht werden (Krause 1996).

Anscheinend war der Graben bei Grablege der Toten schon weitgehend verfüllt, und alle Bestattungen im Graben stammen aus einer Belegungsphase. Die Verfüllung der besonders tief eingetieften Grabgruben weist einen höheren Anteil des hellen Löss auf als die Grabverfüllung selbst, und es finden sich Gräber in sehr viel höher gelegenen Niveaus der Grabenverfüllung. Hieraus kann geschlossen werden, dass im Dorfgraben die verstorbene Bevölkerung einer späteren Besiedlungsphase liegt, zumindest nicht die der flombornzeitlichen. Der Friedhof der ursprünglichen Siedlung wird südlich des Ausgrabungsareals vermutet.

Fundmaterial

Die Bearbeitung der menschlichen Skelettreste steht erst am Anfang. Ihr Erhaltungszustand ist leider recht unterschiedlich. Einerseits konnte beispielsweise bei dem etwa 50jährigen Mann aus Grab 8 das komplette Cranium inklusive des Gesichtsschädels (Abb. 1) rekonstruiert werden, andererseits blieben von einem 5-6jährigen Kind nur wenige Fragmente erhalten.

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt konnten 24 Individuen untersucht werden, jedoch noch nicht für jedes Individuum alle Parameter erfasst werden. Die untersuchten Gräber stammen vorwiegend aus dem nordwestlichen Grabungsareal und stellen kaum mehr als ein Fünftel der Gesamtzahl dar. Infolgedessen sind sie als zufällige Stichprobe anzusehen, aus der noch keine Aussagen zu statistischen Größen abgeleitet werden können. Beispielsweise liegt nach dem derzeitigen Stand der Auswertung die Relation von Kindern und Jugendlichen zu Erwachsenen bei 40% : 60%. Dieses Verhältnis kann und wird sich aber wahrscheinlich noch ändern. Des weiteren scheint die Vaihinger-Population nicht besonders robust gewesen zu sein. Auch sonst fügen sich die derzeitigen morphologischen und metrischen Ergebnisse in das bislang bekannte Erscheinungsbild der Menschen aus der Zeit der Bandkeramik Südwestdeutschlands ein.

Auf der Ausgrabung Vaihingen an der Enz sind drei Überlieferungsformen von Menschenknochen anzutreffen: Regelhafte Bestattungen, nicht-regelhafte wie in Gruben oder Graben geworfene Individuen und Streuknochen, wobei letztgenannte vermutlich ehemals gestörte Bestattungen sind. Zu den regelhaften Bestattungen zählen Hocker und Sonderbestattungen. Die Hocker sind recht unterschiedlich gelegt. Neben typischen Hockern werden schwache und extreme Hockhaltungen angetroffen. Abweichend von der typischen Form mit mehr oder weniger stark angewinkelten Beinen, angewinkelten Armen (mit den Händen in Nähe des Gesichtes und dem Oberkörper in Seitenlage) zeichnet sich die extreme Hockhaltung durch stark angezogene Beine aus. Unter den Individuen, die in nur schwach „gehockter“ Haltung bestattet wurden, findet sich auch ein etwa 40jähriger Mann, dessen Oberkörper in Rückenlage mit darüber gekreuzten Armen liegt. Eine weitere Variante zeigt ein frühadulter, wahrscheinlich männlicher Bandkeramiker: Der Oberkörper befindet sich in Bauchlage und die Beine sind nicht „gehockt“, sondern nur die Unterschenkel nach hinten abgewinkelt. An dieser Stelle kann nur die Variationsbreite aufgezeigt werden, ohne schon zufriedenstellend erklären zu können, was dahinter steht. Es muss im weiteren untersucht werden, in welchem Masse der Diageneseprozess die Totenhaltung beeinflusst, denn nicht hinter jeder Totenlage steckt eine Intention.

Diese Überlegungen gelten auch für „Strecker“ und „Doppelbestattungen“, die in Vaihingen wie in der Bandkeramik allgemein als Sonderbestattungen anzusprechen sind. Die beiden bislang untersuchten Bestatteten in gestreckter Haltung konnten als adulter Mann und spät-

adulte Frau bestimmt werden. Bei der Doppelbestattung handelt es sich um zwei Kinder im Alter von 5-6 Jahren (beides wahrscheinlich Knaben, die gleichzeitig bestattet wurden). Diese Sonderbestattungen sind zwar ungewöhnlich, aber mit Sicherheit nicht nachlässig ausgeführt worden. Sie werden zu den regelhaften Bestattungsformen gezählt, da - der Definition des Wortes „Bestattung“ folgend -, ihre Anlage vermutlich mit angemessenen Zeremonien und bestimmten Handlungen verknüpft war (Meyer 1981). Hiervon sind die irregulär beseitigten Individuen abzugrenzen. Sie wurden im Sinne einer Kadaverbeseitigung in eine Erdvertiefung geworfen, ohne dass einem Ritus gefolgt wurde.

Ein Beispiel für eine solche „Verlochung“ sind zwei frühmature Individuen, die in nächster Nähe im rechten Winkel zueinander liegen. Das eine als eher weiblich einzustufende Individuum liegt auf dem Rücken und hat die Beine angewinkelt. Beim anderen als eher männlich bestimmten Individuum ist der Schädel verlagert. Seine Lage zwischen Pelvis und Thorax ist wahrscheinlich durch postmortale Verkipfung zustande gekommen. Zumindest kann eine Dekapitierung und bewusste Deponierung durch die anthropologische Untersuchung nicht bestätigt werden, da alle Indizien bis auf eine kleine Fissur an der dorsalen Seite des Dens axis auf eine zufällige Entstehung des Befundes hindeuten.

Noch zu prüfen ist in diesen Fällen, ob ein Zusammenhang zwischen dem jeweiligen Ort des Befundes, Grube oder Graben, und nicht regelhafter Totenhaltung bzw. regelhafter Bestattung besteht. Bei diesen Überlegungen muss auch eine zeitliche Diskrepanz zwischen den Skelettfunden im Graben und denen in den Gruben mit in Betracht gezogen werden.



Abb. 1: Calvarium eines etwa 50jährigen Mannes (Grab 8).

Traumatologische Einzelbefunde

Das Os frontale des oben genannten eher weiblichen Individuums weist auf der rechten Seite eine verheilte Fraktur auf, die lateral der Mediansagittalebene liegt. Es handelt sich hierbei um eine runde Impressionsfraktur mit einem Durchmesser von ca. 30 mm. Als Ursache könnte eine tätliche Auseinandersetzung mit stumpfer oder halbscharfer Gewalteinwirkung in Frage kommen. Allerdings ist auch ein Sturz auf die Stirn als mögliche Ursache nicht ganz auszuschliessen.

Eine ebenfalls verheilte Fraktur an der linken Ulna desselben Individuums könnte durchaus demselben Geschehen zuzuordnen sein. Der verheilte Bruch befindet sich im unteren Schaft-drittel der Ulna, und der dazugehörige Radius weist keine Verletzungsspuren auf. Dies sind die Merkmale einer typischen Parierfraktur, die durch äussere Gewalteinwirkung auf den schützend über den Kopf oder vor das Gesicht gehaltenen Unterarm entsteht (Kunter 1981). Somit lässt sich diese Läsion eindeutig als Folge einer tätlichen Auseinandersetzung bezeichnen und ist damit von einem Unfall wie etwa einem Sturz auf den Unterarm abzugrenzen.

Der Hintergrund der Traumatisierung ist jedoch bei einer unverheilten Lochfraktur im Os occipitale einer etwa 30-40jährigen Frau wieder unklar. Die Oberschuppe ist durch eine direkte Biegungsfraktur charakterisiert und das Imprimat von mehreren Berstungsbrüchen und Fissuren durchzogen. Mit der direkten kaum geschwungenen Frakturlinie von knapp 40 mm gehen basalwärts mehrere zirkuläre Biegungsfrakturen und fragliche Berstungsausläufer einher. Der trichterförmige Absprengungsraum im Bereich der Tabula interna ist typisch für eine Lochfraktur am frischen Knochen (Wahl/König 1987, Maresch/Spann 1987). Kleine terrassenartige Randabsprengungen kennzeichnen die obere Defektbegrenzung. Wahrscheinlich hat diese Traumatisierung eine mittelschwere Schädel-Hirn-Verletzung zur Folge gehabt, die mittelbar zum Tode geführt haben könnte, da keinerlei Heilungserscheinungen festzustellen sind.

Ob eine tätliche Auseinandersetzung zu der Verletzung geführt hat, wird ungeklärt bleiben. Es kann nur behauptet werden, dass die Gewalteinwirkung durch einen stumpfen, kantig berandeten Gegenstand mit nahezu linearer und ebener Einwirkungsfläche hervorgerufen wurde. Sollte es sich um einen gewalttätigen Disput gehandelt haben, könnte es eine Flachhacke gewesen sein, mit der auf das Hinterhauptsbein geschlagen wurde. Allerdings kann die Lage der Fraktur, die Äquatorialebene, auch auf einen Sturz auf den Hinterkopf hinweisen.

Odontologische Einzelbefunde

Als Zahnbefund für fast alle bisher untersuchten Gräber lässt sich eine stärkere Abkauung der Frontzähne des Oberkiefers im Vergleich mit denen des Unterkiefers festhalten. Interessanterweise sind hiervon die Zähne der Maxilla auffallend stärker betroffen, so dass die Kaubewegung als Ursache ausgeschlossen werden kann.

Dieses Phänomen zeigt sich ebenso in vielen anderen neolithischen Fundkomplexen, speziell auch bei bandkeramischen wie z.B. Stuttgart-Mühlhausen (Reith 1990) und Schwetzingen (Wahl 1996) und hat höchstwahrscheinlich einen „non-alimentären“ Hintergrund. Aus ethnologischen Berichten ist bekannt, dass Schneide- und Eckzähnen bei bestimmten manuellen Verrichtungen eine Haltefunktion zukommen kann, die für die betroffenen Zähne eine stärkere Abrasion als für die Backenzähne zur Folge hat. So auch bei Arbeiten wie dem Weichkauen von Leder oder anderen Materialien. An eine Beeinflussung des Abkauungsgrades durch die Zusammensetzung und Beschaffenheit der Nahrung muss gleichermassen gedacht werden. Nicht zu vergessen ist die genetische Bedingtheit der Härte und Dicke des Zahnschmelzes (Schuhmacher/Schmidt 1983). Vielleicht könnte eine Gebrauchsspurenanalyse dem Phänomen auf die Spur kommen.

Epigenetische Einzelbefunde

Am Schädel und an den Handwurzelknochen fallen einige anatomische Varianten auf, die unter Umständen zur Aufdeckung verwandtschaftlicher Beziehungen innerhalb der bandkeramischen Bevölkerung von Vaihingen an der Enz beitragen könnten.

Beispielsweise findet sich bei einigen Individuen eine schwache bis fehlende Fältelung der Sutura coronalis im Bregmabereich. Bei einem dieser Individuen sind grössere Perforationen an den Handwurzelknochen festzustellen. Diese anatomische Variante findet sich auch noch am Skelettmaterial zweier weiterer der bislang aufgenommenen Gräber.

Ein, nach Kenntnis der Autorin, noch nicht beschriebenes Merkmal kann anhand der beiden Partes petrosae der spätadulten Frau aus Grab 4 (Abb. 2) vorgestellt werden. Die Abbildung zeigt den Mastoidbereich mit dem Porus acusticus externus, oberhalb dessen eine kaum gefältelte Naht in Fortsetzung der Sutura parietomastoidea facialwärts das Temporale in zwei Teile schneidet. Hier kann eine anlagebedingte anatomische Variante vermutet werden, auch wenn eine sogenannte Hemmungsbildung vom Felsenbein aus theoretisch möglich wäre, denn Squama und Petrosum werden im 2. Fetalmonat in der Regel aus einem Knochenkern gebildet (Henle 1901, Hinrichsen 1990). Das beidseitige Vorkommen dieser zusätzlichen Naht lässt allerdings den eindeutigen Schluss zu, dass sie epigenetischen und nicht traumatischen Ursprungs ist.

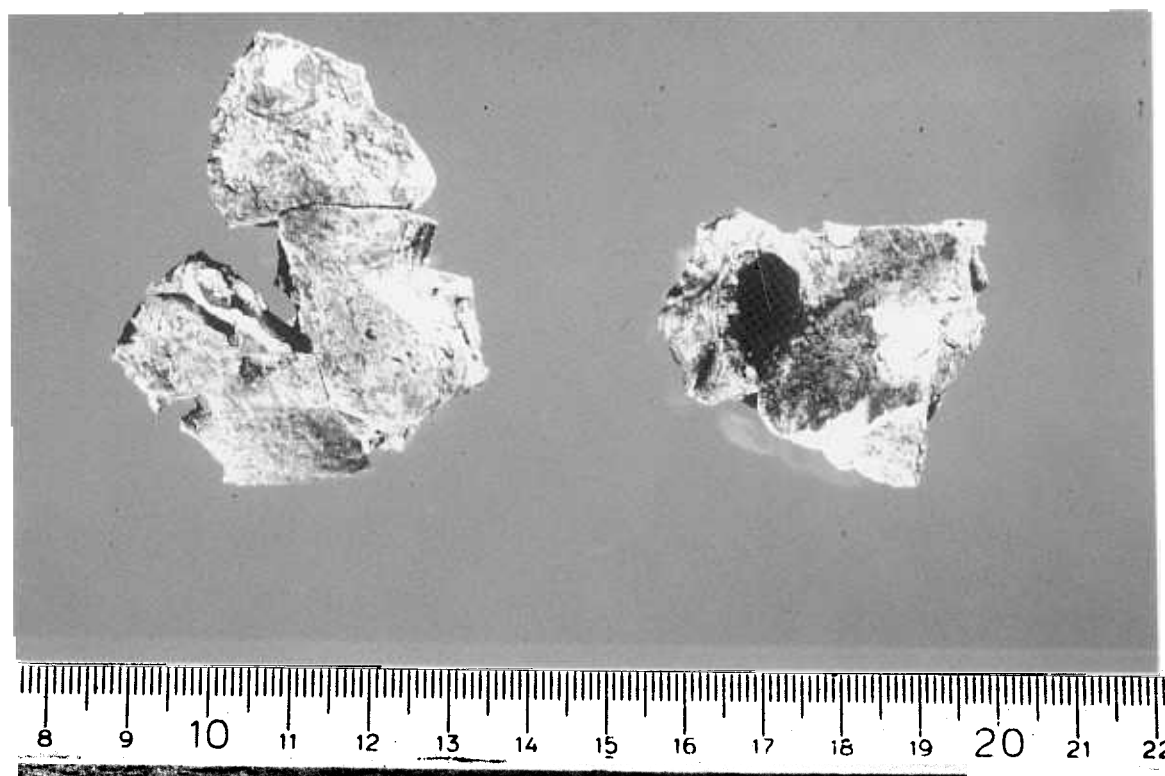


Abb. 2: Partes petrosae einer spätadulten Frau (Grab 4).

Ausblick

Aus der Literatur ist bekannt, dass bestimmte Tätigkeiten und spezielle Muskelmarken am Skelett korrelieren können (Spennemann 1986, Weineck 1988). Da für einen Bewegungsablauf die entsprechenden Muskelpartien anzusprechen sind, könnten sich charakteristische

Merkmalsverteilungen zu erkennen geben. Die Überprüfung derartiger Zusammenhänge am bandkeramischen Material soll ein Auswertungsschwerpunkt der weiteren anthropologischen Bearbeitung werden.

In bezug auf das gesamte bislang untersuchte Skelettmaterial fällt auf, dass die Ausbildung der Muskelmarken in den verschiedenen Skelettregionen variiert. Ob die Ausprägung einzelner Muskelmarken in eindeutige Verbindung mit bestimmten körperlichen Betätigungen zu bringen ist, soll daher, wenn die Datenbasis komplett ist, untersucht werden. Hierbei ist besonders darauf zu achten, inwieweit geschlechtsspezifische Unterschiede in der Manifestation muskulärer Anstrengung am Skelettmaterial erkennbar sind. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es diesbezüglich interessante Anhaltspunkte, die sich jedoch erst noch verdichten müssen.

Literaturverzeichnis

Henle J. 1901

Henle's Grundriss der Anatomie des Menschen. Braunschweig.

Hinrichsen K.V. (Hg.) 1990

Humanembryologie. Berlin.

Kaufmann D. 1989

Eilsleben. In: Herrmann J. (Hg.), Archäologie in der DDR. Bd. 2. Leipzig.

Krause R. 1996

Zur Fortsetzung der Ausgrabungen in einer bandkeramischen Siedlung bei Vaihingen an der Enz, Kreis Ludwigsburg. In: Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1995. Broschüre. Stuttgart.

Kunter M. 1981

Frakturen und Verletzungen des vor- und frühgeschichtlichen Menschen. Archäologie und Naturwissenschaften 2, S. 221-246.

Maresch W., Spann W. 1987

Angewandte Gerichtsmedizin. Wien.

Meyer 1981

Meyers grosses Taschenlexikon.

Reith T. 1990

Untersuchungen zur Altersbestimmung der Individuen zweier frühneolithischer Skelettserien aus Baden-Württemberg. Diss. Tübingen.

Schmidgen-Hager C. 1992

Das bandkeramische Erdwerk von Heilbronn-Neckargartach. Fundber. Bad.-Württ. 17/1. Stuttgart.

Spennemann D.H.R. 1986

Arbeitsteilung der Geschlechter in der Vorgeschichte. Arch. Korrespondenzblatt 16, S. 489.

Wahl J., König, H.G. 1987

Anthropologisch-traumatologische Untersuchung der menschlichen Skelettreste aus dem bandkeramischen Massengrab bei Talheim, Kr. Heilbronn. Fundberichte aus Baden-Württemberg. Bd. 12. Stuttgart. S. 65-186.

Wahl J. 1996
pers. Mitteilung.

Weineck J. 1988
Sportanatomie, Erlangen.

Anschrift

Katrin Welge
Anthropologisches Forschungsinstitut
St. Jakobstrasse 30
CH - 4147 Aesch

Eingang: 19.3.97

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Beerli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

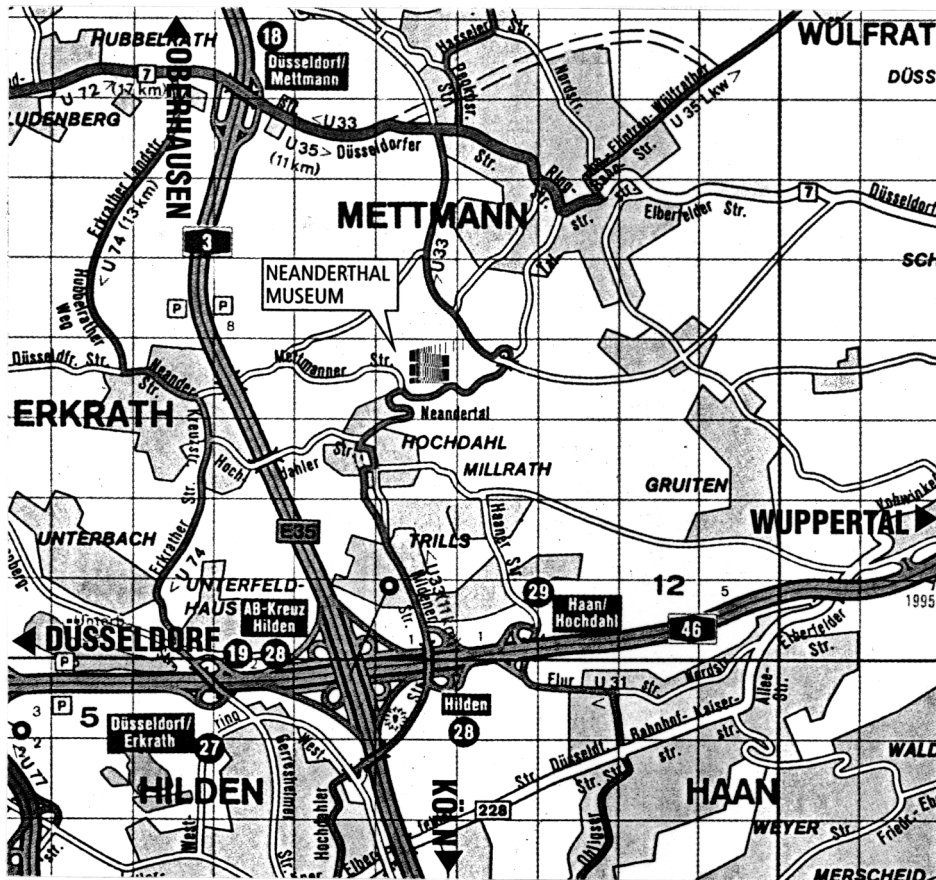
Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835

Nochmals: Neanderthal Museum

Im Bulletin Heft 2/1996 erschien ein Bericht von Dr. Alfred Czarnetzki/Tübingen zur Eröffnung des Neanderthal Museums.

Nachträglich ist bei der Redaktion ein Prospekt eingegangen, der Auskunft gibt, wie das Neanderthal Museum zu erreichen ist. Auf mehrfachen Wunsch wiedergeben wir nachstehend die genaue Adresse und den Planausschnitt:



Neanderthal Museum
Talstrasse 300
D - 40822 Mettmann

Tel. ++41 2104-979797 Fax: ++41 2104-979796

Öffnungszeiten: Dienstag bis Sonntag 10-18 Uhr.

Im Prospekt, der beim Museum angefordert werden kann, werden verschiedene Reisevarianten mit öffentlichen Verkehrsmitteln angegeben. Die Leitung empfiehlt:

Düsseldorf: Ab Hauptbahnhof mit der S8 (Gleis 13) in Richtung Wuppertal/Hagen bis **Hochdahl**. Fussweg bis zum Museum 10-15 Minuten.

Susi Ulrich-Bochsler

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Beerli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835

SGA/AGHAS-WORKSHOP vom 1.-2. Dezember 1995 in Basel

Anfangs Dezember 1995 konnte mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften ein zweitägiger Einführungskurs zum Thema

“Quantitativ-morphologische Verfahren zur osteologischen Analyse - kritische Evaluierung konventioneller Verfahren und innovative Ansätze”

unter der Leitung von Prof. Dr. Winfried Henke vom Anthropologischen Institut der Universität Mainz durchgeführt werden. Das rege Interesse der Teilnehmerinnen und Teilnehmer unterstrich den Wert dieser Veranstaltung, bot sie doch auch all denjenigen Anthropologen, die stark in ihre praktische Tätigkeit eingebunden sind, die Gelegenheit, sich von kompetenter Seite über den neuesten Stand der morphometrischen Analysen orientieren zu lassen.

In der Zwischenzeit wurde der Hauptteil der Vorträge im Bulletin publiziert. Abschliessend zu diesem Projekt wiedergeben wir nachstehend noch einmal das Vortragsprogramm, ergänzt durch den Erscheinungsort der publizierten Beiträge.

Vorträge vom 1. Dezember 1995:	Publikation in:
W. HENKE/Mainz: Ist Morphometrie noch zeitgemäss?	<i>Bull. Soc. Suisse d'Anthrop.</i> 3(1), 1997, S. 1-18.
W. HENKE/Mainz: Zwischengruppenanalyse anhand multivariat-statistischer Verfahren I: Diskriminanzanalyse II: Faktorenanalyse III: Clusteranalyse	<i>Bull. Soc. Suisse d'Anthrop.</i> 3(1), 1997, S. 19-35.
A. KEMKES-GROTTENTHALER/Mainz: Binnengruppenanalyse	<i>Bull. Soc. Suisse d'Anthrop.</i> 2(2), 1996, S. 13-25.
U. KRENZER/Mainz: Beitrag zur Mainzer Datenbank; Vorstellung der Software zur Erstellung von Streuungsellipsen und Clusteranalysen	<i>Bull. Soc. Suisse d'Anthrop.</i> 2(2), 1996, S. 1-11.
C. SIMON/Genf: MMD's; Korrelationsellipsen	-
U. WITTEWERT-BACKOFEN/Giessen: Anwendungskriterien paläodemographischer Auswertungsmethode	-
Vorträge vom 2. Dezember 1995:	
G. HOTZ/Basel: Topologische Verfahren zur morphometrischen Analyse	-
M. FRIESS/Bordeaux: Innovative Verfahren zur Erfassung osteomorphometrischer Daten	<i>Bull. Soc. Suisse d'Anthrop.</i> 3(1), 1997, S. 37-54.
C. SIMON/Genf: Beitrag zur Genfer Datenbank	-
A. CUENI/Aesch: Vorstellung des Datenbankprogramms AnthroData 7.5	<i>Bull. Soc. Suisse d'Anthrop.</i> 1(1), 1995, S. 76.

Zusammenstellung: Susi Ulrich-Bochsler

Impressum

Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie
Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie
herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie (SGA/SSA)
mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW)

Redaktion:
Susi Ulrich-Bochsler, Bern

Korreferentin (textes français):
Isabelle Gemmerich, Genève

Layout:
Andreas Cueni, Aesch

Bezugsort:
Redaktion: S. Ulrich-Bochsler, Historische Anthropologie, Medizinhistorisches Institut der
Universität Bern, Fabrikstrasse 29d, CH - 3012 Bern
Telefon 031/631 84 92. Fax 031/ 631 37 82. E-mail Ulrich@mhi.unibe.ch.

Herstellung: Atelier d'Impression de l'Université de Genève
Couverture: Montage Isabelle Gemmerich d'après un dessin original de Lucrezia Bieler-Beerli
(Zürich) pour l'exposition du Musée d'Anthropologie de l'Université de Zürich

Erscheinungsweise: Vom Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie erscheinen in
der Regel zwei Hefte pro Jahr (Frühjahr, Herbst), die zusammen einen Band bilden.

ISSN 1420 - 4835