

Aus dem Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Philipps-Universität
Marburg a. d. Lahn (Direktor: Prof. Dr. A. FÖRSTER).

Die histologische Differenzierung von Femurdiaphysen Neugeborener, Kleinkinder und kleiner Haustiere.

Von

A. FÖRSTER und H.-J. GOLDBACH.

Mit 14 Textabbildungen.

In der gerichtlichen Medizin steht man gelegentlich vor der Aufgabe, tierisches und menschliches Knochenmaterial einwandfrei zu unterscheiden. In den meisten Fällen handelt es sich um fragliche Knochen eines Neugeborenen oder Kleinkindes, die man hinsichtlich Größe und Umfang mit solchen von Kleintieren verwechseln kann. Recht oft ist die Entscheidung zuverlässig mit Hilfe der UHLENHUTHschen Präzipitinreaktion^{1,2} zu treffen. Diese sog. biologische Methode versagt aber dann, wenn verbrannte oder sehr stark verwesene Knochenteile vorliegen, da die Probe an das Vorhandensein spezifischer Eiweißsubstanzen gebunden ist. Wenn die biologische Reaktion versagt, können noch vergleichend anatomische Studien zum Ziel führen. Hierfür sind jedoch gut erhaltene, ganze Knochen erforderlich. Für die Fälle, in denen die vergleichende Anatomie durch eine zu weitgehende Zerstörung der Knochenform nun auch versagt, wurde von KENYERES 1903 ein weiteres Unterscheidungsverfahren angegeben. Er legte seinen Untersuchungen die histologische Feinstruktur des Knochens zugrunde, die in ihrer Anordnung auch nach stärkerer Hitzeeinwirkung erhalten blieb. Durch vergleichende Messungen der HAVERSSchen Kanäle und ihrer Lamellensysteme sollen spezifische Unterschiede zwischen Menschen- und Tierknochen ermittelt werden können. Diese Meßmethode ist mehrfach überprüft und teils zustimmend, teils ablehnend beurteilt worden (FANA, OLICHOW, GRASS, WADA, GIESE, BÜRGER, GEYER, HEY, SCHRANZ).

Im Jahre 1928 haben nun DEMETER, MÁTYÁS und GYÖRGY sich wiederum mit der Differenzierung menschlicher und tierischer Knochen befaßt. DEMETER verließ dabei den bisher eingeschlagenen Weg in der Überzeugung, daß die Messung feinerer Knochenstrukturen nicht zum Ziel führt. Er wies darauf hin, daß sich jedoch Menschen- und Tierknochen durch die proportionale Anordnung und Prägung ihrer Bauelemente unterscheiden lassen. SCHRANZ spricht ebenfalls von einer auffallenden Unterscheidung in der Knochenstruktur bei Mensch und Tier.

In der vorliegenden Arbeit haben wir nun versucht zu überprüfen, inwieweit die Untersuchungen DEMETERS in der forensischen Praxis verwertbar sind und die Unterscheidung menschlicher und tierischer Knochen möglich ist.

Material und Methodik.

In der 1. Untersuchungsreihe haben wir die Diaphysenmitten der Oberschenkelknochen von Neugeborenen und Kleinkindern sowie von kleinen Haustieren untersucht. Hierzu veranlaßten uns folgende Gründe:

1. Die Knochen kleiner Haustiere können infolge der etwa gleichen Dimensionen sehr leicht zu Verwechslungen mit solchen von Kindern der ersten Lebensjahre führen; zum anderen bereitet ihre Beschaffung im allgemeinen keine wesentlichen Schwierigkeiten.

2. Es mußte gewährleistet sein, daß genügend Material für Reihenuntersuchungen zur Verfügung stand. Wie bedeutsam diese Forderung ist, geht aus den erhobenen Befunden hervor, wiewohl die Zahl der untersuchten Objekte erst ein Anfang bedeuten kann.

3. Es wurden stets nur Femuren untersucht, um den Vergleichen analoge Knochen zugrunde legen zu können. Die Beschränkung auf die Diaphysenmitten geschah in der Annahme, daß sich hier die charakteristischsten Strukturen finden würden. Es ging uns auch zunächst einmal um die Feststellung, ob mittels der vorgenommenen Methode überhaupt brauchbare Ergebnisse erhalten werden können. Deshalb beschränkten sich unsere ersten Untersuchungen, über deren Ergebnisse hier erstmalig kurz berichtet werden soll, zunächst auf nicht verbrannte bzw. verweste Knochen. Die bisherigen Feststellungen haben uns aber ermutigt, die Untersuchungen auch auf andere Abschnitte und andere Knochen auszudehnen, worüber in einer späteren Mitteilung zu berichten sein wird.

4. Schließlich sei noch erwähnt, daß bei der Materialzusammenstellung nur gesunde Knochen berücksichtigt wurden. Durch pathologische Vorgänge (ostitische, sklerosierende, rarefizierende, rachitische, osteomalacische, maligne neoplastische usw. Prozesse) ergeben sich natürlich Veränderungen des Strukturbildes. Sie einer Bearbeitung zu unterziehen, dürfte vielleicht ein weiteres Aufgabengebiet darstellen.

Die Untersuchungen selbst wurden an Querschnitten aus Femurdiaphysenmitten durchgeführt. Zu ihrer Herstellung wurden die Oberschenkel-diaphysen im allgemeinen in toto zunächst einer 4stündigen Fixation in CARNOYScher Flüssigkeit (60 Teile Alkohol absol., 30 Teile Chloroform, 10 Teile Eisessig) unterworfen, da es sich im Laufe der Untersuchungen gezeigt hat, daß bei dem Versuch, schon vorher mittels einer feinen Säge schmale Scheibchen herauszusägen, bei den kleinen Knochen erhebliche Splitterungen eintraten. Das Heraussägen kleiner Stücke, durch das ein schnelleres Entkalken erreicht werden sollte, war nur bei dickeren,

stärkeren Knochen möglich. Hier wurde dann, ebenso wie bei der späteren Zerteilung der in toto fixierten und entkalkten Diaphysen mit einem Skalpell (s. unten), besonders sorgfältig darauf geachtet, daß Schrägschnitte vermieden wurden.

Der weitere Arbeitsgang war folgender (ROMEIS, ROULET):

1. Nach der Fixation Entkalkung in 7,5%iger Salpetersäure über 1—3 Tage. Diese Konzentration hat sich als optimal erwiesen. Will man die Entkalkungsdauer abkürzen, so geschieht dies am besten durch häufigeren Säurewechsel und freies Aufhängen der Knochenstücke in der Säure, damit diese gleichzeitig zu möglichst allen Oberflächen Zutritt hat. In sehr vielen Fällen genügte aber das einmalige Einwirken der Säure für 24 Std, um eine völlige Entkalkung zu erzielen. War dies nicht der Fall, so wurde die Säure mindestens einmal täglich gewechselt, solange, bis Entkalkung erreicht war. Bei Unterlassen dieses Säurewechsels ergibt sich die Notwendigkeit einer erheblich längeren Einwirkungsdauer der HNO_3 , wodurch der Knochen faserig wird und leicht Strukturveränderungen zustande kommen.

2. Nach Entkalkung wurden in toto fixierte und entkalkte Knochen mit einem Skalpell durch exakte Querschnitte in etwa 5 mm dicke Scheibchen zerteilt.

3. Darauf wurden die Scheibchen für 48 Std in eine 5%ige Na_2SO_4 -Lösung gebracht, um Verquellungen zu verhindern.

4. Anschließend erfolgte Spülung in fließendem Brunnenwasser über 48 Std. Es ist sehr wichtig, die genannte Zeit genau einzuhalten. Wird das Wässern vorher abgebrochen, so leidet infolge der dann meist erst ungenügend ausgewaschenen HNO_3 die Färbbarkeit erheblich. Bei länger dauernder Spülung traten wiederum gelegentlich Strukturveränderungen auf.

5. Nach dem Wässern wurden aus den Knochenscheibchen auf dem Gefriermikrotom etwa 10μ dicke Schnitte angefertigt.

6. Färben der Schnitte in DELAFIELD'schem Hämatoxylin. Dabei Färbedauer $\frac{1}{2}$ —1 Std je nach der gewünschten Intensität.

7. 24 Std Wässern der gefärbten Schnitte in Brunnenwasser, Aufziehen derselben auf Objektträger und Einbetten in Glycerin-Gelatine.

Unter Einbeziehung der an unserem Institut von STEIN behandelten Fälle wurden bisher 26 kindliche Femurdiaphysen bis zu einem Lebensalter von 4 Jahren untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse bei den verschiedenen Tierarten stützen sich auf die Untersuchung der Femurdiaphysen von 12 Enten, 16 Gänsen, 22 Hühnern, 9 Katzen, 16 Kaninchen, 7 Hunden und 8 Ziegen.

Ergebnisse.

I. Menschliche Knochen. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß für unsere Fragestellung den eigentlichen Bauelementen des Knochens (Gefäße, Knochenzellen, Lamellen usw.) eine nur untergeordnete Rolle zukommt. Sie sind bei Mensch und Tier die gleichen. Was für die hier geübte Differenzierungsmethodik in den Vordergrund rückt, sind Formelemente, d. h. die verschiedenartigen Erscheinungsformen der aus denselben Bauelementen aufgebauten Grundstruktur bei den verschiedenen Tierarten. Diese Formabwandlungen — neben ganz bestimmten Verschiedenheiten ihrer Lokalisation — sind es, die es durch ihr konstantes Auftreten ermöglichen, Differentialdiagnose zu treiben.

Es ist allerdings nicht so, daß nun z. B. eine Katze auf dem Querschnitt ganz allgemein die gleiche Knochenstruktur zeigt. Schließlich ist ein Querschnittsbild weitgehend von der Schnittziehung abhängig, die trotz äußerster Sorgfalt immer etwas variieren wird. Zum zweiten spielt, wie sich herausgestellt hat, die Schnitthöhe im Knochen (hier Diaphysenmitte) eine große Rolle. Schnitte durch Epiphysengegenden haben zwar, soweit es sich bis jetzt beurteilen läßt, wahrscheinlich ebenfalls einen zu definierenden Bauplan; doch darf man sie nicht ohne

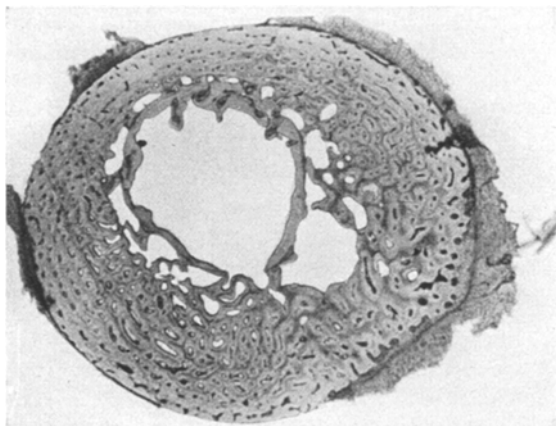


Abb. 1. 10fach vergrößert. Neugeborenes Kind, männlich. Mit Knochenoberfläche parallel verlaufende Schichtenstruktur. Blutgefäßlagen wechseln mit Faserknochenzonen ab. Schichtenstruktur an Crista femoris unterbrochen.

weiteres mit den Diaphysenmitten vergleichen. Immerhin ist die Fehlerbreite bei exakter Arbeit doch so gering, daß man von der Diaphysenmitte aus ein großes Stück nach proximal oder distal abweichen kann, ohne daß die hier zu gebenden differentialdiagnostischen Regeln dadurch unbrauchbar würden.

Bei dem Vergleich zwischen den untersuchten menschlichen und tierischen Knochen muß daran gedacht werden, daß es sich bei den menschlichen Knochen der Neugeborenen und Kleinkinder um ausgesprochen unreife Knochen handelt, an denen sich in der Folgezeit noch erhebliche An- und Abbauprozesse abspielen. Sie zeigen vom Knochen des erwachsenen Menschen sehr abweichende Struktur. Das Bild ändert sich sogar während der hier berücksichtigten Lebensalter. Zwar standen von den einzelnen Tieren zum Teil auch jüngere und ältere Individuen zur Verfügung, wobei sich gleichfalls gewisse, jedoch weniger ausgeprägte, offenbar altersbedingte Unterschiede ergaben.

Bei der Betrachtung eines Neugeborenenfemurs (Abb. 1) imponiert eine mit der Oberfläche des Knochens parallel verlaufende Schichten-

struktur, die die ganze Dicke der Compacta einnimmt und in ihrer Regelmäßigkeit eigentlich nur an einer Stelle des Gesamtumfanges, wahrscheinlich der Gegend der Crista femoris, unterbrochen wird (Abb. 1 und 2). Hier ist die Struktur unregelmäßiger. Diese Schichtung, die im Übersichtsbild besonders eindrucksvoll zur Darstellung kommt, ist bedingt durch die Wachstumsvorgänge im Knochen, insonderheit durch die vom Periost her erfolgende Knochenapposition im Zusammenhang mit gleichzeitigen Resorptionsvorgängen vorwiegend im Zentrum.

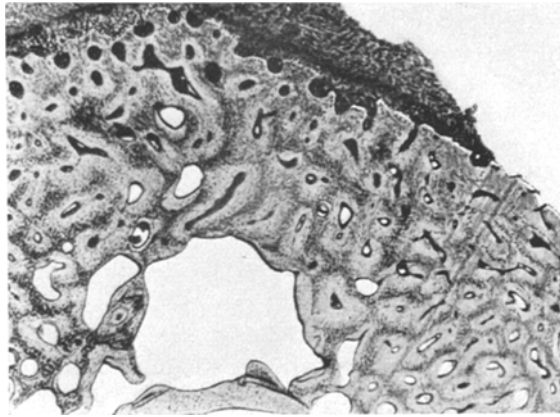


Abb. 2. 20fach vergrößert. Neugeborenes der Abb. 1. Gegend der Crista femoris. Durch Resorption entstandene große Sinus und HAVERSsche Spatien. Daneben bereits Osteone verschiedenen Reifegrades.

Sie ist unseres Erachtens ein Charakteristikum für einen in der Entwicklung befindlichen Knochen, so daß wir hier von einer „Entwicklungsschichtung“ sprechen möchten. Dies auch deshalb, weil sie — im Gegensatz zu der dann sinngemäß als „habituelle Schichtung“ zu bezeichnenden Schichtungsstruktur, wie sie sich bei den untersuchten Tieren teilweise findet — als ein Entwicklungsprinzip im Verlaufe der weiteren Entwicklung und abhängig von ihr in kennzeichnender Weise umgestaltet wird, bis sie schließlich bei reifen Knochen ganz verschwindet oder doch nur mehr in rudimentären Resten nachweisbar bleibt. Die habituelle Schichtung erwachsener Tiere hingegen ist etwas Bleibendes und stellt ein Bauprinzip des Tierknochens dar.

In dem frühen Entwicklungsstadium ist das Auffallendste an dieser Entwicklungsschichtung die mehrfache Aufeinanderfolge von zirkulär verlaufenden Blutgefäßlagen, die von Zonen faserigen Knochens getrennt werden (Abb. 1). Dieser Faserknochen, auch als geflechtartiger Knochen bezeichnet, ist gegenüber dem lamellären als primitiver anzusehen. Bei ihm durchkreuzen sich die Fibrillenbündel nach allen Richtungen etwa

wie bei einem derben Bindegewebe und lassen jegliche Anordnung zu in sich geschlossenen Systemen, d. h. also zu Lamellen, vermissen (BENNINGHOFF). Er tritt in den frühen Stadien der Knochenentwicklung des Menschen als jüngstes Knochengewebe auf und wird im Laufe der Entwicklung weitgehendst durch Lamellenknochen ersetzt.

An den Blutgefäßgürteln fällt auf, daß bereits beim Neugeborenen deutliche Unterschiede in der Größe der einzelnen lamellenlosen Blutaderkanäle bestehen. Die englumigsten finden sich in der Peripherie, nach dem Zentrum hin nimmt ihre Weite nahezu kontinuierlich zu und erreicht ganz zentral ein Mehrfaches im Vergleich zu den peripheren. Dabei ist die Verlaufsrichtung der einzelnen Kanäle im Raum als vorwiegend zirkulär und longitudinal zu erkennen. Seltener trifft man schräg verlaufende und radiär angeordnete, die einzelnen Gürtel senkrecht untereinander verbindende Gefäße. Im ganzen haben wir also — räumlich gesehen — ein Netzwerk von Blutgefäßen vor uns.

Die Ausbildung der späteren bleibenden Osteonstruktur des reifen menschlichen Knochens nimmt ihren Anfang von einer die bisher skizzierte Schichtungsstruktur unterbrechenden Stelle, wahrscheinlich, wie schon erwähnt, von der Gegend der Crista femoris. In den Abb. 1 und 2 findet man bereits den Anfang dieser Entwicklung. Man sieht hier mehrere sehr große, zentral gelegene Räume, einige von ihnen schon mit zumeist noch spärlichen Lamellenlagen umgeben (Sinus bzw. Haverssche Spatien, s. unten), weiterhin — an der bezeichneten Stelle schon fast die gesamte Corticalisdicke einnehmend — zum größten Teil aber noch unreife Osteone. Dabei sind alle Übergänge von solchen mit nicht sehr weitlumigem, oft exzentrisch gelegenen Blutleiter und erst verhältnismäßig wenigen Lamellenlagen (unreife Osteone) bis zu solchen mit ganz engem, von vielen dicht aneinander gelagerten Lamellen umgebenem Blutgefäß (reife Osteone) vertreten.

Außerdem lassen die beiden Abbildungen erkennen, wie die Weiterentwicklung ganz gesetzmäßig erfolgt. Im Verlaufe des Dickenwachstums des Knochens setzen zentral umfangreiche Resorptionsvorgänge ein (SCHWALBE), während peripher die vom Periost her erfolgende Apposition neues Knochenmaterial, neue Entwicklungsschichten liefert. Durch die erwähnten zentralen Resorptionsprozesse entstehen hier, und zwar ausgehend von der oben beschriebenen Stelle der Crista femoris und sich in einer zentralen Ringzone weiter ausbreitend (Abb. 1), aus den Aderkanälen anfangs auch weiterhin noch lamellenlos bleibende weite, vielfach gebuchtete Räume, die sog. „Sinus“. Diese werden zum Teil durch weitere Resorption ihrer Wandung in die sich dadurch ständig vergrößernde Markhöhle mit einbezogen, um andere treten aber sie umgebende Lamellenlagen auf, die in der Folge zunehmend zahlreicher werden. Solche Gebilde wurden als „Haverssche Spatien“ bezeichnet.

Noch bevor sich ein völlig geschlossener, zentral gelegener Ring solcher Sinus und HAVERSscher Spatien ausgebildet hat, entstehen nun, wiederum zuerst an der Ausgangsstelle der genannten Umwandlungsvorgänge und von hier in der gleichen Weise weiter fortschreitend, die ersten Osteone. Sie sind zuerst noch unreif, wandeln sich schließlich aber in ausgereifte HAVERSsche Systeme um. Man gewinnt den Eindruck, als ob dies dadurch geschehe, daß die wenigen um die HAVERSschen Spatien angelegten Lamellenlagen an Zahl immer mehr zunehmen und dabei die anfänglich sehr weiten Bluträume mehr und mehr einengen.

Diese Osteone wahren anfangs noch sehr deutlich den Charakter der zirkulären Lagerung, entsprechend der kreisförmigen Anordnung der ursprünglich vom Periost gebildeten Schichten. Wenn später beim reifen Knochen von diesem kreisförmigen Verlauf der Osteone nur wenig übrigbleibt und beim Knochen des Erwachsenen, abgesehen von gelegentlichen eng begrenzten Gebieten, kaum ein Überrest davon zu sehen ist, so ist das auf die während des ganzen Lebens stattfindenden Umbauprozesse zurückzuführen. In solchen Umbauzonen aber findet man wieder die hier beschriebenen, für Anbau- und Umbildungsvorgänge charakteristischen Gebilde: Sinus, HAVERSsche Spatien, unreife Osteone und auch lamellenlose Knochen (AEBY).

Schließlich kommt eine die Markhöhle rings umgebende Schicht, aus Sinus, HAVERSschen Spatien und Osteonen verschiedenen Reifegrades bestehend, zustande. In ihrem Bereich ist die typische Struktur der Entwicklungsschichtung früher Stadien verwischt. Es treten jetzt an die Stelle der Faserknochenzonen die erwähnten Osteonreihen. Jedoch halten sich die Osteone nicht ausschließlich an eine reihenförmige Anordnung, sondern finden sich auch ohne deutliche Beziehung zu einer Schichtung. Gleichzeitig ist erkennbar, wie im Zuge der fortschreitenden Umwandlung der Entwicklungsschichtung in die terminale Osteonstruktur nunmehr auffallend zahlreich — mehr nach der Mitte der Compacta zu — Sinus, HAVERSsche Spatien und schließlich Osteone auftreten, während peripher die Apposition weitergeht.

Die Abb. 3 (Fall 7, 14 Monate altes Kleinkind) zeigt, wie diese zentrale Lage späterhin einen ziemlich breiten Anteil der Corticalis ausmacht. Auch jetzt gehen aber hier die Resorptionsprozesse weiter; ein Teil der entstehenden Sinus geht in die ständig an Größe zunehmende Markhöhle ein. In der Abb. 3 fallen stellenweise besonders deutlich etwa in der Mitte zwischen den einzelnen Blutgefäßgürteln gelegene, stärker angefärbte Grenzlinien auf. Sie weisen darauf hin, daß das „genetische Grundelement“ (DEMETER und MATYAS) der Knochenentwicklung in eben diesen Blutgefäßgürteln zu suchen ist, denen sich nach innen und nach außen je die Hälfte der folgenden Faserknochenschicht anschließt.

In der Abb. 4 (Fall 10, 20 Monate altes Kind) sieht man das ständige Fortschreiten des geschilderten Entwicklungsganges. In einem peripheren Bereich findet man auch hier neu entstandene Entwicklungsschichten jüngeren Gepräges. Die übrige Compacta zeigt in erheblicher

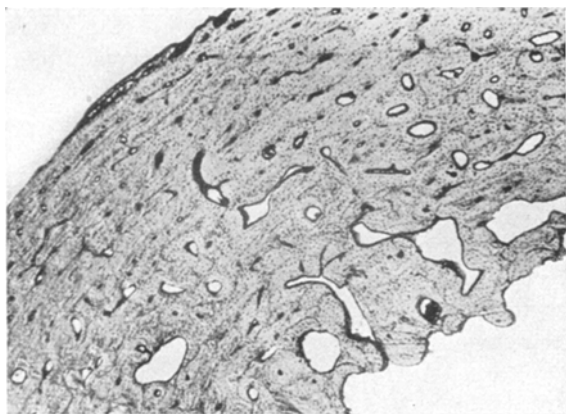


Abb. 3. 15fach vergrößert. 14 Monate, männlich. Innere Lage aus Sinus, HAVERSsche Spatien und Osteonen nimmt breiten Compactaanteil ein. Deutliche Grenzlinien im peripheren Bereich.

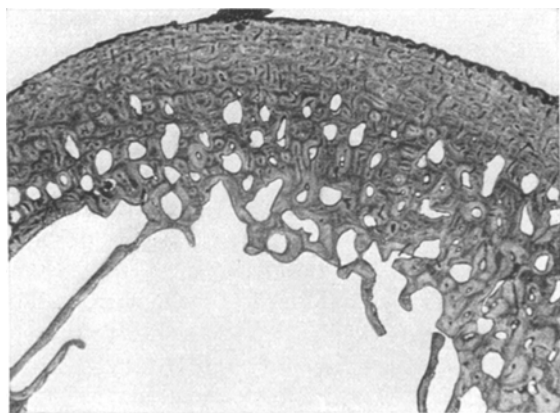


Abb. 4. 10fach vergrößert. 20 Monate, weiblich. Fortschreiten der Ausbildung der reifen Knochenstruktur. Compacta bereits weitgehend von osteontischem Bau. Noch zahlreiche große Bluträume.

Ausdehnung neben Sinus und HAVERSschen Spatien bereits osteontischen Bau.

Im Alter von 4 Jahren war schon nahezu die ganze Compactadicke von Osteongewebe gebildet. Größere Sinus treten zahlreicher nur noch nahe der Markhöhle auf, das ist das Gebiet, in dem sich bei der weiterhin erfolgenden Dickenzunahme des Knochens der umfangreichste Teil der

Resorptionsprozesse abspielt. Das übrige Querschnittsbild erscheint beim Vergleich mit den oben beschriebenen Fällen sehr viel kompakter, geschlossener. Aber auch jetzt bleibt die zum Teil noch weitgehende Unreife der neu gebildeten Osteone deutlich. Vom Periost gebildete junge Entwicklungsschichten werden kontinuierlich in die osteontische Struktur übergeführt.

Zusammenfassend ist festzustellen: Der Neugeborenenknochen ist gekennzeichnet durch das Vorhandensein einer sog. „Entwicklungsschichtung“. Ihre Ausbildung und Gestaltung wird bedingt durch Wachstums- und Umbildungsvorgänge. Sie wird im weiteren Geschehen in charakteristischer Weise umgestaltet und verschwindet beim Erwachsenenknochen ganz oder doch nahezu ganz. Darin unterscheidet sie sich grundsätzlich von der „habituellen Schichtung“ vieler Tierknochen. Letztere ist ein Bauprinzip, also etwas Bleibendes. In einer Reihe von Fällen kommt sie sogar erst mit vorrückendem Alter voll zur Ausbildung.

Die Erkennung einer Entwicklungsschichtung ist bei Berücksichtigung der sie auszeichnenden Momente sehr leicht. Diese sind:

1. Die einzelnen aufeinanderfolgenden Schichten haben enge Beziehung zum Gefäßsystem und werden in frühen Entwicklungsstadien — in Querschnittsbildern im peripheren Bereich — gebildet von je einem Blutgefäßgürtel, dem sich nach innen und nach außen je die Hälfte der nach beiden Seiten folgenden Faserknochenzonen anschließt.

2. In unterhalb der peripheren Schichten gelegenen Gebieten — in Querschnittsbildern die zentrale Region und gegebenenfalls auch die Mitte der Compacta einnehmend — treten in großer Zahl bestimmte, zumindest in dieser Häufigkeit für Entwicklungsvorgänge charakteristische Elemente auf, und zwar: a) *Sinus*, das sind große, vielfach gebuchtete, lamellenlose Räume; b) *HAVERSSche Spatien*, das sind wie Sinus gestaltete Räume, aber von spärlichen Lamellenlagen umgeben; c) unreife *Osteone*, das sind *HAVERSSche* Systeme mit deutlich weitlumigem Blutleiter und noch verhältnismäßig wenigen Speziallamellen. Neben unreifen Osteonen finden sich auch stets schon reife mit engem Blutleiter und einem ausgebildeten Speziallamellensystem.

3. Die Grenzen zwischen den einzelnen Entwicklungsschichten sind — im Gegensatz zu den bleibenden Schichten einer habituellen Schichtung — im allgemeinen unscharf und am besten in Übersichtsbildern zu erkennen. Sie sind, eingedenk der fortschreitenden Entwicklung, außerdem nicht einheitlich. Während anfangs zwischen die Blutgefäßgürtel Faserknochenzonen eingelagert sind, sind es später die im Beginn noch die zirkuläre Anordnung wahrenden Osteone, die als Schichtlagen imponieren. Die Abgrenzung so gestalteter Bilder von reifen tierischen Osteonreihen bzw. von einer habituellen Schichtung ist aber auch dann noch durch die gleichzeitige Anwesenheit sinuöser Strukturen leicht.

II. Tierische Knochen. Gegenüber der „Entwicklungsschichtung“ an den Oberschenkelknochen Neugeborener und Kleinkinder fanden wir bei tierischen Knochen eine Schichtung der Gesamtstruktur. Diese schon oben als „habituelle Schichtung“ bezeichnete Eigenart des Aufbaues reifer Tierknochen ist im Gegensatz zu der beschriebenen Entwicklungsschichtung der menschlichen Neugeborenen- und Kleinkinderknochen ein für bestimmte Tiere charakteristisches und bleibendes Merkmal. Sie unterscheidet sich auch sonst sehr wesentlich von der Entwicklungsschichtung:

1. Die habituelle Schichtung ist ein Bauprinzip des Knochens. Nicht selten gelangt sie — ganz im Gegensatz zu dem Verhalten der Entwicklungsschichtung — sogar erst bei reiferen Knochen einer bestimmten Tierart zur vollen Ausbildung.

2. Die Schichtausbildung erfolgt *nicht* wie bei der Entwicklungsschichtung in Abhängigkeit vom Gefäßsystem. Blutgefäßgürtel spielen hier keine Rolle, sondern die Schichten sind aus bestimmten Osteontypen aufgebaut.

3. Sinus, HAVERSSche Spatien und unreife Osteone treten nur ganz vereinzelt an umschriebenen Stellen auf (sog. Umbauzonen).

4. Die Schichten sind zumeist durch ziemlich scharfe Grenzen voneinander abgesetzt.

Eine habituelle Schichtung kann unter Berücksichtigung ihrer Kennzeichen und der für die Entwicklungsschichtung gegebenen bezeichnenden Momente selbst bei nur oberflächlicher Betrachtung auch vom Ungeübten in keinem Falle mit letzterer verwechselt werden.

Die von uns untersuchten Tierarten zeigten folgende charakteristischen Merkmale:

1. *Ente.* Das histologische Bild ist in den verschiedenen Lebensaltern unterschiedlich, wenn auch jeweils kein völlig andersartiges Gesamtbild vorliegt.

Bei *jüngeren Tieren* ist die Compacta zum Großteil aus kleinen runden Osteonen aufgebaut, die zur Peripherie hin kontinuierlich an Größe abnehmen. An manchen Stellen jedoch finden sich dicht an der Markhöhle Ansammlungen von Riesenosteonen. Letztere sind polygonal und durchschnittlich von der 10–20fachen Größe der übrigen. Diese grotesken Differenzen, die man als Auftreten zweier verschiedener Osteontypen bezeichnen könnte, wurden bei den untersuchten menschlichen Knochen nie gefunden. Die untersuchten jüngeren Enten entsprachen alle der gegebenen Charakterisierung. Abweichungen zeigten sich nur in der Anzahl der Riesenosteone, die teilweise nur spärlich, in anderen Fällen umfangreicher vorhanden waren.

Bei *älteren Tieren* nehmen die zentralen Ansammlungen von Riesenosteonen unter zirkulärer und radiärer Ausdehnung und auf Kosten der kleinen Osteone zu. Man findet diese Entwicklung mit steigendem Alter auch bei anderen Tierarten. Unseres Erachtens bedeutet dies eine Zunahme der statischen Festigung bei wachsender Inanspruchnahme und Belastung des Knochens. Schließlich können im Extrem zwischen einer beachtlich dicken Schicht innerer und äußerer General-lamellen fast nur mehr Riesenosteone liegen. Dieses Extrem wurde allerdings nur

in einem Falle beobachtet, die übrigen älteren Tiere hatten noch einen schmalen Streifen von der Struktur jüngerer Enten unterhalb der äußeren Generallamellen.

2. *Gans*. Das für die Ente Gesagte gilt in gleicher Weise für die Gans. Irgendwelche Abweichungen oder Besonderheiten waren bei den untersuchten Tieren, die wiederum verschiedenen Lebensaltern angehörten, nicht vorhanden. Eine

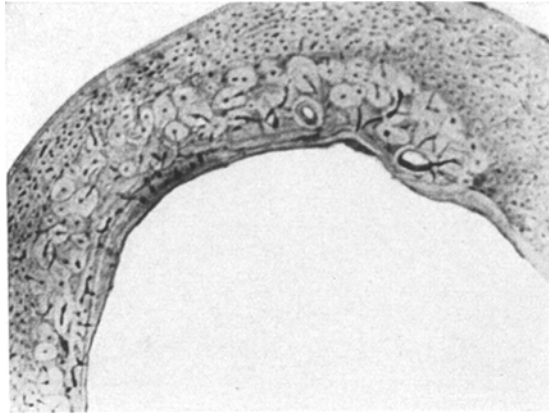


Abb. 5. Junge Ente (15fach).

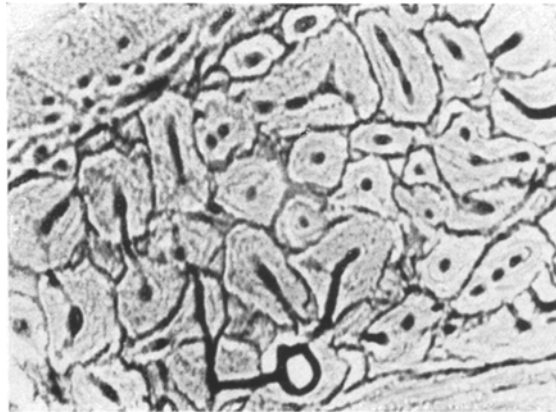


Abb. 6. Alte Gans (20fach).

Unterscheidung dieser beiden Vögel untereinander halten wir für sehr schwierig, wenn nicht für unmöglich. Das erscheint verständlich, wenn man bedenkt, daß es sich um sehr nah verwandte Wasservögel handelt, die im Tierreich derselben Ordnung angehören.

3. *Huhn*. Auch beim Huhn bestanden deutliche Altersunterschiede. Im Gegensatz zur Ente und Gans sind jedoch bei jungen Tieren keine Riesenosteone vorhanden.

Beim *jüngeren Huhn* beherrschen zirkulär verlaufende, langgestreckte ovale bis lineare Osteone die ganze Corticalis. Kürzere ovale und kleine runde Osteone

sind gleichmäßig zwischen die vorgenannten Formen eingestreut. Schichten sind nicht abgrenzbar.

Bei *älteren Tieren* treten um die Markhöhle herum Riesenosteone auf, die deutlich von der Gesamtheit der kleinen Osteone abstechen. Diese Riesenosteonschicht wird bei *alten Tieren* zirkulär und oft erheblich breit.

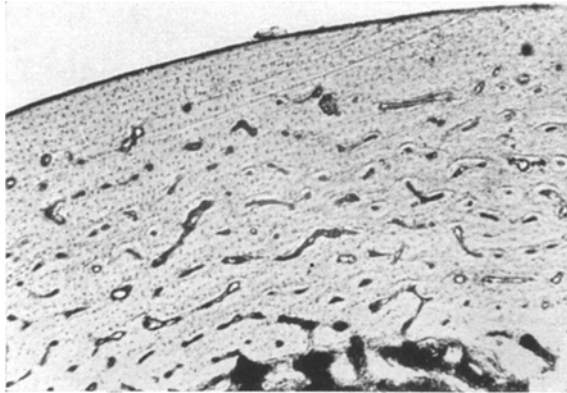


Abb. 7. Junges Huhn (20fach).

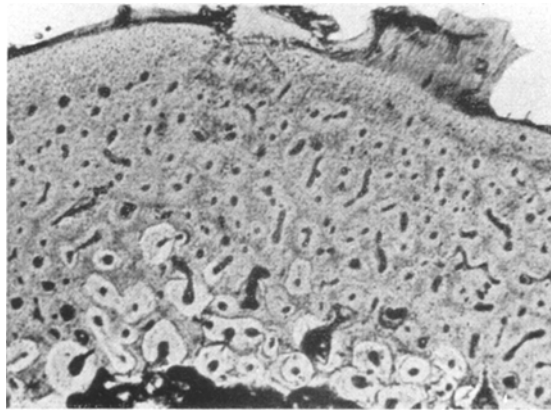


Abb. 8. Älteres Huhn (20fach).

4. *Katze*. Den Bau der Katzencorticalis könnte man exzentrisch fein geschichtet nennen. Stets ist eine dem Zentrum nahe gelegene Schicht vorwiegend runder, großer Osteone ausgebildet, die zum Lumen wie auch zum Gesamtquerschnitt exzentrisch liegt. Um sie herum legen sich, eingebettet in Faserknochen, Reihenosteone bzw. Osteonreihen. Die Lage dieser Reihen ist teils durch die der zentralen Osteonschicht gleichfalls exzentrisch, doch sieht man an manchen Stellen, daß sie auch „ohne Not“ exzentrische Tendenz haben. Diese Eigentümlichkeit fand sich bei allen untersuchten Tieren. Verschiedenheiten ergaben sich nur in bezug auf die Ausdehnung der Schicht großer Osteone und die Form der in den Osteonreihen vorhandenen Osteone, die bei manchen Tieren ausschließlich rund,

bei anderen zum Teil auffallend langgestreckt waren. Gelegentlich kommen in diesen Osteonreihen auch große, runde Osteone vor, wie sie im allgemeinen nur in der zentralen Schicht auftreten, was aber den Gesamteindruck nicht beeinträchtigt.

Diese außerordentlich charakteristische Struktur kann wohl nie zu Verwechslungen führen.

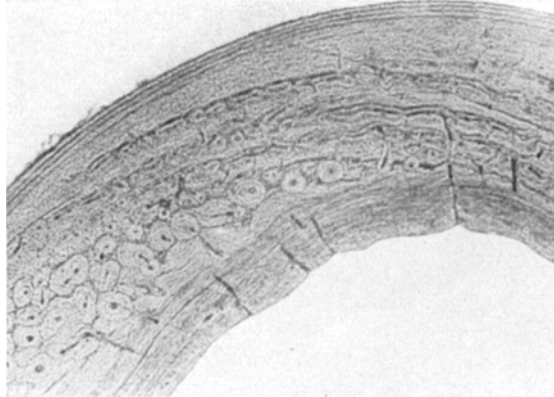


Abb. 9. Katze (15fach).

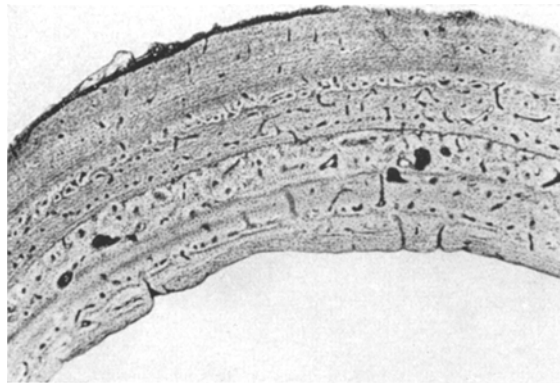


Abb. 10. Altes Kaninchen (15fach).

5. *Kaninchen.* Tiere verschiedenen Alters zeigten wiederum Unterschiede, die auch hier konstant auftraten. In keinem Fall waren Bilder vorhanden, die auffällige Abweichungen zeigten.

Bei *jüngeren Tieren* sehen wir eine 2schichtige Corticalis. Die innere Schicht wird durch Sicheln oder Ringe gebildet, die aus allen möglichen Osteonformen bestehen: große runde, ovale, langgestreckte platte und vielfach gestaucht erscheinende Osteonformen, so daß diese Schicht oft einen ganz eigenartigen „gyrösen“ Gesamteindruck macht. Die periphere Schicht wird von Faserknochen gebildet, in dem das auffallendste Element zahlreiche kleine runde, bei stärkerer Vergrößerung wie ausgestanzte, lamellenlose „Sinus“ aussehende Gebilde sind.

Bei älteren Individuen wird diese Faserknochenschicht zugunsten der zentralen reduziert. In der peripheren Schicht kann man dann — besonders deutlich bei alten Tieren — reihenförmige Osteonlagen entdecken, so daß das Bild einer mehrfachen feinen Schichtung entsteht. Auffallend ist, daß die Osteone dieser Reihen sehr klein sind und nie die Größe derer erreichen, die man in der um die Markhöhle

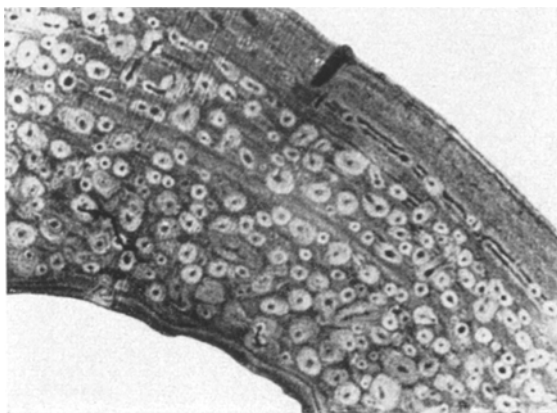


Abb. 11. Hund (10fach).

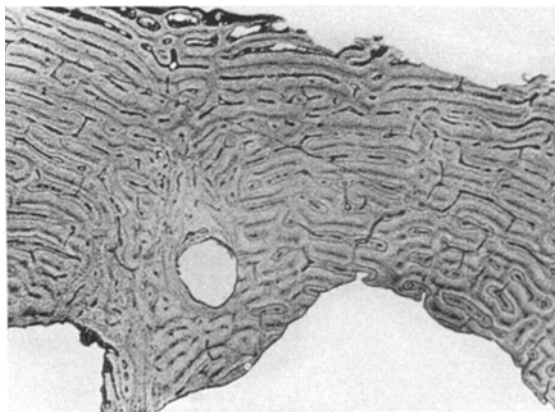


Abb. 12. Junge Ziege (15fach).

ausgebildeten Schicht findet. Letztere sind im Vergleich ihrer Proportionen mit denen der peripheren kleinen Osteone eigentlich auch als Riesenosteone zu bezeichnen. Sie sind allerdings nur etwa 4—6mal größer als die peripheren, so daß der Unterschied nicht so eklatant wie bei den beschriebenen Vögeln in die Augen fällt.

6. *Hund*. Es sei vorweggenommen, daß mit der folgenden Charakterisierung noch nicht geklärt ist, welche Abweichungen stark unterschiedlicher Hunderassen auftreten können. Es handelte sich bei den von uns untersuchten Tieren um keine reinen Rassen. Die Tiere waren von mittlerem Alter und von verschiedener Größe.

Der Hundeoberschenkel zeigt ein immer wiederkehrendes Charakteristikum: Die Compacta wird von reifen, regelmäßigen, nicht besonders dicht gelagerten und ziemlich gleichgroßen runden Osteonen zum Großteil beherrscht. Daneben treten aber immer Zonen von „primitiver“ Bauart auf, in denen lange, lineare Osteone von zirkulärer Verlaufsform hervorstechen. Auch Reihenosteone bzw. Osteon-



Abb. 13. Junge Ziege (20fach).

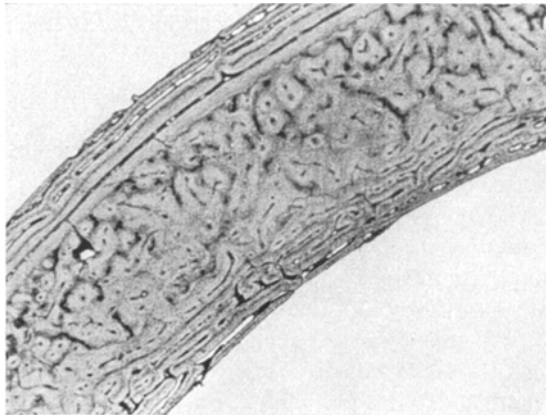


Abb. 14. Ältere Ziege (10fach).

reihen, wie sie schon beim Kaninchen und bei der Katze zu finden waren, sind in solchen „Primitivzonen“ vertreten. Diese „Primitivzonen“ waren in jedem untersuchten Fall vorhanden, mitunter an mehreren Stellen des Gesamtumfanges, bei einem Tier jedoch nur an einer einzigen Stelle. Zudem erwies sich das Ausmaß solcher Zonen als sehr stark wechselnd, meistens nur einen mehr oder minder breiten Compactaanteil einnehmend. In einem Falle war hingegen die gesamte Corticalisdicke über einen größeren Anteil von primitivem Bau.

7. *Ziege.* Wiederum waren, wie bei den meisten untersuchten Tierarten, Unterschiede in Abhängigkeit vom Alter vorhanden. Jüngere und ältere Tiere unter sich hatten jedoch völlig übereinstimmende Bilder.

Die Compacta von ganz jungen Ziegen (6—7 Wochen alt) ist durchweg von langen, zirkulär verlaufenden, linearen Osteonen aufgebaut. Zwischen ihnen liegen unauffällige und logischerweise kürzere, da die Linearosteone mit rechteckigen, flachen Schachteln vergleichbar sind, die abwechselnd mit der kürzeren bzw. längeren Seite horizontal liegen. Die Rundosteone, die man stellenweise vereinzelt sieht, sind offenbar Abschnürungen von langen.

In der Compacta schon älterer Ziegen (12—15 Wochen alt) ist wiederum das Prinzip verwirklicht, daß die „Primitivstruktur“ zugunsten eines stabileren Gefüges reduziert wird. Es treten „gyröse“ Sicheln auf, die die Linearosteone der ganz jungen Ziege weitgehend verdrängen. Die gyrösen Formen entsprechen der Beschreibung unter Ziffer 5 bei Kaninchen. Sie sind hier lediglich wichtiger in ihren Ausmaßen. Diese gyrösen Sicheln waren bei allen älteren Ziegen vorhanden, jedoch von sehr verschiedenem Umfang.

Besprechung und Zusammenfassung.

Die erhaltenen Untersuchungsbefunde haben ergeben, daß es mit der hier geübten histologischen Differenzierungsmethodik möglich war, die Knochen aller untersuchten Tierarten sicher von denen Neugeborener und Kleinkinder zu unterscheiden. Damit ist ein Weg aufgezeigt, der es erlaubt, auch in den Fällen des Versagens sowohl der biologischen Methode wie auch der vergleichenden Anatomie zu einer Bestimmung der Art unbekannter Knochen bzw. Knochenteile zu kommen. Das gilt zumindest für die Entscheidung, ob es sich um menschlichen oder tierischen Knochen handelt. Knochen von Menschenaffen standen uns für unsere Untersuchungen leider nicht zur Verfügung, so daß über deren Unterscheidungsmöglichkeiten nichts ausgesagt werden kann.

Die geschilderten Erfahrungen wurden an Querschnittsbildern aus Femurdiaphysenmitten gemacht. Sie lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Gebiete des Oberschenkels, natürlich auch nicht auf andere Röhrenknochen übertragen. Über den Umfang der Abweichung von der Diaphysenmitte nach beiden Seiten, der bei Anwendung der gewonnenen differential-diagnostischen Kennzeichen zulässig erscheint, kann Allgemeingültiges nicht gesagt werden. Es kann jedoch als sichergestellt gelten, daß das Strukturbild im ganzen Schaftbereich in seinen Grundzügen erhalten bleibt. Erst der Epiphysenbereich weist weitergehende Änderungen auf. Das ist praktisch von großer Bedeutung, denn man kann bei Vorliegen nur eines Teiles der Diaphyse durchaus nicht immer damit rechnen, daß er den mittleren Bereich mit umfaßt. — Was die anderen Röhrenknochen anlangt, steht zu erwarten, daß auch sie einen typischen Bauplan haben. Etwaige Besonderheiten und mögliche Abweichungen desselben gegenüber dem hier Gesagten müßten durch entsprechende Untersuchungen aufgefunden werden.

Bezüglich der Menge des Untersuchungsmaterials, die für eine exakte Diagnosenstellung gefordert werden muß, geht aus den Abbildungen hervor, daß ein gewisses Minimum nicht unterschritten werden darf. Aber auch hier können keine bestimmten Maßangaben gegeben werden.

Oft wird nur ein kleiner Bruchteil des Knochenringes nicht den rechten Eindruck des bestehenden Gesamtbildes vermitteln können, den man am besten natürlich an Ganzringen gewinnt. Dasselbe gilt in noch stärkerem Maße für Knochensplitter. Andererseits aber ist es keinesfalls ausgeschlossen, daß schon an einem ganz kleinen Knochenstückchen mitunter eine typische Entwicklungsrichtung, auf die es hier so sehr ankommt, erkannt bzw. sicher ausgeschlossen werden kann. Damit aber ist schon viel gewonnen: Liegt eine Entwicklungsschichtung vor, so kann es sich niemals um einen der hier untersuchten Tierknochen handeln; kann ihr Vorhandensein sicher abgelehnt werden, so kommt ein junger menschlicher Knochen nicht in Betracht.

Die Frage, wieweit eine Differenzierung der einzelnen Tierarten untereinander möglich ist, gehört nicht zur Problemstellung; sie wird jedoch durch die gegebenen Schilderungen zwanglos beantwortet. Die Diagnose des Vorhandenseins bzw. Fehlens einer Entwicklungsschichtung ist leicht. Bei der Differentialdiagnose verschiedener Tiere geben aber im allgemeinen sehr viel schwerer erkennbare Kriterien den Ausschlag. Ob z. B. eine für die Katze kennzeichnende exzentrische Schichtung vorliegt oder nicht, wird man oft erst an einem größeren Knochenstück beurteilen können. Ebenso ist es durchaus denkbar, daß Bruchstücke eines Entenknochens vorliegen können, die nicht die für die Ente so bezeichnenden, stellenweise auftretenden zentralen Ansammlungen von Riesenosteonen aufweisen. Ganz allgemein kann daher gesagt werden, daß zum Zwecke einer Unterscheidung von Tierknochen untereinander mehr Untersuchungsmaterial erforderlich ist als zur Annahme bzw. zum Ausschluß jungen menschlichen Knochens. Darüber hinaus erscheint es zweifelhaft, ob in allen Fällen die Herkunft eines Knochenstückes von einer bestimmten Tierart sichergestellt werden kann.

Literatur.

AEBY: Ber. der Naturforscherverslg, Hamburg 1866. — BENNINGHOFF: Lehrbuch der Anatomie des Menschen. München-Berlin 1944. — BÜRGER: 80. Verslg Dtsch. Naturforsch. u. Ärzte. Wien 1913. — DEMETER, GYÖRGY u. MATYAS: Z. Anat. 1928, 87. — FANA: Zit. bei GIESE. — GEYER: Inaug.-Diss. Jena 1910. — GIESE: Vj.schr. gerichtl. Med. 1909. — GRASS: Inaug.-Diss. Berlin 1916. — HEY: Dtsch. Z. gerichtl. Med. 1924, 4. — KENYERES: Vj.schr. gerichtl. Med. 1903. — OLSCHOW: J.ber. Anat. u. Entw.-gesch. 1904, 10. — ROMEIS: Mikroskopische Technik. München 1948. — ROULET: Methodik der pathologischen Histologie. Wien 1948. — SCHRANZ: Dtsch. Z. gerichtl. Med. 1933, 22. — SCHWALBE: Z. Anat. 2 (1876). — STEIN: Inaug.-Diss. Marburg a. d. Lahn 1951. — UHLENHUTH: Dtsch. med. Wschr. 1900, 1901. — UHLENHUTH u. WEIDANZ: Praktische Anleitung zur Ausführung der biologischen Eiw.-Diff.-Verf. Jena 1900. — WADA: Vj.schr. gerichtl. Med. 1909.

Prof. Dr. A. FÖRSTER, Marburg/Lahn,
Institut für gerichtliche und soziale Medizin.