

Zur Identifizierung menschlicher Knochen durch neutronenaktivierungsanalytisch bestimmte Spurenelementverteilungsmuster

P. Brätter, H. Geßner, B. Herrmann*, J. Lausch und U. Rösick

Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin Arbeitsgruppe Spurenelemente in der Biomedizin

* Lehrstuhl für Anthropologie der Georg-August-Universität, Göttingen

Zusammenfassung:

1945 wurde das Skelet eines frühen Homo sapiens von Comb Capelle in Berlin bei einem Bombenangriff zusammen mit anderen Skeleten zerstört. Mit Hilfe analytischer Methoden sollte versucht werden, aus den wiedergefundenen Knochenresten die zum Combe-Capelle-Mensch gehörenden Teile herauszufinden. Da einige Teile schon mit Hilfe vorhandener Abgüsse identifiziert wurden, gelang es mit Hilfe der Neutronenaktivierungsanalyse, weitere dazugehörige Stücke auf Grund eines übereinstimmenden Spurenelementverteilungsmusters zu sichern. Die Untersuchung vermittelt weiter Erkenntnisse über die Spurenelementgehalte in Knochen überhaupt sowie über die Schwankung der Elementkonzentrationen innerhalb eines Knochens.

Abstract:

In 1945 the skeleton of an early Homo Sapiens from Comb Capelle was destroyed by bombs at Berlin together with other skeletons. By means of analytical methods it was tried, to find among the remains those bones, belonging to the Comb Capelle man. For some pieces could be identified with existing moulds, further pieces could be identified because of an identical distribution of trace elements. This investigation provided further informations on the amount of trace elements in bone and of differences of elemental concentrations within one bone.

Ein außerordentlich schwieriges Problem der Personenidentifizierung ist die Trennung und richtige Zuordnung zweier oder mehrerer miteinander vermengter Skelete. Mit morphognostischen Methoden sind gute Erfolgsaussichten gegeben, sofern z. B. das Individualalter der miteinander vermengten Skelete erheblich voneinander abweicht. Stehen die Skelete aber auf derselben Skelet-Altersstufe und haben zudem noch dasselbe Geschlecht, so wird die Zuordnung einzelner Skeletelemente zu bestimmten Skeleten außerordentlich schwierig. Im Falle intakter Skeletelemente sind die Aussichten noch relativ gut, wenigstens die großen Extremitätenknochen der linken und rechten Körperseite einander zuzuordnen; viel problematischer ist aber bereits die Zuordnung der oberen zur unteren Extremität. Für die meisten kleineren Knochen des Skeletes sind die Bemühungen aussichtslos, das gilt auch für die Frage, welcher Schädel zu welchem postcranialen Skelet gehört oder vice versa.

In dieser Situation können ausgedehnte histologische Untersuchungen der betreffenden Skeletteile oder die UV-Fluoreszenz^{1,2}, eine gewisse Hilfe darstellen. Sie verbessern jedoch in der Regel das Ergebnis der morphognostischen Untersuchung nicht wesentlich. Im Rahmen der Wiederherstellungsarbeiten an dem wohlbekanntesten Skelet des frühen *Homo sapiens* von Combe Capelle³ hatten die Autoren das Problem zu lösen, welche Skeletteile zu diesem Fund gehören. Das Skelet war zusammen mit mindestens sechs weiteren (darunter der Neandertaler von Le Moustier) während eines Bombenangriffs auf das Museum 1945 in Berlin verbrannt und schließlich unter einer Trümmerschicht verschüttet. Die Skelete wurden 1955 durch HEBERER und KURTH⁴ geborgen. B. Hermann begann mit den Wiederherstellungsarbeiten am Skelet von Combe Capelle. Das Problem war, aus den zahlreichen verbrannten Fragmenten die Teile herauszufinden, die zu Combe Capelle gehörten.

Nachdem die einzelnen Skeletteile über größere Abschnitte zusammengesetzt waren, konnten einige Stücke mit Hilfe von Abgüssen als unzweifelhaft zu Combe Capelle gehörig identifiziert werden⁵. Eine Reihe von Fragmenten konnte mit morphognostischen Methoden nicht zugeordnet bzw. nur als „wahrscheinlich zugehörig“ bezeichnet werden, da weder entsprechende Abgüsse zur Verfügung standen noch bekannt war, ob diese Teile überhaupt bei der Auffindung des Skeletes 1909 vorhanden waren. Es war nun nach einer Methode zu suchen, mit deren Hilfe eine weitergehende Entscheidung für die Zugehörigkeit der fraglichen Fragmente herbeigeführt werden konnte und die im Gegensatz zur Inspektionsmethode erfahrungsunabhängig und daher im höchstmöglichen Maße reproduzierbar ist.

Wir untersuchten deshalb, ob aus den in Spuren auftretenden Elementen skeletspezifische Spurenelementsverteilungsmuster — vergleichbar mit „fingerprints“ — für eine Personenidentifizierung zu erhalten sind. Die Prämisse dabei war, daß der Spurenelementgehalt eines Skeletes neben dem physiologisch vorgegebenen Wert vom Lebensraum und den Ernährungsgewohnheiten des Individuums abhängen muß, bei prähistorischen Skeleten zusätzlich von den Kontaminationen während der Liegezeit. Weiterhin können auch Kontaminationen bei der Bearbeitung von Skeleten zu Konservierungszwecken eine Rolle spielen. Die zusammen mit Combe Capelle im selben Raum untergebrachten Funde stammten sämtlich aus unterschiedlichen geographischen Regionen. Für Combe Capelle konnte deshalb ein Spurenelementmuster angenommen werden, das sich von dem der anderen Skelete unterscheidet und somit als Identifizierungskriterium benutzt werden kann.

Da bis dahin derartige Untersuchungen in der Literatur fehlten, standen uns keine Vergleichsdaten zur Verfügung. Um die Signifikanz von Konzentrationsunterschieden der Spurenelemente an einzelnen Skeletabschnitten abzuschätzen, wurden Vergleichsproben von postcranialen Skeleten der Rudolf-Virchow-Sammlung (allopatrisch-allochrones Material, gesammelt überwiegend vor 1900) genommen. Insbesondere wurden dem Skelet eines Caygua-Indianers definiert über 50 Proben entnommen, um Informationen über die Änderung der Elementkonzentrationen in den unterscheidbaren Ossifikationszonen aller Langknochen zu erhalten.

Da archäologische Objekte einzigartig und unersetzbar sind, werden an die spurenanalytische Methode besondere Anforderungen gestellt. In der Regel stehen nur sehr geringe Probenmengen

zur Verfügung, die durch die angewandte Analysetechnik nicht sichtbar zerstört oder substantiell geändert werden dürfen. Die Methode der Wahl war deshalb die instrumentelle Neutronenaktivierungsanalyse (INAA), denn sie gestattet in Verbindung mit der hochauflösenden Gamma-spektrometrie durch Halbleiterdetektoren auch bei Einsatz sehr kleiner Probenmassen die gleichzeitige Bestimmung einer Vielzahl von Spurenelementen. Aus den Skeletteilen des Combe Capelle wurden 111 Proben mit einem Trepanbohrer (36 000 UpM) entnommen, in Quarzglasampullen eingeschmolzen und im Neutronenfeld des Berliner Forschungsreaktors aktiviert. Obwohl oft nur Massen von 5 bis 10 mg zur Verfügung standen, konnten durch Optimierung der Bestrahlungs- und Meßbedingungen die Gehalte von maximal 16 Elementen (Ca, Na, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Sb, Cs, La, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Th) in einer Probe bestimmt werden, ohne dabei die Knochensubstanz zu zerstören. Die INAA in dem hier praktizierten Umfang erfordert vor der Messung Wartezeiten bis zu vier Monaten, da der Phosphorgehalt des Knochens bei Langzeitaktivierungen im Reaktor eine hohe Störaktivität liefert, die nur relativ langsam (Halbwertszeit 14.3 d) abklingt.

Die Untersuchungen der Vergleichsskelete ergaben signifikante ortsspezifische Änderungen der Elementkonzentrationen, die mit strukturellen Gegebenheiten in Zusammenhang stehen — also offensichtlich Regeln folgen. So ist das Verteilungsmuster der Spurenelemente, wie in der Abb. 1 gezeigt, durch ausgeprägte Konzentrationslücken zwischen den Epiphysen- und Diaphysenwerten gekennzeichnet, wobei die Epiphysen stets den höheren Spurenelementgehalt aufweisen. Die Änderung der Spurenelementkonzentration über die Längsachse eines Langknochens (wie am Beispiel des Humerus in Abb. 2) zeigt, wie kritisch der Ort der Probenahme betrachtet werden muß, denn ein örtlicher Abstand von 1—2 cm ist bei einigen Elementen mit einer beträchtlichen Konzentrationsänderung verbunden und kann bis zu zwei Zehnerpotenzen betragen.

Nachdem diese Vorarbeiten Einblicke in das Spurenelementmuster des menschlichen Skeletes geliefert hatten, konnte die Identifizierung der Skeletelemente von Combe-Capelle vorgenommen werden. Eine wesentliche Hilfe, die während der Liegezeit erfolgte Kontamination abzuschätzen, waren Proben des Originalsedimentes vom Fundort in Südfrankreich, das sich noch im Foramen vertebrae einiger Brustwirbel befand. Durch Korrelation mit dem Spurenelementverteilungsmuster des Sediments konnte in mehreren Fällen ein zunächst zweifelhaft erscheinendes Verteilungsmuster der Knochenprobe auf eine Kontamination durch das Originalsediment zurückgeführt werden (Abb. 3). Damit erhöhte sich die Wahrscheinlichkeit ihrer Zugehörigkeit zum Combe-Capelle-Skelet.

Die Entscheidung über Zugehörigkeit oder den Ausschluß einer Probe war aber nicht vom Gehalt nur eines Elementes abhängig. Der Ausschluß war erst dann gegeben, wenn das Spurenelementmuster eines fraglichen Skeletteiles gegenüber dem Muster eines sicher zugehörigen Skeletteiles abwich und die Abweichung nicht mit dem Spurenelementmuster des Sedimentes korreliert werden konnte. Dabei war die jeweilige Art der Probe (Spongiosa, Compacta) wie auch das Skeletelement selbst zu berücksichtigen.

Die Spurenelementverteilungsmuster, aus denen Kriterien zur Unterscheidung der fraglichen Skeletteile abzuleiten waren, enthält die Abbildung 1. Von den 16 bestimmten Elementen eigneten sich als Indikatoren die Elemente Cr, Zn, Co, Fe und die Gruppe der Seltenen Erden. Besondere Aussagekraft hatten die Elemente Zn und Cr, deren Konzentration in verschiedenen Knochen weit über physiologischen Vergleichswerten lagen und vermutlich durch spezifische Kontaminationen in der postmortalen Zeit verursacht worden waren (Zn-Behälter?). Mit ihrer Hilfe war es möglich, aus dem geborgenen Knochenmaterial solche zu identifizieren, die „sicher nicht“ zum Combe-Capelle-Skelet, sondern möglicherweise zum Le Moustier gehören. Gegenüber den Vergleichsskeleten wurden bei dem Museumsmaterial bis zu hundertfach höhere Antimonwerte festgestellt. Diese hohen Konzentrationen konnten auf Kontaminationen zurückgeführt werden, die während des Museumsbrandes auftraten und von ostasiatischen Schmuckgegenständen herührten (persönl. Mitteilung Adrian v. Müller). Damit ließen sich aber die untersuchten Knochen als Ausstellungsort im Museum gehörig identifizieren. Darüber hinaus waren aus den Antimon-

werten Informationen über die relative Lage einzelner Knochen zum Brandweg zu erhalten bzw. welcher Teil — möglicherweise von Schutt — abgedeckt war.

Die Anwendung der INAA zu Zwecken der Identifizierung und Zuordnung von Skeletelementen erlaubte es in Verbindung mit morphologischen Kriterien, das postcraniale Skelet des jungpaläolithischen *Homo sapiens* von Combe Capelle weitestgehend wiederherzustellen (Abb. 4). Die Individualdiagnose am Originalskelet von Klaatsch und Hauser (1910) konnte mit guter Übereinstimmung nachvollzogen werden.

Literatur:

- 1 McKern, Th. (1958) U. S. Headquarters Quartermaster Research and Engineering Command, Technical Report EP-98,; Natick
- 2 Eymann, Ch. (1966) *American Antiquity* 31:109-112
- 3 Klaatsch, H.; O. Hauser (1910) *Prähistorische Zeitschrift* 1:273-338
- 4 Heberer, G. (1957) Bericht 5. Tagung Dtsch. Ges. Anthropologie 1956:67-72
- 5 Hermann, B. (1972) *Ausgrabungen in Berlin* 3:7-69

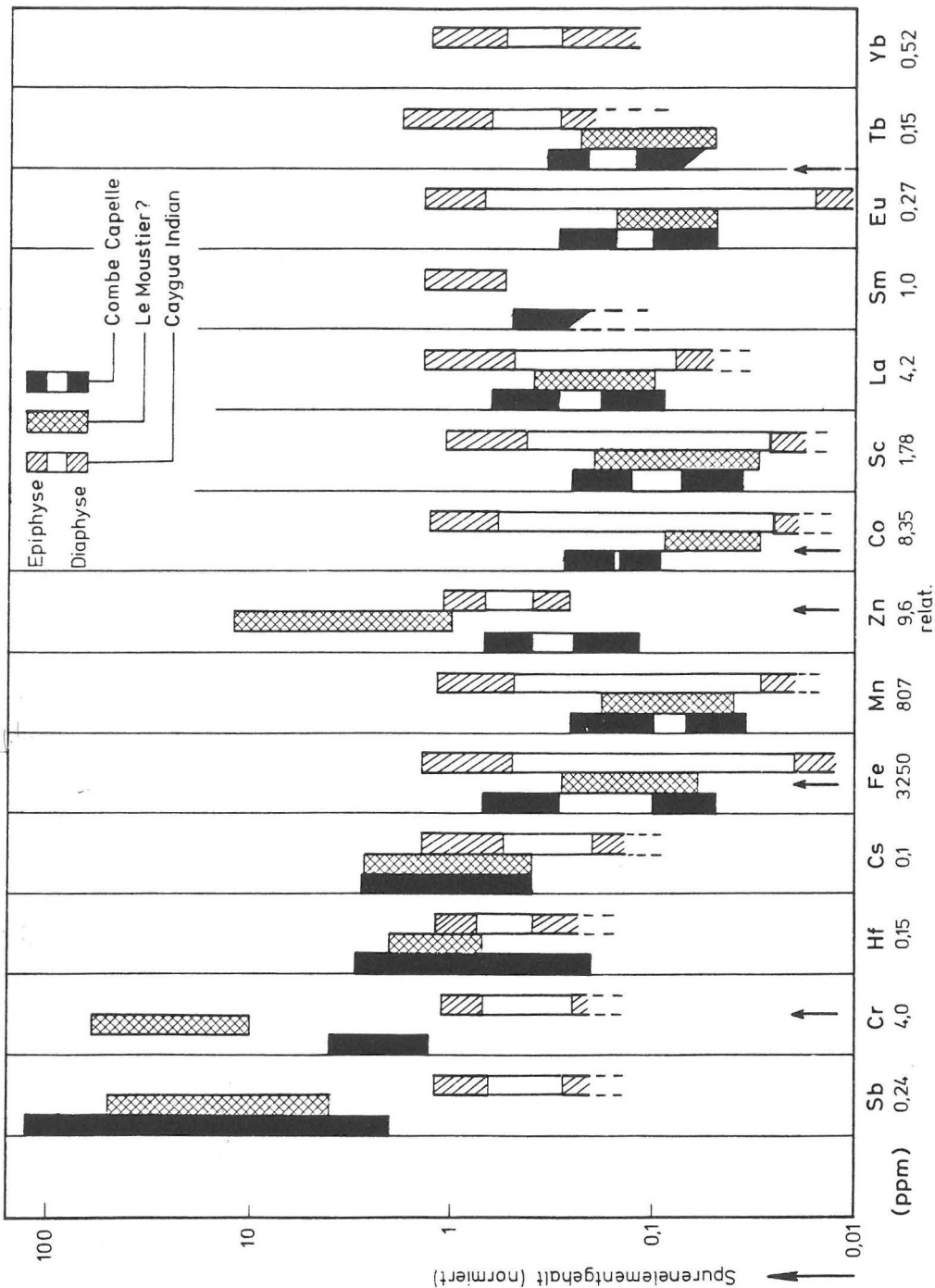


Abb. 1 Spurenelementverteilungsmuster der Skeletfragmente von Combe Capelle (morphologisch gesichert) und Le Moustier. Elementgehalte auf den jeweiligen Mittelwert der Langknochenepiphysen des Vergleichskelets bezogen. Pfeile kennzeichnen Unterscheidungsmerkmale zur Trennung des vermischten Materials.

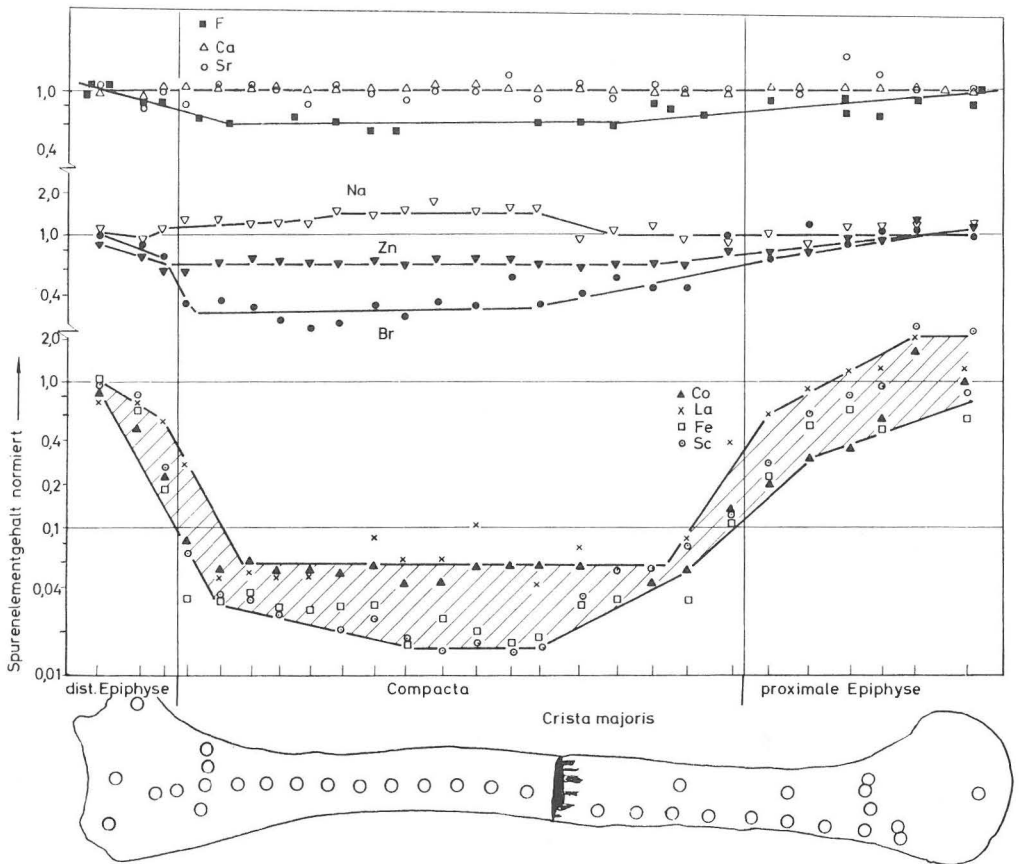


Abb. 2a

Abb. 2 a und 2 b Durchmusterung des linken Humerus des Caygua-Skelets.

- a) Axiale Änderung der Elementgehalte bezogen auf Werte der distalen Epiphyse
- b) Radiale Änderung der Elementgehalte in 1, 4, 16 und 27 cm Abstand vom distalen Ende.

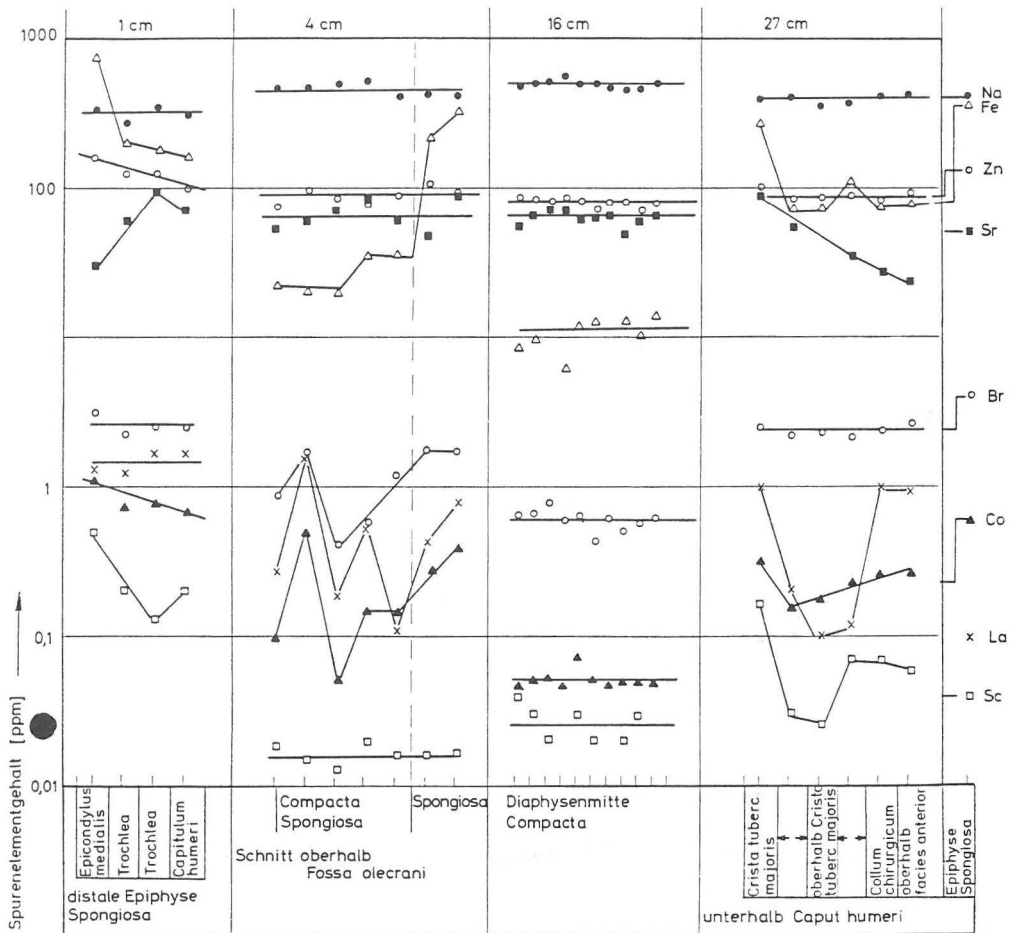


Abb. 2b

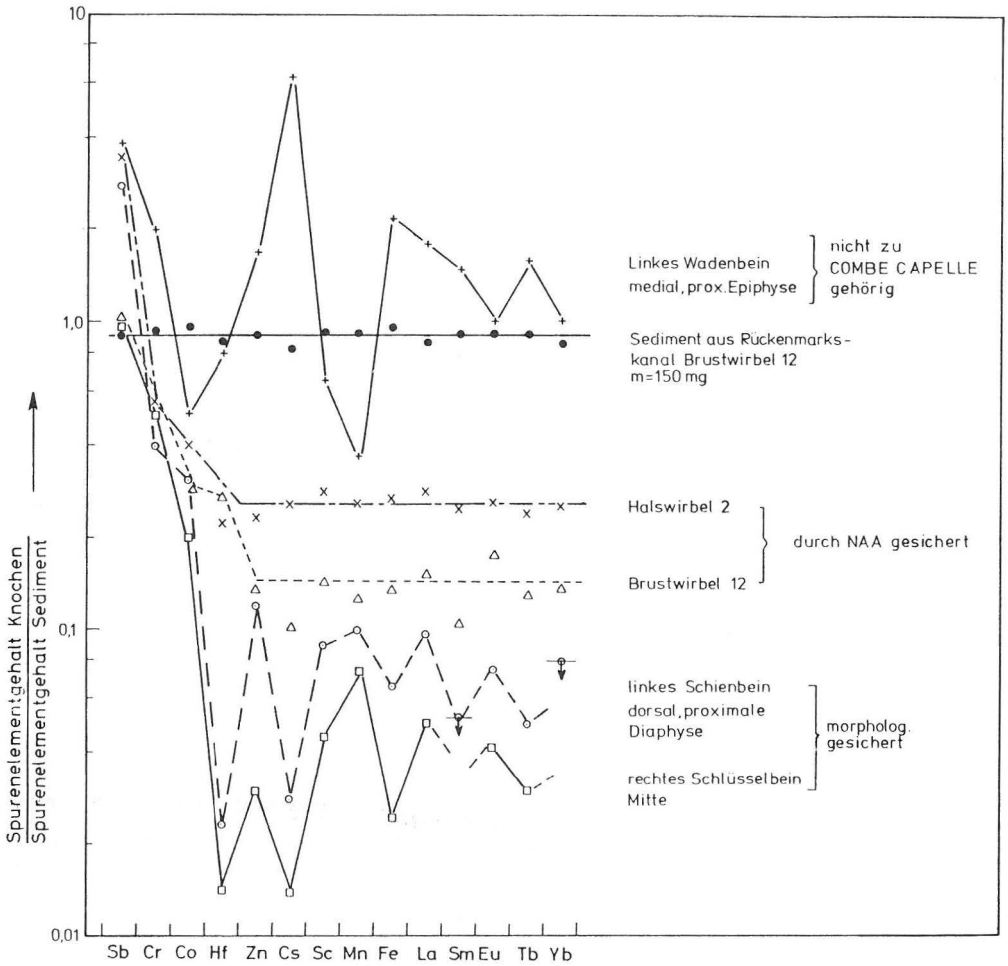


Abb. 3 Zuordnung von Skelettfragmenten des Menschen von Combe Capelle über die Korrelation mit dem Spurenelementverteilungsmuster des Originalsediments

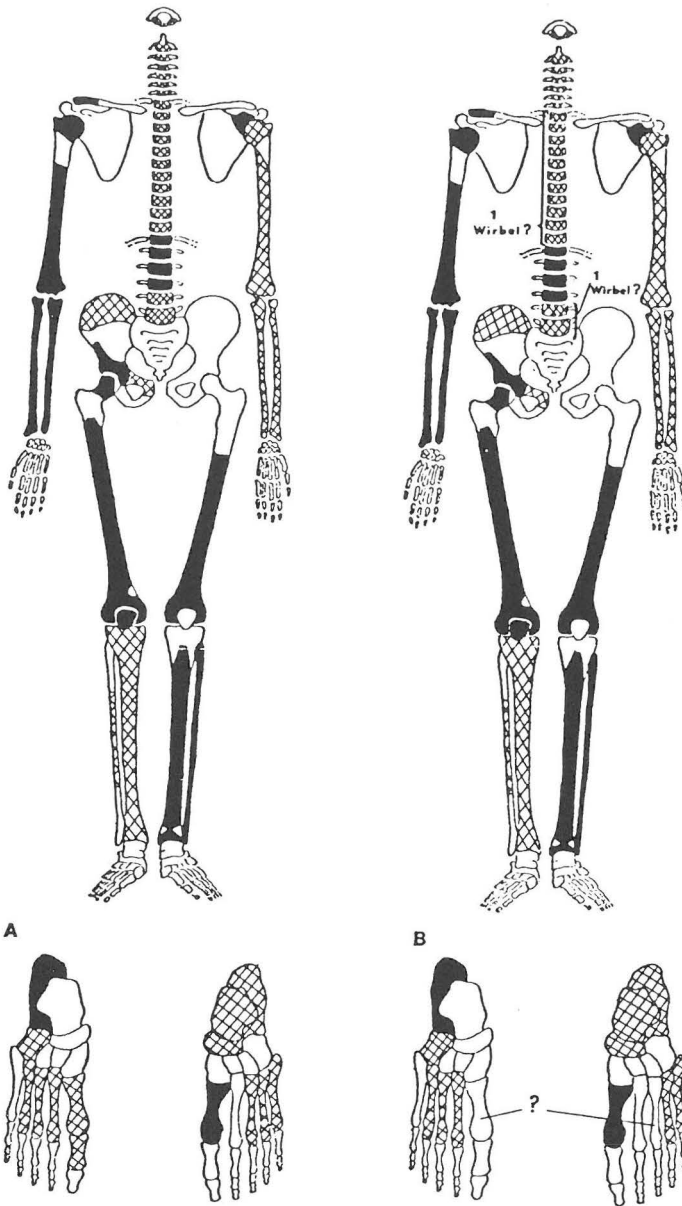


Abb. 4: Gegenüberstellung der Identifikationsergebnisse: Fig. A: Zugehörigkeit nach morphologischen Kriterien. Fig. B: Zugehörigkeit nach Ergebnissen der Neutronen-Aktivierungs-Analyse

- sicher zugehörige Skelelemente
- wahrscheinlich zugehörige (in Fig. A nach morphologischen Kriterien; in Fig. B nach Ergebnissen der NAA)
- ? Zugehörigkeit zweifelhaft

Wirbelsäule halbschematisch