

# Zur intrauterinen Ossifikation der Karpal- und Tarsalknochen beim Fohlen und Behandlung von Ossifikationsstörungen

J. A. Auer

Large Animal Veterinary Teaching Hospital  
College of Veterinary Medicine  
Texas A & M University

## Einleitung

Achsenfehlstellungen beim Fohlen sind auch in Europa ein großes Problem; nur werden sie oftmals nicht als solche erkannt. Dieser Problembereich wurde in der englischen Literatur eingehend beschrieben (Fackelman et al., 1975; Fretz, 1980; Auer und Martens, 1980; Auer et al., 1982 a, b; Auer, 1983). Turner (1985) beschrieb Gliedmaßenfehlstellungen in der deutschsprachigen Literatur. Die Hypoplasie oder ungenügende Ossifikation der Karpal- und Tarsalknochen wird in den meisten Veröffentlichungen nur angedeutet; doch beschrieben Leitch (1979) und Auer (1982 a) das Problem im Detail.

In dieser Arbeit wird zuerst versucht, die enchondrale Ossifikation der Karpal- und Tarsalknochen während der letzten Monate der intrauterinen Entwicklung des Fohlens zu beschreiben. Von diesen Erkenntnissen ausgehend, werden Richtlinien für die Früherkennung der Hypoplasie der Karpal- und Tarsalknochen entwickelt und anhand einiger Beispiele die Behandlung solcher Probleme beschrieben.

## Intrauterine Ossifikation

Die komplizierten Umwandlungsprozesse des aus hyalinem Knorpel bestehenden Primordialskelettes der Extremitäten beginnen in der Diaphyse mit der Bildung eines perichondralen Knochenmantels. Dieser Knochenmantel dehnt sich zusehends in Richtung proximaler und distaler Epiphyse aus. Zur gleichen Zeit beginnt auch die enchondrale Ossifikation der Diaphyse (Nickel et al., 1968). Die Ossifikationsvorgänge schreiten mit zunehmender Gestationsdauer in Richtung Epiphysenfuge fort.

In der Folge wird versucht, die Ossifikationsvorgänge der letzten 100 Gestationstage anhand von Röntgenaufnahmen und Gewebeschnitten der Karpal- und Tarsalregionen zu erörtern. Zu diesem Zweck wurden abortierte Föten mit bekannten Deckdaten röntgenologisch untersucht und anschließend deren Gelenke entweder in der Sagittal- oder

## Zusammenfassung

Verschiedene Entwicklungsstadien des Pferdekarpus und -tarsus von abortierten Föten, zwischen 230 und 333 Tagen Gestationszeit wurden ausgewählt, um die Entwicklung der enchondralen Knochenbildung zu beschreiben. Röntgenbilder und Photographien der entsprechenden Gewebeschnitte wurden verwendet. Ein Fall von Zwillingsohnen wurde ausgewählt, um die unterentwickelte Ossifikation bei Geburt und deren Behandlung zu beschreiben. Eines der Fohlen starb 2 Wochen nach der Geburt. Das überlebende Fohlen konnte gerettet werden und entwickelte normale Gliedmaßenstellung. Ein weiteres Fohlen mit ungenügender Ossifikation bei der Geburt wurde erst behandelt, als eine Lahmheit auftrat; zu jenem Zeitpunkt war eine erfolgreiche Behandlung nicht mehr möglich, und das Fohlen wurde euthanasiert. Die Eröffnung des betroffenen Karpus ergab eine fortgeschrittene degenerative Arthrose, verbunden mit verschiedenen Frakturen. Eine bessere Prognose konnte der verspäteten Behandlung der ungenügenden Ossifikation des Tarsus gegeben werden. Die degenerativen Prozesse führen dort zur Ankylose, was das Tier wiederum schmerzfrei macht. Solche Pferde können im leichten Reitsport eingesetzt werden. Hypoplasie und Distalverschiebung der proximalen Griffelbeine wurden kurz diskutiert. Richtlinien für die Diagnose und Behandlung der ungenügenden Ossifikation der Karpal- und Tarsalregion werden gegeben. Zu diesem Zweck ist es wichtig, daß der Karpus und Tarsus am ersten Lebenstag röntgenologisch untersucht wird.

## Intrauterine Ossification of the Carpal and Tarsal Bones in Foals and Treatment of Incomplete Ossification Problems

Equine fetuses were used to demonstrate various development stages of the carpal and tarsal regions between 230 and 333 days of gestation. The enchondral ossification processes in the carpus and tarsus were defined. Photographs of tissue sections were presented at selected stages in conjunction with the radiographs. Twin foals were used as examples of incomplete ossification at the time of birth and the treatment outlined. One foal died 2 weeks after birth; however the other one could be salvaged and the limbs developed within normal limits. Another example was given, where treatment was delayed until lameness occurred in one of the front limbs. That animal had to be euthanized. Advanced degenerative joint disease associated with various fractures was demonstrated during the post mortem examination. A somewhat better prognosis can be given with delayed treatment of incomplete ossification in the tarsus because of the nature of the problem. The degenerative changes will lead to ankylosis of the tarsus which then renders the animal pain free and useable for minor athletic endeavors. Hypoplasia and depression of the proximal aspects of the splintbones was briefly discussed. Guidelines were given for the diagnosis and treatment of incomplete ossification consisting of radiographic evaluation (dorsopalmar view of the carpus, lateromedial view of the tarsus) at day 1 in all foals having either sentimental or monetary value and evaluation of the degree of ossification.

Frontalebene durchgesägt. Von diesen Schnitten wurden Photographien hergestellt, welche dann mit den Röntgenbildern verglichen wurden. Dabei muß gleich zu Beginn erwähnt werden, daß große zeitliche Unterschiede in der Ossifikation auftreten können. In den Entwicklungsstadien zwischen 230 und 285 Tagen war es schwierig, die kleinen Ossifikationszentren der Karpal- und Tarsalknochen in den Gewebeschnitten festzuhalten. Aus diesem Grund wurden Gewebeschnitte erstmals bei 285 Tagen Gestationszeit zum Vergleich mit den Röntgenbildern eingesetzt.

Mit 230 Tagen Gestationszeit können auf dem Röntgenbild der Karpalregion die Dia- und Metaphyse des Radius und

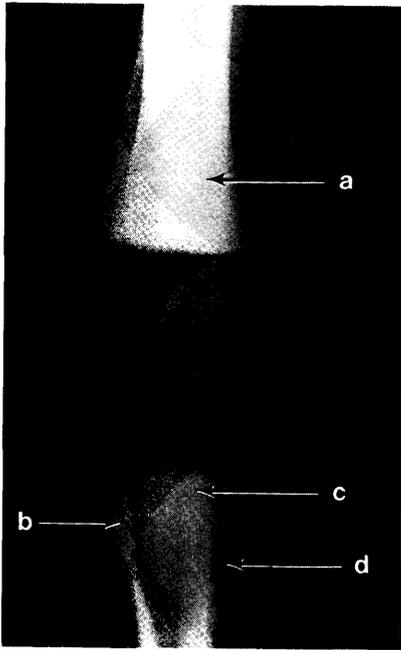


Abb. 1

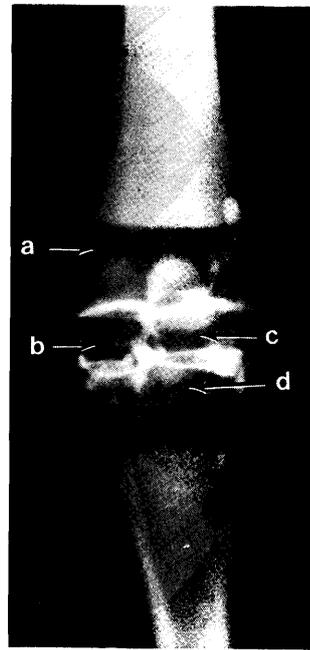
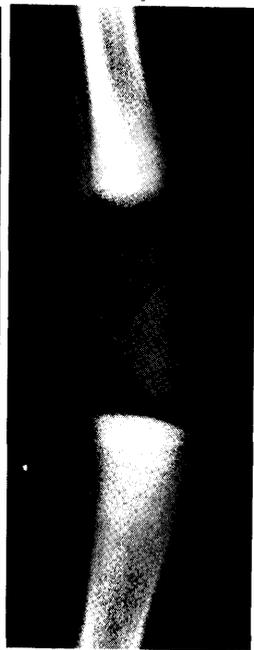


Abb. 2

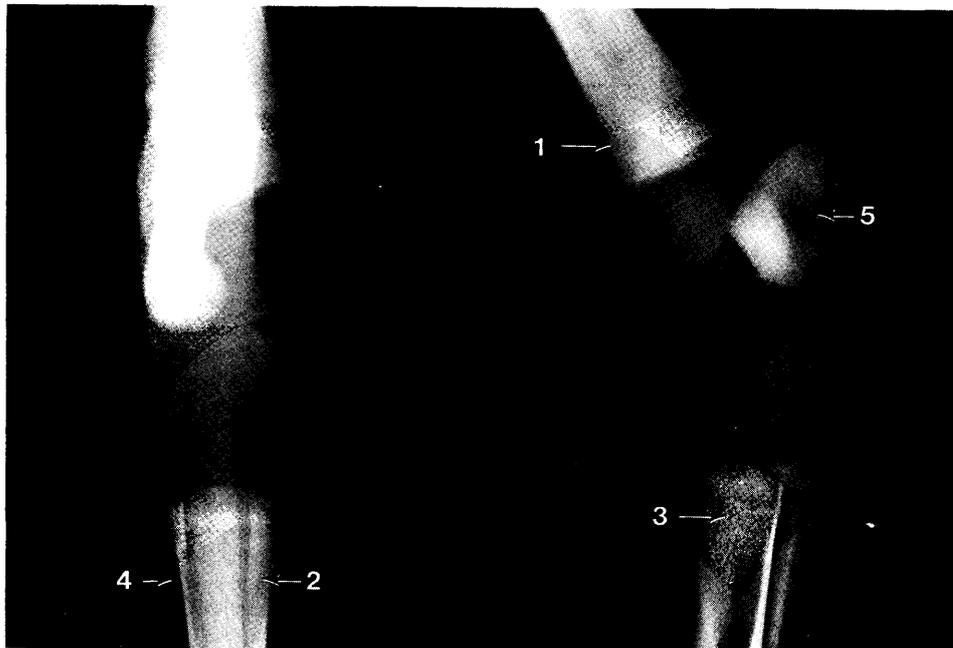
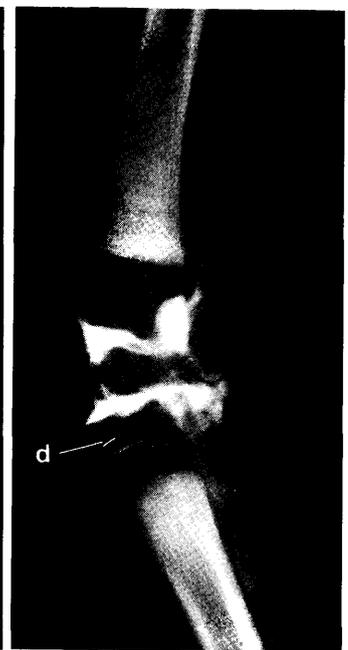


Abb. 3

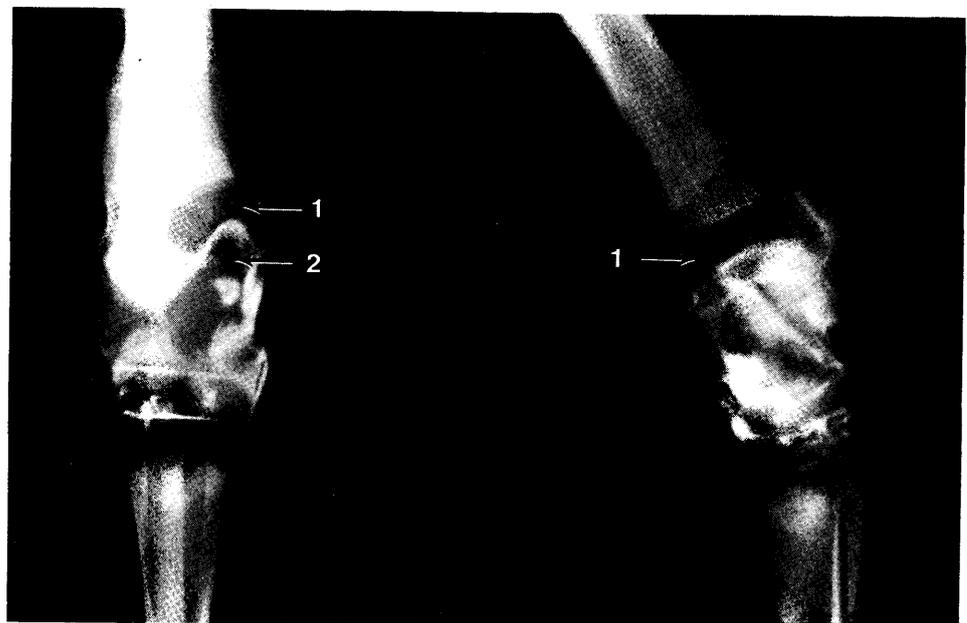
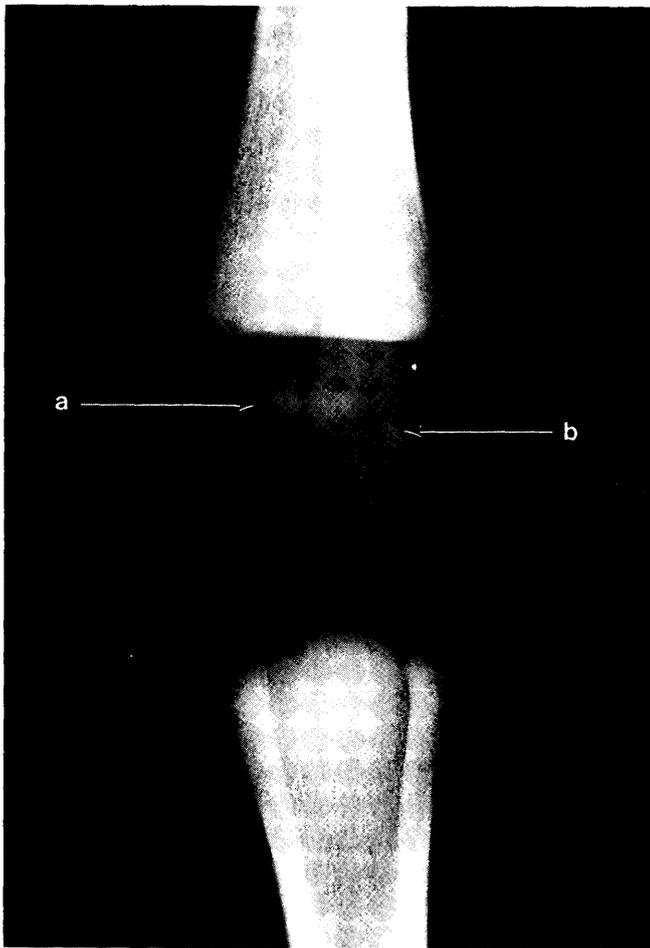
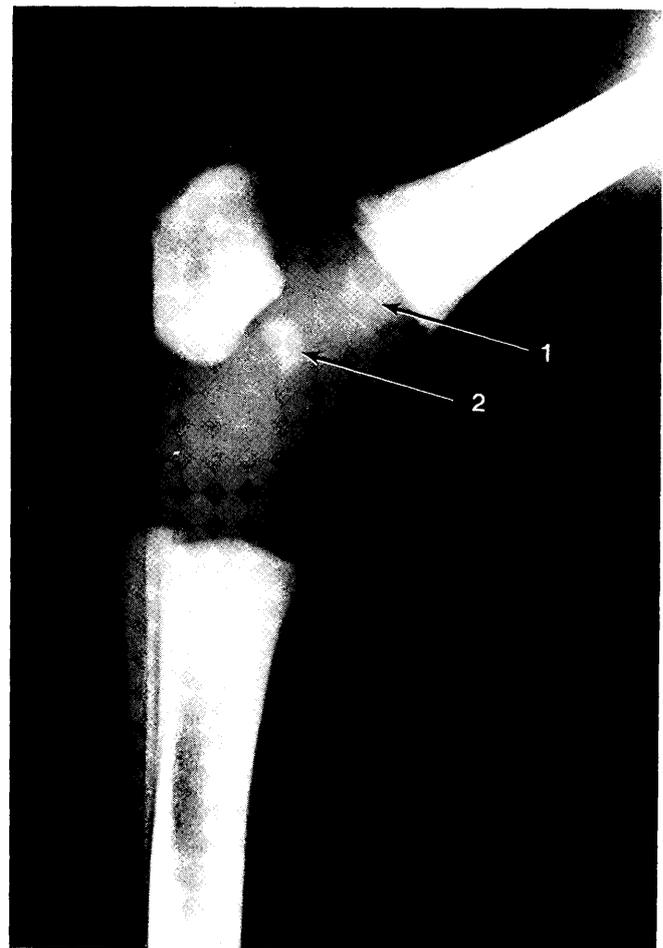


Abb. 4



**Abb. 5:** Dp Röntgenbild eines Karpus bei 255 Gestationstagen. Zusätzlich zu den vorher erwähnten ossifizierten Knochen kann ein Knochenkern in der distalen Epiphyse des Radius (a) und im Os carpi accessorium (b) erkannt werden.



**Abb. 6:** Lm Röntgenbild eines Tarsus bei 255 Gestationstagen. Neue Ossifikationszentren sind in der distalen Epiphyse der Tibia (1) und im Os tarsi tibiale (2) zu erkennen.

der Ossa metacarpalia secundum (Mc2), tertium (Mc3) und quartum (Mc4) leicht erkannt werden (Abb. 1). Neben der distalen Epiphyse des Radius sind die verschiedenen Karpalknochen nicht röntgenologisch darstellbar. Nach Injektion eines Kontrastmittels in das Antebrachiokarpal- und Interkarpalgelenk können die Umrisse der einzelnen aus

hyalinem Knorpel bestehenden „Karpalknochen“ erkannt werden (Abb. 2). Wie beim Karpus, so können auch beim Tarsus die Dia- und Metaphyse der Tibia und der Ossa metatarsalia secundum (Mt2), tertium (Mt3) und quartum (Mt4) gut erkannt werden. Hingegen ist das Os tarsi fibulare schon zu einem gewissen Grad ossifiziert (Abb. 3). Durch Injektion eines Kontrastmittels können auch hier die Umrisse der primordialen „Tarsalknochen“ sowie der distalen Epiphyse der Tibia dargestellt werden (Abb. 4). Doch ist dieses Arthrogramm, der anatomischen Anordnung wegen, etwas schwieriger zu lesen als dasjenige des Karpus.

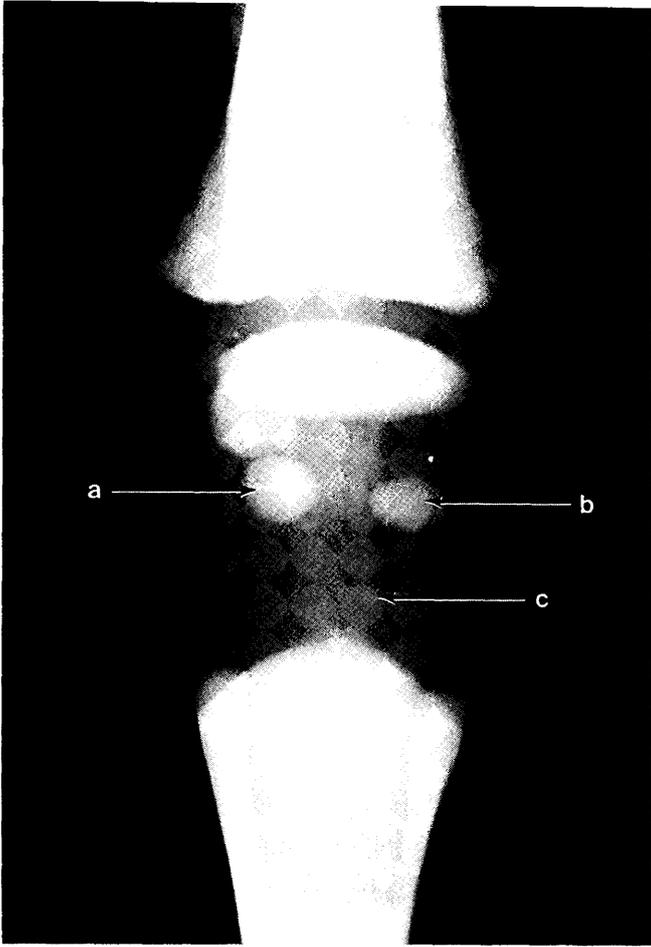
**Abb. 1:** Dorsopalmares (Dp) und lateromediales (Lm) Röntgenbild eines Karpus mit 230 Gestationstagen. Außer den Dia- und Metaphysen des Radius (a), Mc2 (b), Mc3 (c) und Mc4 (d) sind noch keine Ossifikationszentren sichtbar.

**Abb. 2:** Gleiche Röntgenbilder wie Abb. 1 nach Injektion von Kontrastmittel in das Antebrachiokarpal- und Interkarpalgelenk. Die Umrisse der knorpeligen Epiphysen und „Karpalknochen“ sind leicht erkennbar (a: distale Epiphyse des Radius; b: Os carpi radiale; c: Os carpi intermedium; d: Os carpalae tertium).

**Abb. 3:** Dp und Lm Röntgenbild eines Tarsus mit 230 Gestationstagen. Außer der Dia- und Metaphyse der Tibia (1), Mt2 (2), Mt3 (3), Mt4 (4) und des Os tarsi fibulare (5) sind keine Ossifikationszentren sichtbar.

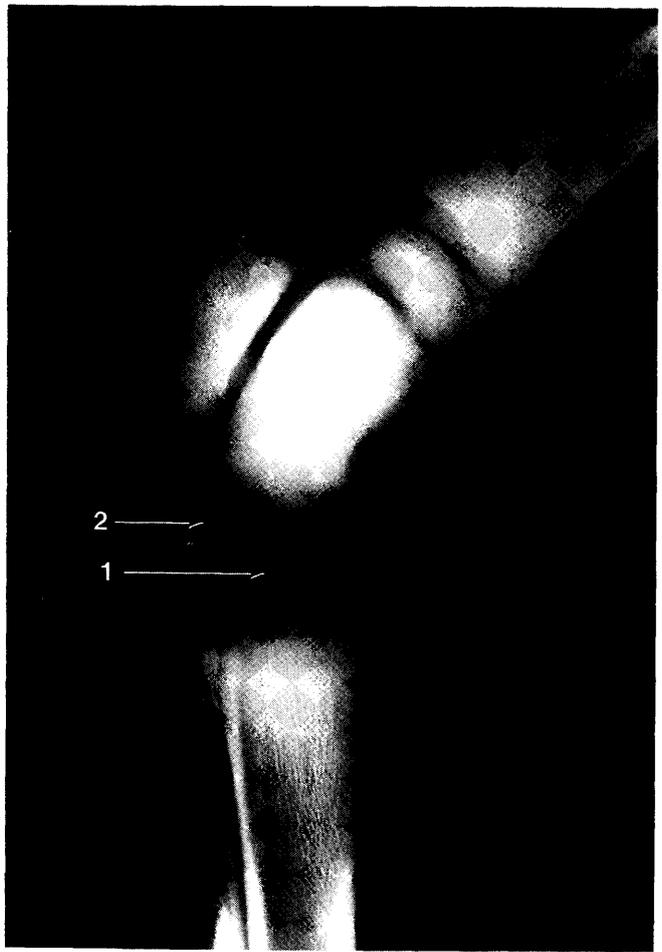
**Abb. 4:** Gleiche Röntgenbilder wie in Abb. 3 nach Injektion von Kontrastmittel ins Talokrural- und distale Intertarsalgelenk. Die Umrisse der knorpeligen Epiphysen und Tarsalknochen sind leicht erkennbar (1: distale Epiphyse der Tibia; 2: Os tarsi tibiale).

Mit 255 Tagen Gestationszeit kann ein Ossifikationszentrum in der distalen Epiphyse des Radius und in diesem Beispiel ein weiteres im knorpeligen Os carpi accessorium erkannt werden (Abb. 5). Im Tarsus kann nebst dem schon erwähnten Os tarsi fibulare auch ein Ossifikationskern im Os tarsi tibiale und in der distalen Epiphyse der Tibia identifiziert werden (Abb. 6). Diese Knochenkerne, welche durch enchondrale Ossifikation entstehen, breiten sich sphärisch in allen drei Dimensionen aus und füllen bei Geburt das primordiale Knorpelskelett der Karpal-, Tarsal-



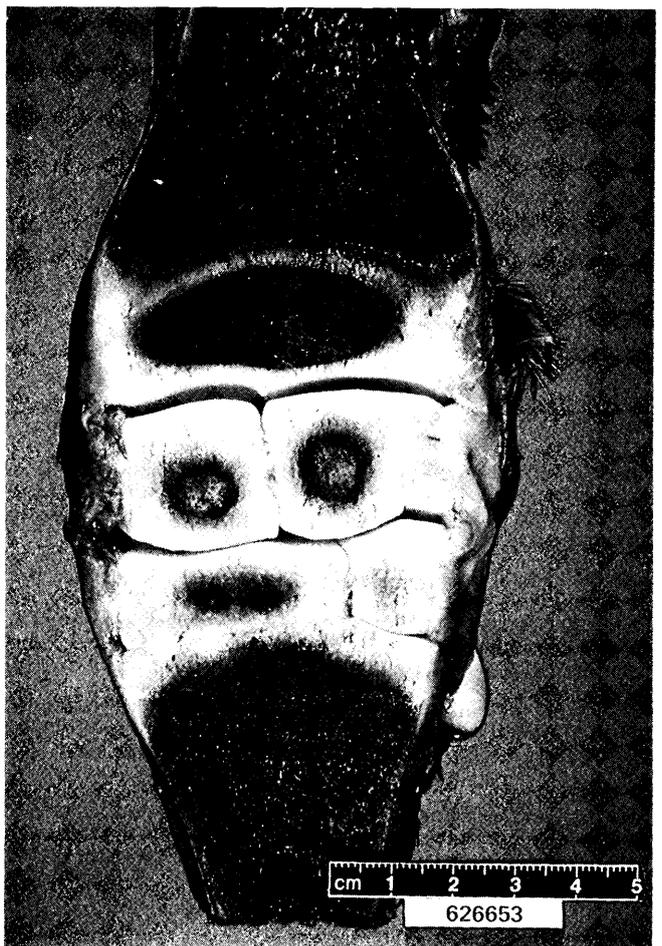
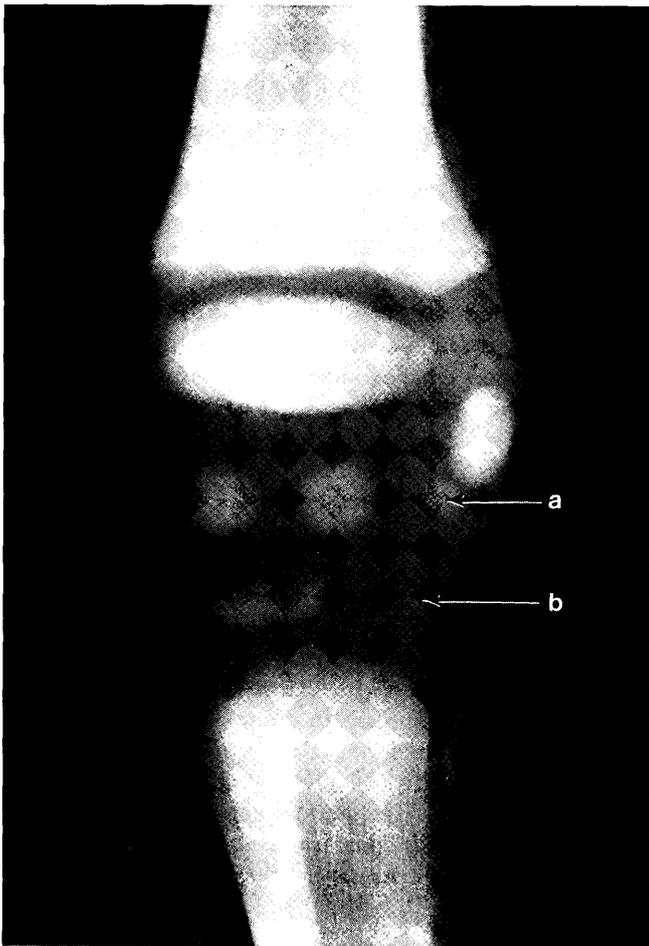
▲ Abb. 7

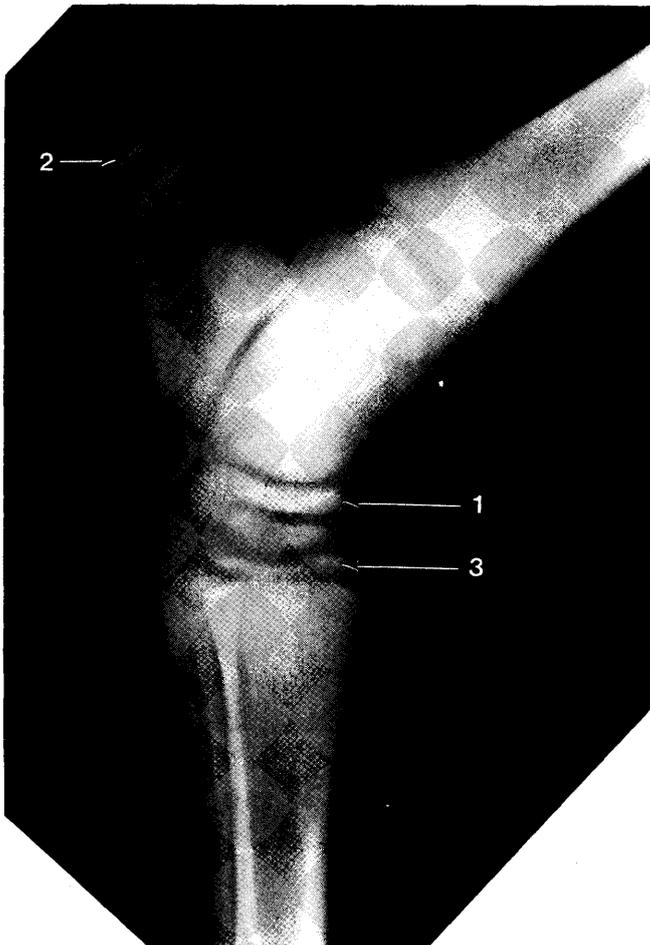
Abb. 9a ▼



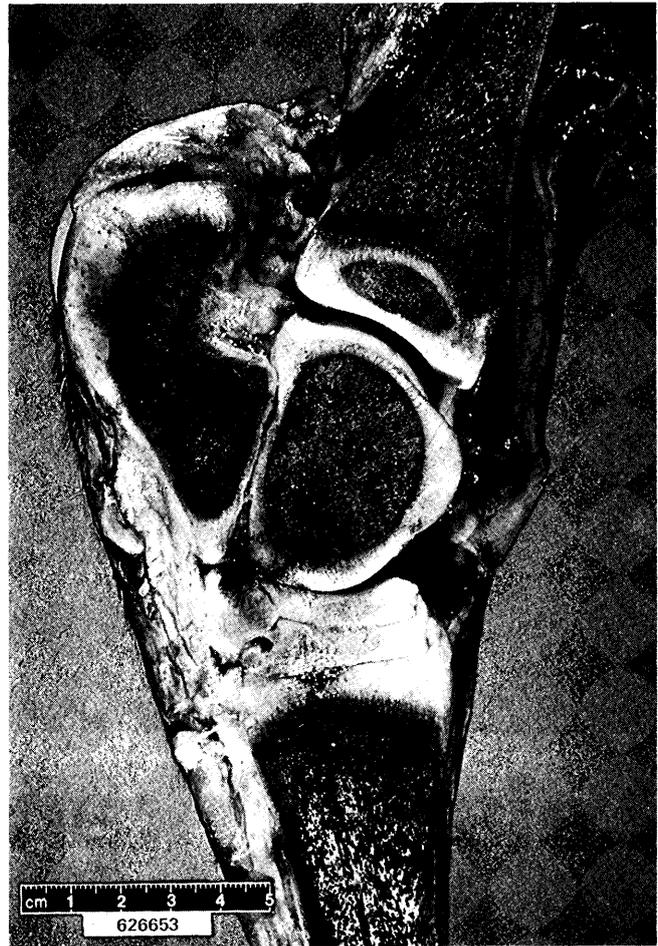
▲ Abb. 8

Abb. 9b ▼





**Abb. 10a:** Lm Röntgenaufnahme eines Tarsus bei 285 Gestationstagen. Neue Ossifikationszentren haben sich im Os tarsi centrale (1), im proximalen Os tarsi fibulare (2) und in den proximalen Epiphysen von Mt2, Mt3 (3) und Mt4 entwickelt.



**Abb. 10b:** Gewebeschnitt durch den gleichen Tarsus wie in Abb. 10a. Das Ossifikationszentrum in der proximalen Epiphyse von Mt3, dem Os tarsi centrale sowie Os tarsale tertium wurde in dieser Ebene nicht getroffen.

und Röhrenknochen bis auf die artikulären Gelenksknorpel völlig aus.

Eine Vergrößerung der obengenannten Knochenkerne kann mit 270 Gestationstagen (9 Monaten) erkannt werden. Im weiteren sind zu diesem Zeitpunkt im Karpus auch Ossifikationszentren im Os carpi radiale und intermedium

**Abb. 7:** Dp Röntgenbild eines Karpus bei 270 Gestationstagen. Neue Ossifikationszentren sind im Os carpi radiale (a) und intermedium (b) sowie im Os carpale tertium (c) zu erkennen.

**Abb. 8:** Lm Röntgenbild eines Tarsus bei 270 Gestationstagen. Neue Ossifikationszentren sind im Os tarsale tertium (1) und quartum (2) zu sehen. Die anderen Knochenkerne haben an Größe zugenommen.

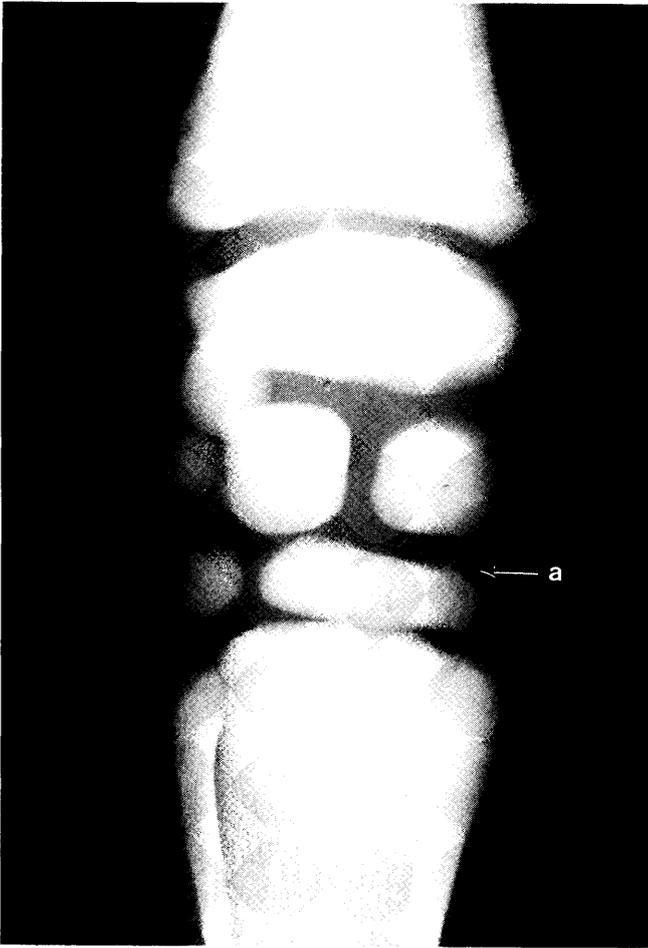
**Abb. 9a:** Dp Röntgenaufnahme eines Karpus bei 285 Gestationstagen. Neue Ossifikationszentren sind im Os carpi ulnare (a) und Os carpale quartum (b) entstanden. Der proximale Mc3 hat sich konisch zugespitzt.

**Abb. 9b:** Gewebeschnitt durch den gleichen Karpus wie in Abb. 9a. Man beachte die dicken Knorpelschichten um die Ossifikationszentren.

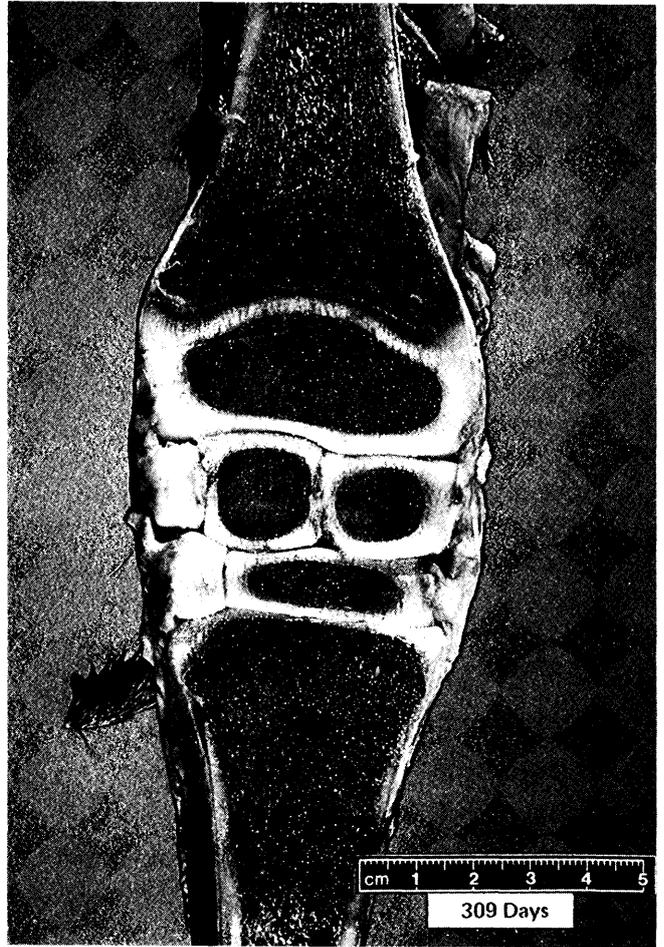
sichtbar (Abb. 7). Im Tarsus können nebst der deutlichen Vergrößerung der Knochenkerne des Os tarsi tibiale und der distalen Epiphyse der Tibia neue Ossifikationszentren im Os tarsale tertium und quartum identifiziert werden (Abb. 8).

Mit 285 Tagen Gestationszeit sind im Karpus alle Ossifikationskerne bis auf das Os carpale secundum und den Processus styloides ulnae darstellbar. Das proximale Ende von Mc2, Mc3 und Mc4 zeigt weder eine Epiphysenfuge noch eine Epiphyse. Doch ist die proximale Metaphyse von Mc3 konisch zugespitzt (Abb. 9a). Im Tarsus können außer dem Malleolus fibulae alle Ossifikationszentren erkannt werden. Der Malleolus fibulae ist in der lateromedialen Projektion auf dem Röntgenbild nicht sichtbar. Neben dem separaten Ossifikationszentrum im proximalen Anteil des Os tarsi tibiale hat sich auch ein Knochenkern im Os tarsi centrale und eine markante proximale Epiphyse im Mt3 gebildet (Abb. 10a).

Schnitte durch die Karpal- und Tarsalregion in den gleichen Ebenen, wie auf den Röntgenbildern projiziert, zeigen die Anordnung der Knochenkerne in Relation zum Primordialknorpel der einzelnen Knochen (Abb. 9b, 10b). Man beachte das knorpelige proximale Ende der Ossa me-



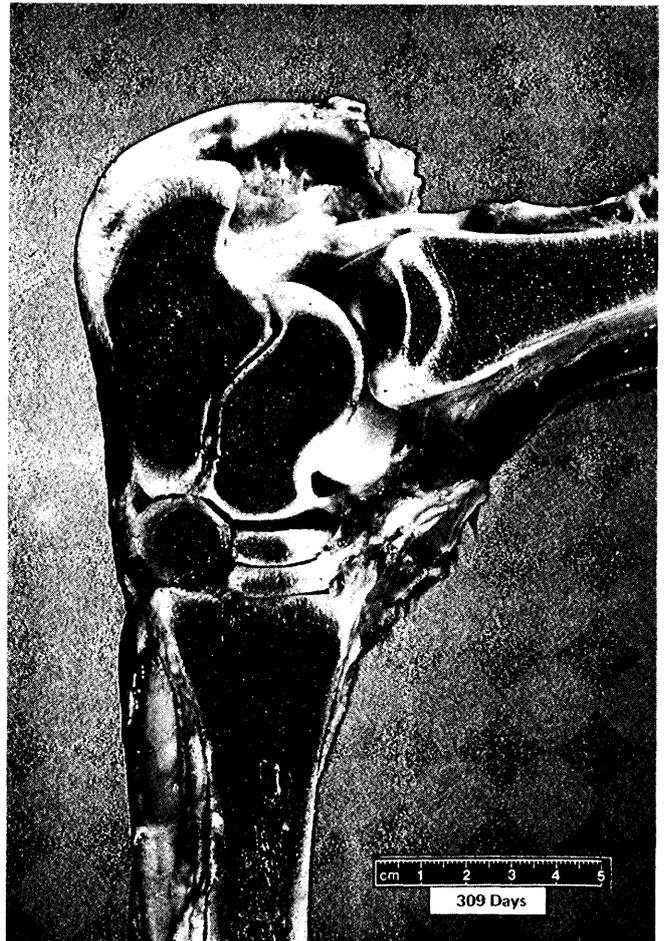
▲ Abb. 11a

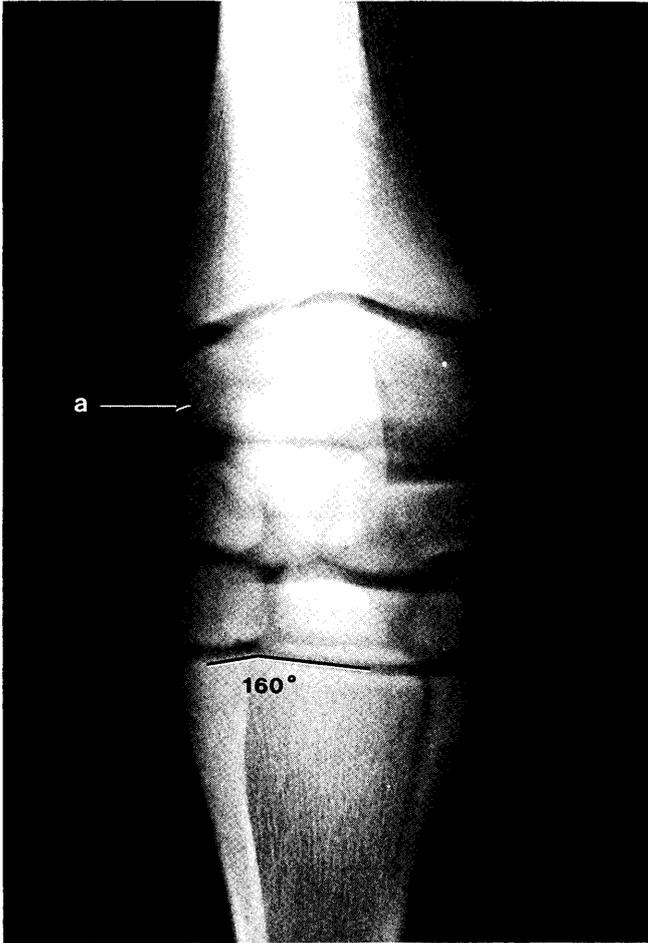


▲ Abb. 11b

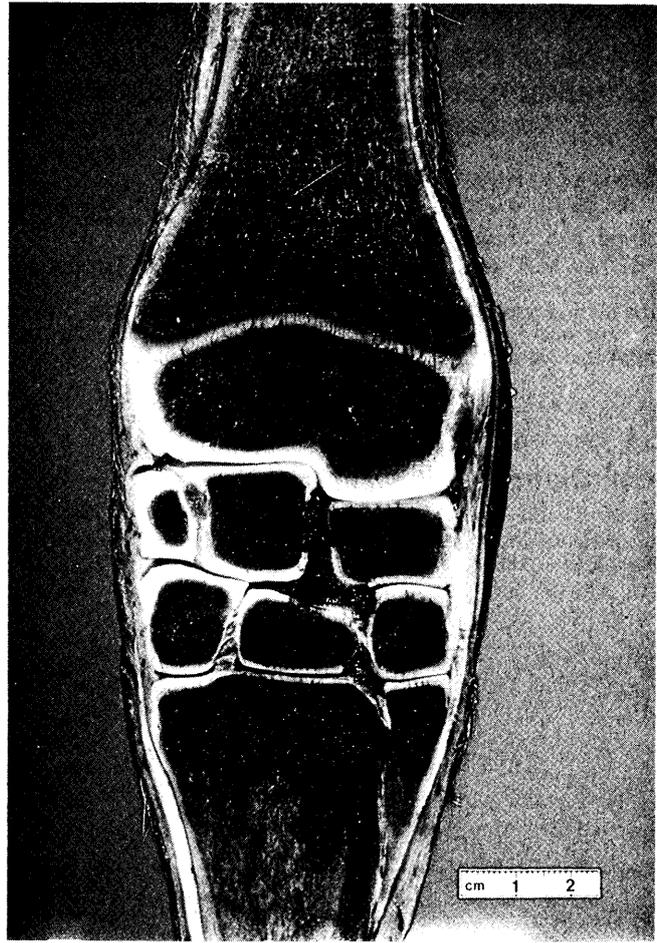
Abb. 12a ▼

Abb. 12b ▼





**Abb. 13a:** Dp Röntgenbild eines Karpus bei 315 Gestationstagen. Alle Ossifikationszentren inklusive Processus styloides ulnae (a) sind vorhanden. Noch sind die „röntgenologischen Gelenksspalten“ zu groß.



**Abb. 13b:** Gewebeschnitt durch den gleichen Karpus wie Abb. 13a. Der periphere Knorpelmantel um die Knochenkerne wird kleiner.

tacarpalia/tarsalia. Einzelne Knochenkerne, welche auf den Röntgenbildern dargestellt werden konnten, sind auf den Gewebeschnitten nicht zu sehen. Der Grund dafür besteht darin, daß nicht alle Ossifikationskerne in der gleichen Ebene liegen. Ein Röntgenbild ist bekanntlich eine zweidimensionale Projektion eines dreidimensionalen Körpers. Mit 300 Tagen Gestationszeit (ca. 10 Monate) kann ein deutlicher Fortschritt der enchondralen Ossifikation der Knochenkerne im Karpus (Abb. 11a) und Tarsus erkannt

**Abb. 11a:** Dp Röntgenbild eines Karpus bei 300 Gestationstagen. Eine weitere Vergrößerung der Ossifikationszentren ist ersichtlich. Der Knochenkern im Os carpale secundum (a) ist am Entstehen.

**Abb. 11b:** Gewebeschnitt durch den gleichen Karpus wie Abb. 11a.

**Abb. 12a:** Lm Röntgenbild eines Tarsus bei 300 Gestationstagen. Ein Knochenkern im Os tarsale primum et secundum (1) hat sich gebildet. Die proximalen Epiphysen von Mt2, Mt3 und Mt4 sind schon beinahe mit den jeweiligen Metaphysen verwachsen.

**Abb. 12b:** Gewebeschnitt durch den gleichen Tarsus wie Abb. 12a.

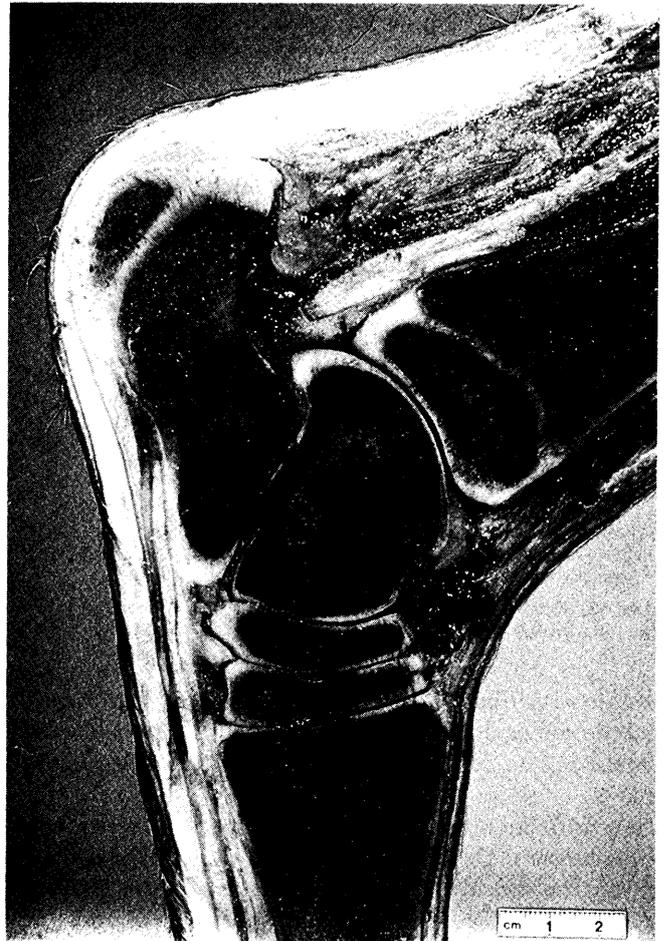
werden (Abb. 12a). Die Verwachsung der proximalen Epiphysen mit den Ossa metatarsalia ist in vollem Gange. Auch auf den Gewebeschnitten durch den Karpus bzw. Tarsus kann das Fortschreiten der enchondralen Ossifikation gut beobachtet werden (Abb. 11b u. 12b).

Mit 315 Tagen kann die endgültige Form der Karpal- und Tarsalknochen erahnt werden (Abb. 13a u. 14a). Zum ersten Mal ist auch der Processus styloides ulnae im Karpus erkennbar (Abb. 13a). Noch sind die sogenannten „röntgenologischen Gelenksspalten“, welche aus dem eigentlichen Gelenkspalt und einer hyalinen Gelenksknorpelschicht auf beiden Seiten besteht, zu breit. Auch die noch zu ossifizierende Primordialknorpelschicht um die Ossifikationszentren ist noch zu breit (Abb. 13b u. 14b).

Viele Fohlen werden geboren mit einem Ossifikationsgrad, welcher mit demjenigen eines 315tägigen Fötus vergleichbar ist (Abb. 13a u. b bzw. 14a u. b). Wenn nun Fohlen mit solch ungenügender Ossifikation aufstehen und sogar auf der Weide herumgaloppieren, ist es leicht ersichtlich, daß auf diese Weise dauerhafte Schäden entstehen können. Seitliche Scher- und Torsionskräfte wirken auf diese Knochen ein und verformen die relativ weichen Knorpelschichten gegenüber den härteren Knochenkernen. Auf diese Weise



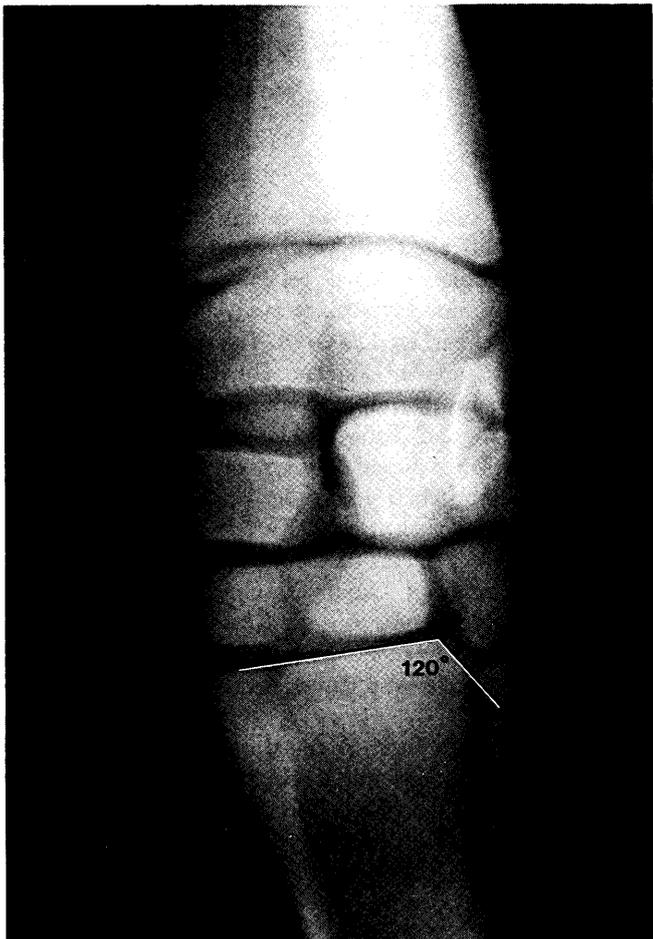
▲ Abb. 14a

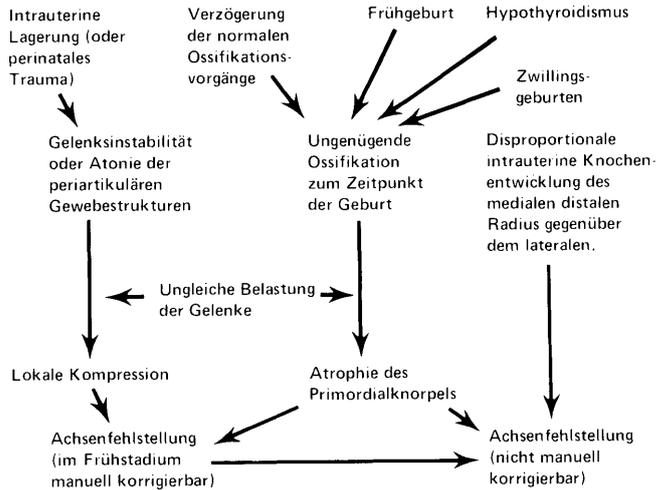


▲ Abb. 14b

Abb. 15 ▼

Abb. 16 ▼





**Abb. 17:** Schema von kongenitalen Faktoren, die Achsenfehlstellungen hervorrufen können.

können sich osteochondrale Risse zwischen dem Primordialknorpel und den Knochenkernen bilden, welche das Entstehen von degenerativen Gelenkserkrankungen einleiten.

Die Ossifikation von Mc2, Mc3 und Mc4 ist weitgehend abgeschlossen. Der Winkel zwischen der proximalen Gelenkfläche von Mc3 und dem Berührungspunkt von Mc3 und Mc4 sollte bei einem normal ossifizierten Karpus zwischen 135 und 180 Grad liegen. Beim Fohlen in Abb. 13 beträgt dieser Winkel 160 Grad, was bedeutet, daß Mc4 normal ausgebildet ist und keine Hypoplasie aufweist (Bertone et al., 1985).

Bei Geburt sollten die enchondralen Ossifikationsprozesse des Primordialknorpels eines neugeborenen Fohlens abgeschlossen sein (Abb. 15 u. 16). Ein Ossifikationsgrad, wie in Abb. 15 und 16 wiedergegeben, kann als normal angesehen werden (Auer et al., 1982 c; Smallwood et al., 1984). Die dorsalen Partien des Os tarsi centrale und Os tarsale tertium sind leicht abgerundet, was heißt, daß hier die enchondrale Ossifikation noch nicht ganz abgeschlossen ist (Abb. 16). Diese Knochen sollten bei Geburt eine recht-



**Abb. 18:** Zwei Wochen alte Zwillingshengstfohlen. Man beachte die Achsenfehlstellung.

**Abb. 14a:** Röntgenbild eines Tarsus bei 315 Gestationstagen. Man beachte die Form von Os tarsi centrale und Os tarsale tertium.

**Abb. 14b:** Gewebeschnitt durch den gleichen Tarsus wie Abb. 14a.

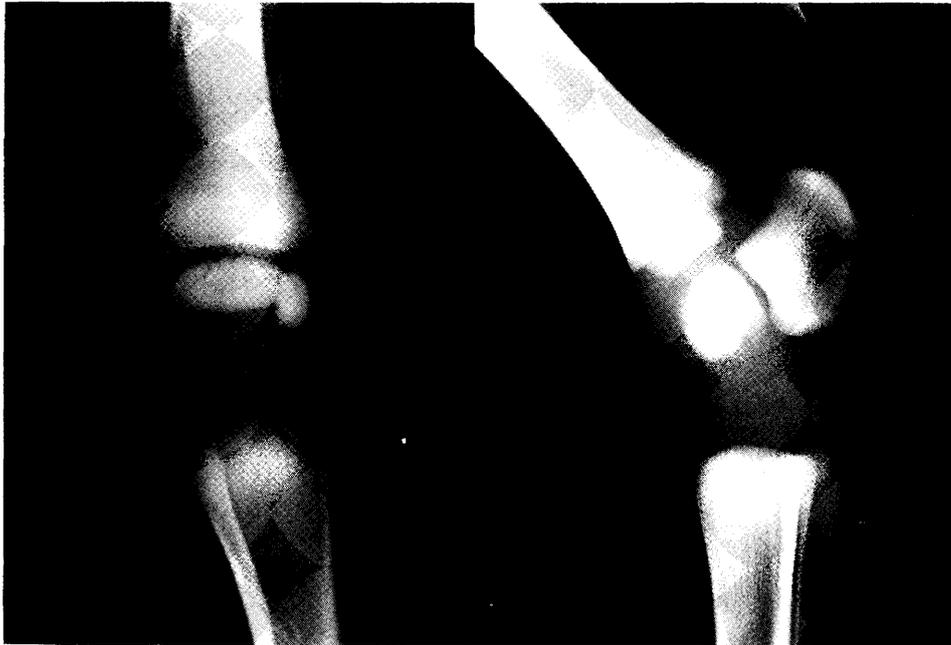
**Abb. 15:** Dp Röntgenaufnahme eines Karpus am 1. Lebenstag nach 333 Gestationstagen. Alle Knochen inklusive distaler Epiphyse des Radius sind normal ausgebildet. Einzig Mc4 ist etwas nach distal verschoben, was ev. durch Hypoplasie der proximalen Epiphyse von Mc4 entstanden ist. Der Winkel zwischen proximaler Gelenkfläche von Mc3 und dem Berührungspunkt zwischen Mc3 und Mc2 beträgt 120 Grad ( $>135$  Grad ist normal).

**Abb. 16:** Lm Röntgenaufnahme eines Tarsus am 1. Lebenstag nach 333 Gestationstagen. Die Ossifikation der verschiedenen Tarsalknochen ist genügend fortgeschritten und erlaubt Belastung ohne Folgen. Einzig die dorsalen Anteile des Os tarsi centrale und Os tarsale tertium haben eine leicht abgerundete anstelle einer rechteckigen Form.

eckige Form an dieser Stelle aufweisen (Smallwood et al., 1984). Doch muß ein Ossifikationsgrad wie auf Abb. 16 nicht zur Beunruhigung Anlaß geben.

Einzig Mc4 weist eine Hypoplasie auf (Abb. 15). Der oben erwähnte Winkel beträgt 120 Grad, was nach Bertone et al. auf eine Hypoplasie oder Distalverschiebung dieses Griffelbeines hinweist. Eine komplette röntgenologische Darstellung der Karpal- und Tarsalregion mittels verschiedener Projektionen wird in dieser Arbeit nicht als überflüssig angesehen. Dennoch haben sich in der Erfahrung des Autors die dorsopalmare Projektion des Karpus und die lateromediale Projektion des Tarsus als die beiden wichtigsten Röntgenaufnahmen bestätigt. Durch Einschränkung der Anzahl von Aufnahmen können somit die Kosten für den Besitzer niedriger gehalten werden. Trotz dieser Einschränkung kann eine eindeutige und zuverlässige Diagnose gestellt werden.

Wie bereits oben erwähnt, ist der Vorgang der enchondralen Ossifikationsprozesse nur als Richtlinie anzusehen. Abweichungen von dieser Richtlinie treten häufig auf. Die Gründe dafür sind weitgehend unbekannt und sind in vielen Fällen nur Spekulationen, welche noch nicht oder zu-



**Abb. 19:** Dp Röntgenbild eines Karpus und Lm Röntgenbild eines Tarsus des kleineren Fohlens, 2 Tage nach Geburt.

**Abb. 20:** Dp Röntgenbild eines Karpus und Lm Röntgenbild eines Tarsus des größeren Fohlens, 2 Tage nach Geburt. Man beachte den Unterschied in Ossifikation (Abb. 19 u. 20).



mindest nur teilweise erforscht und bewiesen sind (Abb. 17).

Ungenügende Blutversorgung während der Gestationsperiode kann jedoch als ein gesicherter Grund für ungenügende Ossifikation zur Zeit der Geburt angesehen werden. Ungenügende Blutzufuhr kann durch starken Parasitenbefall, Kolik, metabolische Beschwerden und Unterernährung erzeugt werden. Am leichtesten sind die Auswirkungen von ungenügender Blutversorgung während der Gestationsperiode an Hand von Zwillinggebürten nachzuweisen.

Eine Quarterhorsestute gebar 308 Tage nach Bedeckung durch einen Percheronhengst Zwillingfohlen (Abb. 18). Das größere Fohlen wog bei Geburt 29,5 kg und das kleinere 20,4 kg. Das kleinere Fohlen mußte zu Beginn künstlich

**Abb. 21:** Das kleinere Fohlen mit den Stützverbänden über Karpus und Tarsus.



**Abb. 22:** Dp Röntgenbild eines Karpus und Lm Röntgenbild eines Tarsus des kleineren Fohlens, 2 Wochen nach Beginn der Applikation von Stützverbänden. Eine signifikante Zunahme in Ossifikation konnte festgestellt werden.

**Abb. 23:** Dp Röntgenbild eines Karpus und Lm Röntgenbild eines Tarsus des größeren Fohlens, 2 Wochen nach Beginn der Stützverbandapplikation.



ernährt werden. Röntgenaufnahmen der Karpal- und Tarsalregionen beider Fohlen zeigten deutliche Unterschiede in der Ossifikation (Abb. 19 u. 20). Der Ossifikationsgrad des kleineren Fohlens entsprach ungefähr demjenigen eines 260 Tage alten Föten (Abb. 19), während derjenige des größeren Fohlens dem eines 290 Tage alten Föten entsprach (Abb. 20). Die Stute wurde einmal gedeckt, also wurden beide Fohlen zur gleichen Zeit konzipiert. Es handelte sich bei den Fohlen nicht um eineiige Zwillinge, da eines braun und das andere schwarz war. Der einzige Grund für die unterschiedlichen Entwicklungsgrade der beiden Fohlen muß daher in der Blutversorgung der beiden Hemiplazenten liegen. Das kleinere Fohlen mußte während der Gestationszeit mit weniger Blut versorgt worden sein als das größere. Der Entwicklungsgrad des größeren Fohlens kann als normal angesehen werden. Beide Fohlen zeigten beachtliche Achsenfehlstellungen in allen 4 Beinen (Abb. 18). Ein Verband wurde über die Karpal- und Tarsalregionen beider

Fohlen angebracht und mit Schienen verstärkt. In den Vordergliedmaßen wurden hemizylindrische Schienen aus Polyvinylchlorid (PVC) an der palmaren Seite verwendet. Die Phalangen wurden nicht in den Verband miteinbezogen. Die Schienen reichten vom Fesselgelenk bis zum proximalen Drittel des Radius (Abb. 21). Dies erfolgte, um Sehnenfunktion und Phalangealstellung nicht allzu sehr zu beeinträchtigen. Wird bei einem Fohlen die Sehnenfunktion für längere Zeit durch Schienen oder Gipsverbände übernommen, so verlieren die Sehnen ihren Tonus, und die Fesselstützfunktion der Sehnen ist daher für einige Zeit verloren. Die Folge davon ist ein Absinken und somit Abstützen des Fesselgelenkes auf dem Boden, mit den Phalangen in horizontaler Richtung. Nach dem Entfernen der Stützverbände richten sich die Zehen mit der Zeit wieder etwas auf. Am Tarsus wurden Schienen aus Kunststoff (Hexcelite, Hexcel Inc. Calif.) an der dorsalen Seite angebracht (Abb. 21). Die Verbände und Schienen wurden alle 4 Tage



**Abb. 24:** Dp Röntgenbild eines Karpus und Lm Röntgenbild eines Tarsus des überlebenden Fohlens, 2 Monate später. Eine Achsenfehlstellung von 7 Grad entwickelt sich im Karpus und das Os tarsale tertium (Pfeil) überragt die umliegenden Knochen leicht.



**Abb. 25:** Ein 6 Wochen altes Quarterhorsefohlen mit Valgusachsenfehlstellung in beiden Karpalregionen. Der linke Karpus ist geschwollen, und das Fohlen wollte dieses Bein nicht belasten.

gewechselt. Die Schienen dienen dazu, die Belastung der ungenügend ossifizierten Gewebe über das ganze Gelenk auszugleichen und lokale Kompression des Primordialknorpels zu verhindern. Solche Kompressionsstellen können u. a. auf der lateralen Seite des Karpus und an der dorsalen Seite des Tarsus auftreten. Geschehen solche lokale Kompressionen, ohne daß etwas dagegen unternommen wird, atrophiert der Primordialknorpel, was zu persistierenden Achsenfehlstellungen, verbunden mit degenerativen Gelenkserkrankungen, führen kann.

Die Röntgenaufnahmen wurden 2 Wochen später wiederholt (Abb. 22 u. 23). Es konnte eine deutliche Zunahme des Ossifikationsgrades bei beiden Fohlen festgestellt werden. Leider verstarb das kleinere Fohlen 2 Tage später an Kopfverletzungen, welche wahrscheinlich von der Mutter beigebracht wurden.

Die Schienenverbände wurden beim größeren Fohlen noch für 2 Monate beibehalten. Röntgenbilder der Karpal- und Tarsalregion zeigten zu diesem Zeitpunkt weitgehend normale Entwicklung (Abb. 23).

Im Karpus konnte eine Valgusachsenfehlstellung von 7 Grad festgestellt werden, welche durch periostale Transsektion und Lösung korrigiert wurde (Auer et al., 1982b; Auer et al., 1983; Turner, 1985). Das Os tarsale tertium zeigte eine leichte Verformung dorsal, indem es über die Konturen des Os tarsi centrale und Mc3 herausragte. Wäre dieses Fohlen nicht mit Schienenverbänden über eine längere Zeit behandelt worden, hätten sich mit Bestimmtheit ernsthafte degenerative Veränderungen eingestellt, was zu einer Lahmheit und schließlich zur Euthanasie geführt hätte.

Ein 6 Wochen altes Stutfohlen, welches zur Korrektur einer Achsenfehlstellung eingeliefert wurde, wird hier als Beispiel erwähnt, wie man ein Fohlen mit ungenügender Ossifikation zur Zeit der Geburt nicht vernachlässigen sollte. Die klinische Untersuchung ergab eine starke Lahmheit vorne links mit Schwellung im Karpalbereich (Abb. 25).

Das Röntgenbild zeigte eine deutliche Valgusachsenfehlstellung, welche im Karpus lokalisiert war (Abb. 26). Die Ossa carpalia tertium und quartum war degenerativ verändert. Weitere degenerative Veränderungen konnten in den Gelenksflächen des lateralen Griffelbeines, des Os carpi radiale und intermedium lokalisiert werden. Abspengfrakturen des Os carpi radiale (Abb. 26, Pfeile) deuten auf die Instabilität des Karpus hin. Der Winkel zwischen der proximalen Gelenksfläche des Mc3 und der Kontaktstelle zwischen dem Mc3 und Mc4 beträgt 119 Grad und deutet auf eine deutliche Hypoplasie oder Druckatrophie des proximalen Endes des Mc4 hin. Das Fohlen wurde euthanasiert, und die Eröffnung der Gelenke ergab fortgeschrittene Gelenkszerstörung, verbunden mit Synovitis und Frakturen im Interkarpal- und Karpometakarpalgelenk (Abb. 27 u. 28). Das Os carpalia quartum war im Vergleich zu den anderen Knochen der distalen Karpalknochenreihe leicht beweglich. Die Karpalregion der rechten Vordergliedmaße zeigte auch eine Valgusfehlstellung, welche im Karpus lokalisiert war; doch waren nur geringgradige degenerative Prozesse vorhanden. Es ist die Erfahrung des Autors, daß Fohlen mit Achsenfehlstellungen in den Vordergliedmaßen, die Lahmheiten verursachen, nicht geholfen werden kann. Fohlen mit solchen Problemen sollten euthanasiert werden.

Anders ist es mit ungenügender Ossifikation der Tarsalknochen. Dieser Problemkreis wurde als avaskuläre Nekrose des Os tarsi centrale oder Os tarsale tertium beschrieben (Morgan, 1967). Andere Ursachen sind in Abb. 17 zusammengefaßt. Wenn das Ganze aber aus der Sicht der ungenügenden Ossifikation des Tarsus betrachtet wird, kann man eher von einer Atrophie der obengenannten Tarsalknochen sprechen (Auer et al., 1982). Ein Fohlen, welches mit ungenügender Ossifikation geboren wird und viel Weidegang und Auslauf hat, traumatisiert die ungenügend ossifizierte Knochen dauernd. Karpus und Tarsus sind anscheinend besonders diesem Trauma ausgesetzt. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich im komplizierten Bau der Karpal- und Tarsalregion mit den zahlreichen kleinen Knochen. Die Probleme im Karpus wirken sich in einer Achsenfehlstellung in der Frontal- und Sagittalebene aus, verbunden mit einer gewissen Auswärtsrotation der distalen Gliedmaßenpartien. Die normale Belastungsachse der Hintergliedmaßen beschreibt, von der Seite gesehen, einen Winkel im Tarsus, was zu einem erhöhten Kompressionsdruck in der Region des Os tarsi centrale oder Os tarsale tertium führt (Abb. 29). Wenn nun diese Knochen ungenügend ossifiziert sind, kann dieser erhöhte Lokaldruck eine Atrophie des Primordialknorpels erzeugen, was dann zu einem geschwächten Knochen und somit zur pathologischen Fraktur führen kann. Durch den Weidegang kann das Fragment zwischen den Tarsalknochen noch dorsal herausgequetscht werden (Abb. 30), was einen Kollaps des Tarsus zur Folge hat (Abb. 29). Fohlen mit solchen Problemen haben eine kuhhessige und säbelbeinige Gliedmaßenstellung, verbunden mit einem charakteristischen Gang. Sie können mit den Hintergliedmaßen nicht traben, sondern hüpfen dauernd, was sich meist zum Galopp umwandelt. Sofern diese Fohlen mit Stützverbänden und Stallruhe versorgt



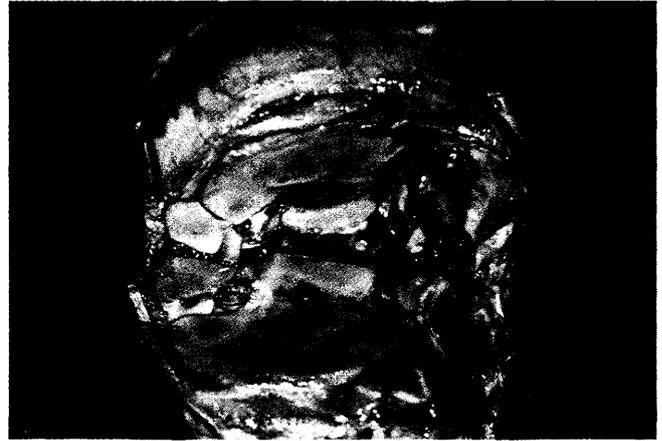
**Abb. 26:** Dp Röntgenaufnahme des linken Karpus des Fohlens in Abb. 25. Die Achsenfehlstellung war im Interkarpal- und Karpometakarpalgelenk lokalisiert. Man beachte die Distalverschiebung des Mc4. Degenerative Prozesse sind leicht sichtbar zwischen Mc4, dem Os carpalia tertium und quartum. Man beachte die Abspengfrakturen zwischen Os carpi radiale und intermedium (Pfeile).

sind, werden die Frakturen innerhalb weniger Wochen heilen (Abb. 31); dies jedoch in einer abnormen Konfiguration. Mit der Zeit ankylosieren die beiden distalen Reihen der Tarsalknochen mit Mc3. In diesem Fall sind die Fohlen wieder schmerzfrei und können auch für leichten Reitsport eingesetzt werden. Da dieses Problem keinen erblichen Defekt darstellt, können diese Tiere auch zur Zucht eingesetzt werden.

Das Problem der ungenügenden Ossifikation zum Zeitpunkt der Geburt ist visuell schwierig zu erfassen. Bei Zwillings- oder Frühgeburten kann mit guter Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß die Knochen ungenügend ossifiziert sind. Röntgenaufnahmen sind zur Zeit die einzigen zuverlässigen Hilfsmittel, welche ein Tierarzt zur Verfügung hat, um eine sichere Diagnose zu stellen. Diese Röntgenbilder sollten, wenn möglich, am ersten Lebenstag zusammen mit der perinatalen Untersuchung durchgeführt werden, und zwar bei allen Fohlen. Der Grund dafür liegt darin, daß viele Fohlen, welche nach normaler Gestationszeit geboren werden, physiologisch unterentwickelt sind und eine gewisse ungenügende Ossifikation aufweisen. Die Behandlung, wenn sie in den ersten 2 bis 3 Tagen einsetzt,



**Abb. 27:** Aufnahme des eröffneten Interkarpalgelenkes des Fohlens in Abb. 25 und 26. Man beachte die Synovitis zusammen mit den Knorpeldefekten im distalen Os carpi intermedium und Os carpale tertium und quartum.



**Abb. 28:** Aufnahme des eröffneten Karpometakarpalgelenkes des Fohlens in Abb. 25 und 26. Man beachte die degenerativen Prozesse mit Frakturen im Os carpale quartum und Mc4.

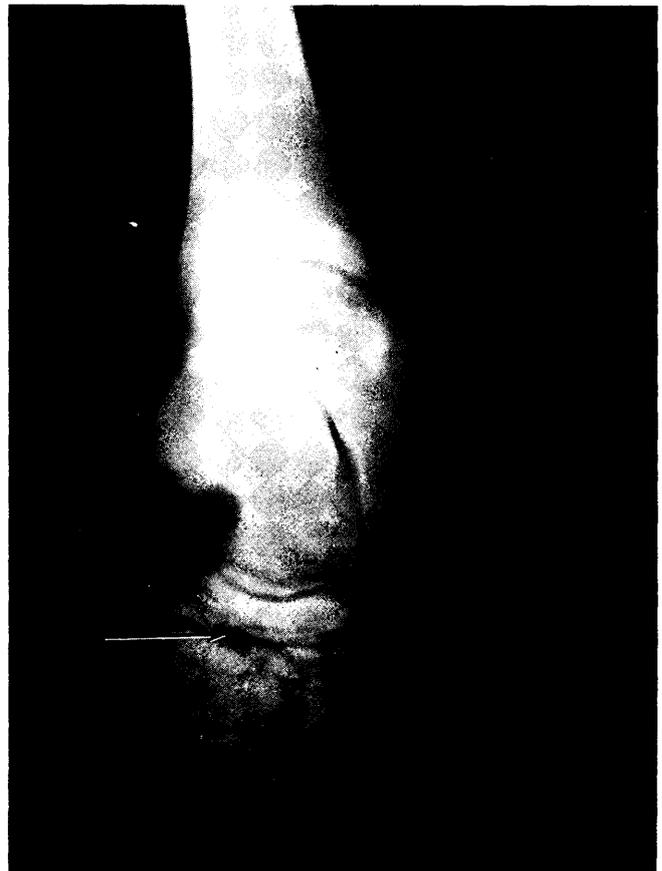
kann sehr erfolgreich sein, und richtig behandelte Fohlen können sich normal weiterentwickeln. Versäumt man aber diesen Zeitpunkt, so können die schon entstandenen Veränderungen nicht mehr korrigiert werden. Es ist hart für einen Tierarzt, dem Besitzer eines dreiwöchigen Fohlens mit hochgradigen Achsenfehlstellungen erklären zu müssen, daß jede Hilfe zu spät kommt; wenn das Fohlen 2 $\frac{1}{2}$  bis 3 Wochen früher vorgestellt worden wäre, hätte man ihm helfen können. In manchen Fällen werden jedoch die Fohlen während der ersten 2 Lebensstage von Tierärzten untersucht, ohne daß jedoch Röntgenbilder des Karpus und Tarsus angefertigt werden. Falls sich dann in den folgenden Tagen eine Achsenfehlstellung entwickelt, welche auf eine ungenügende Ossifikation zurückzuführen ist, ist es schwierig, den Tierarzt von jeglicher Schuld freizusprechen. Die Kosten für die Röntgenaufnahmen sind für den Besitzer tragbar, wenn er dadurch sicher sein kann, daß das Skelett normal ausgebildet ist und der Belastung während des Weidegangs standhält.



**Abb. 29:** Vier Wochen altes Fohlen mit Kollaps des Os tarsale tertium. Man beachte den Dorsalkollaps im Tarsus.

### Schlussfolgerungen

1. Ungenügende Ossifikation der Primordialknochen kann oft eintreten. Die Karpal- und Tarsalregion sind mit ihren komplizierten anatomischen Verhältnissen oft der ungenügenden Ossifikation ausgesetzt.



**Abb. 30:** Lm Röntgenbild des linken Tarsus des Fohlens in Abb. 29. Man beachte die Fraktur im Os tarsale tertium (Pfeil).

2. Durch Röntgenaufnahmen der Karpal- und Tarsalregion kann der Ossifikationsgrad des neugeborenen Fohlens einfach evaluiert werden. Zu diesem Zweck genügt die dorso-palmare Aufnahme aus Karpus und die lateromediale Aufnahme am Tarsus.

3. Ungenügende Ossifikation des Karpus und Tarsus kann im Frühstadium nicht durch Adspektion visuell erkannt werden. Aus diesem Grunde sollten der Karpus und Tarsus am ersten Lebenstag röntgenologisch untersucht werden.

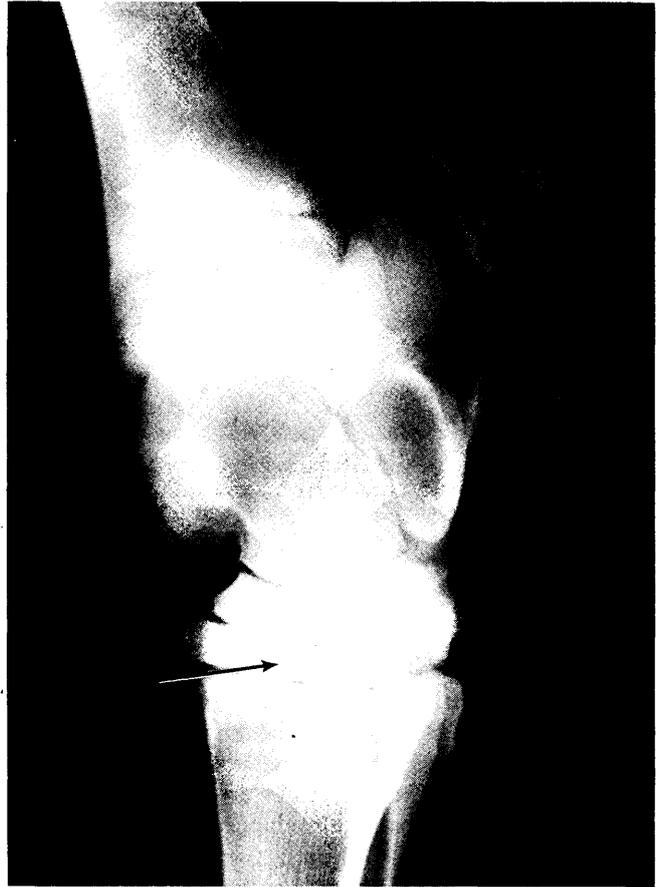
4. Kann man mittels dieser Untersuchung einen normalen Ossifikationsgrad des Karpus und Tarsus feststellen, so kann das Fohlen auf die Weide gelassen werden, sofern keine zusätzliche Achsenfehlstellung vorhanden ist. Wird normale Ossifikation im Zusammenhang mit einer Valgusfehlstellung vorgefunden, so sollte das Fohlen vorerst mit Stallruhe und nach 2 bis 4 Wochen, wenn nötig, mit „periostaler Durchtrennung und Lösung“ behandelt werden. Wird aber ungenügende Ossifikation der Karpal- und Tarsalknochen diagnostiziert, sollten sofort Schienenverbände angebracht werden. Solche Fohlen sollten natürlich nicht auf die Weide gelassen werden, bis die Knochen genügend ossifiziert sind.

5. Wird bei einem Fohlen mit ungenügender Ossifikation in den ersten Tagen mit der richtigen Behandlung begonnen, können weitaus in den meisten Fällen ernsthafte degenerative Veränderungen verhindert werden. Solchen Fohlen kann eine gute Prognose für einen späteren Einsatz im Pferdesport gegeben werden.

6. Wird die Diagnose nicht in den ersten Lebenstagen gestellt und dadurch eine effektive Behandlung verzögert, treten degenerative Prozesse ein, was die Prognose schnell verschlechtert.

7. Tritt in den Vordergliedmaßen im Zusammenhang mit einer Achsenfehlstellung eine Lahmheit auf, so sollte das Tier euthanasiert werden, da man diese Prozesse weder heilen noch korrigieren kann.

8. Treten solche Prozesse im Tarsus auf, so kann durch geeignete Behandlung, wie Stützverbände, eine Heilung eingeleitet werden. Mit Ankylosierung gewisser Tarsalknochen verschwindet die Lahmheit, und das Pferd kann später für leichten Reitsport oder Zucht verwendet werden.



**Abb. 31:** Lm Röntgenbild des linken Tarsus des Fohlens in Abb. 29, 6 Wochen nach Beginn der Stützverbandapplikation. Die Knochen sind gut verknöchert und die Fraktur beinahe geheilt (Pfeil). Allerdings sind Os tarsi centrale und Os tarsale tertium nicht normal ausgebildet.

J. A. Auer, DMV, MS  
Diplomate American College of Veterinary Surgeons  
Associate Professor of Veterinary Medicine and Surgery  
Large Animal Veterinary Teaching Hospital  
College of Veterinary Medicine  
Texas A & M University  
College Station, Texas, 77843  
USA

## Literatur

- Auer, J. A., Martens, R. J. (1980): Angular limb deformities in young foals. Proc. 26th Ann. Meet. Amer. Assoc. Equine Pract. 26, 81-96.
- Auer, J. A., Martens, R. J., and Morris, E. L. (1982 a): Angular limb deformities in foals: Congenital factors. Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. 4, 330-339.
- Auer, J. A., Martens, R. J., and Williams, E. H. (1982 b): Periosteal Transection for correction of angular limb deformities in foals. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 181, 459-466.
- Auer, J. A., Smallwood, J. S., Morris, E. L., Martens, R. J., McCall, V. H., Roenigk, W. J., and Boyd, C. L. (1982c): The developing equine carpus from birth to six months of age. Equine Pract. 4, 35-55.
- Auer, J. A., Martens, R. J., and Morris, E. L. (1983): Angular limb deformities in foals: Developmental factors. Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. 5, 27-40.
- Bertone, A. L., Turner, A. S., and Park, R. D.: Periosteal transection and stripping for the treatment of angular limb deformities in foals: Radiographic observations. J. Amer. Vet. Med. Assoc. in print.
- Fackelman, G. E., Reid, C. F., Leitch, M., and Cimprich, R. (1975): Angular limb deformities in foals. Proc. 21st Ann. Meet. Amer. Assoc. Equine Pract. 16, 161-166.
- Fretz, P. B. (1980): Angular limb deformities in foals. Vet. Clin. North Amer. Large Anim. Pract. 2, 125-150.
- Leitch, M. (1979): Angular limb deformities arising in the carpal region in foals. Compend. Cont. Educ. Pract. Vet. 1, S39-S44.
- Morgan, J. P. (1967): Necrosis of the third and central tarsal bone in the horse. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 151, 1334-1342.
- Nickel, R., Schummer, A., und Seifferle, E., (1968): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I: Der Bewegungsapparat. Verlag Paul Paray, Berlin und Hamburg, Dritte Auflage, 11-22.
- Smallwood, J. E., Auer, J. A., Martens, R. J., Morris, E. L., McCall, V. H., Roenigk, W. J., Boyd, C. L. (1984): The developing equine tarsus from birth to six months of age. Equine Pract. 6, 7-48.
- Turner, A. S. (1985): Gliedmaßenfehlstellungen bei Fohlen. Pferdeheilk. 1, 25-37.