

4. ERGEBNISSE

Die Erfassung der Meßwerte erfolgt vom 1. bis zum 147. LT (=21. LW). Zu diesem Zeitpunkt waren die untersuchten WP des Beinskeletts vollständig resorbiert und somit das Längenwachstum abgeschlossen.

Soweit nicht anders bezeichnet, handelt es sich bei den grafischen Darstellungen der Daten um die arithmetischen Mittelwerte der entsprechenden Altersgruppen (6 bzw. 4 Tiere) \pm der Standardabweichung. Ergänzend finden sich die Mittelwerte in tabellarischer Form im Anhang.

4.1 Makroskopische Befunde

4.1.1. Pathologisch – anatomische Befunde

Bei der Sektion sowie an den für die Histologie angelegten Knochenschnittflächen wurden keine für die Untersuchung relevanten, pathologischen Befunde erhoben.

Bei Tier T 45 konnte in der 9. Woche eine frische Fraktur des linken Flügels (Radius und Ulna), die mit hoher Wahrscheinlichkeit beim Einfangen bzw. Töten des Tieres entstanden war, diagnostiziert werden.

Gering- bis mittelgradig veränderte Gelenke in Form von Rotfärbungen des Gelenkknorpels T 43 (linker [li.] F prox., li. TT dist., li. TMT dist.), T 44 (li. F prox./dist., li. TT dist., li. TMT dist.), T 46 (li. F prox./dist., li. TT dist., li. TMT dist.), T 70 (li. F prox.), T 81 (li. F dist.), teilweise mit Schliffusuren des Gelenkknorpels T 46 (rechter [re.] TT dist.), T 80 (re. TT dist., re. TMT prox.) sowie in fünf Fällen Gelenkergüsse T 76, T 77, T 78, T 80 und T 81 (re. Sprunggelenk) konnten beobachtet werden. T 77 wies zusätzlich eine Femurkopfnekrose auf.

Bei drei Tieren in der 16. Lebenswoche (T 71, T 72 und T 74) zeigte sich eine Bursitis praesternalis mit z.T. erheblicher Flüssigkeitsansammlung bis zu 250 ml.

Da die Körpermasse dieser Tiere und die gemessenen knochenphysiologischen Parameter nahe am Mittelwert der jeweiligen Altersgruppe lagen, wurden sie mit in die Datenerfassung aufgenommen.

4.1.2. Körpermasseentwicklung

Die Körpermasseentwicklung von Mastputenhähnen der Hybridlinie Big 6 von der 0. bis zur 21. LW beschreibt, wie in der Abbildung 3 zu erkennen, einen tendenziell sigmoidalen Kurvenverlauf. Am 1. Lebenstag (LT) konnte eine durchschnittliche Masse der Küken von 59,17 g ermittelt werden. Bis zur 8. LW weist die Kurve einen moderaten exponentiellen Anstieg auf. Sehr hohe rechnerische tägliche Zunahmen werden zwischen der 10. und 11. LW mit durchschnittlich 250,14 g/d sowie zwischen der 13. und 14. LW mit 252,14 g/d erreicht, so dass ein Wendepunkt der idealisierten Kurve in dieser Altersgruppe anzunehmen wäre. Die höchste durchschnittliche wöchentliche Zunahme ist mit 1825 g zwischen der 19. und 20. LW ersichtlich. Zum Ende der Mastperiode mit 21 LW wiesen die Tiere eine Körpermasse von im Mittel 20,530 kg auf.

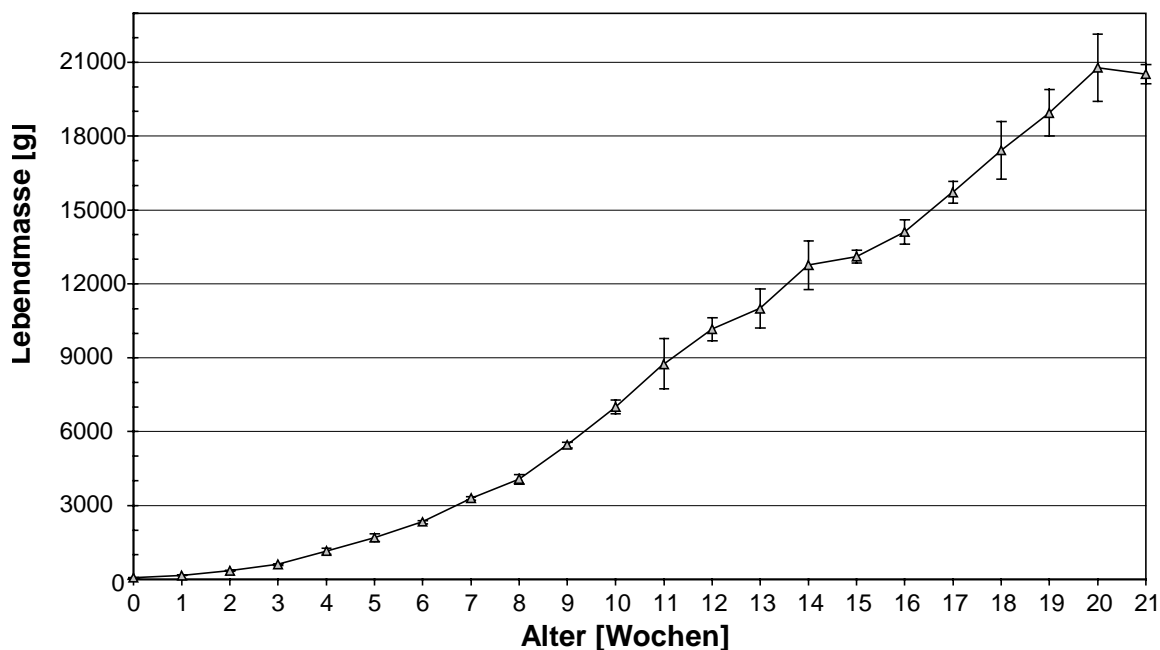


Abb. 3: Körpermasseentwicklung von Putenhähnen der Hybridlinie Big 6 vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

4.1.3. Knochenlängenentwicklung von Femur, Tibiotarsus und Tarsometatarsus

Das Längenwachstum der drei untersuchten Gliedmaßenknochen [Femur (F), Tibiotarsus (TT) und Tarsometatarsus (TMT)] zeigt ein relativ kontinuierliches tendenziell sigmoidales Wachstum. Die Standardabweichung innerhalb der Altersgruppen ist gering. Die Wachstumskurven, in welcher die Mittelwerte der Knochenlängen der jeweiligen Altersstufe dargestellt sind (s. Abb. 4), weisen Phasen leicht beschleunigten Längenwachstums zwischen der 4. und 10. LW auf. Die Kurvenverläufe von F und TMT stellen sich als annähernd parallel dar, wobei der F über den gesamten Wachstumszeitraum geringgradig kürzer ist. Die Kurve des TT, welcher schon zum Zeitpunkt des Schlupfes den längsten der drei Knochen darstellt,

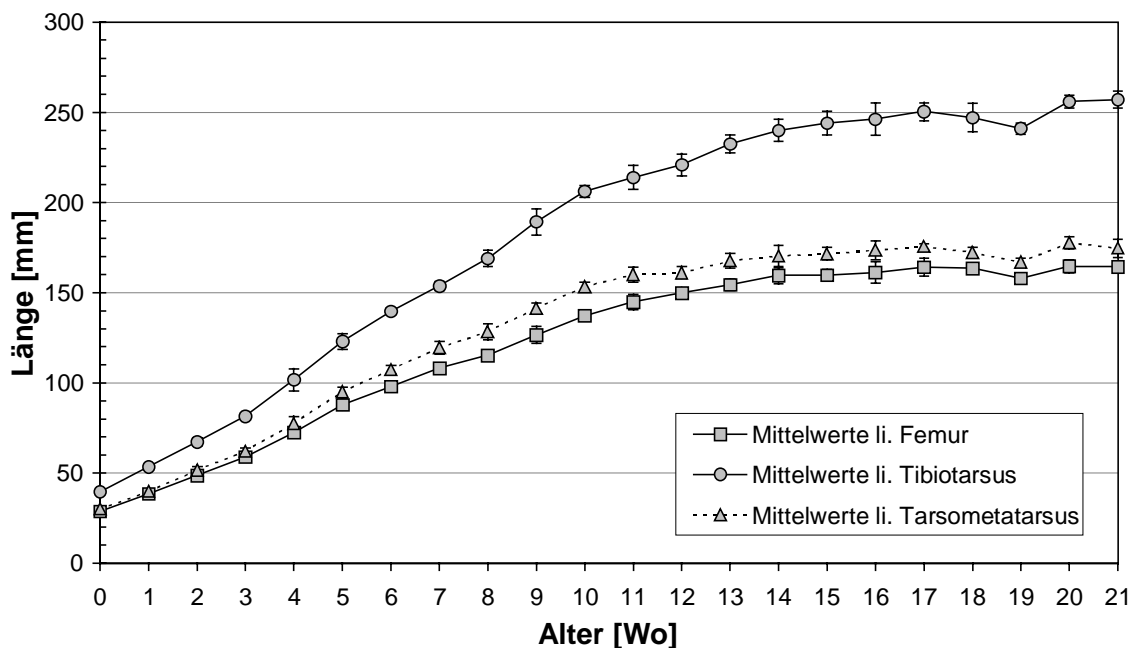


Abb. 4: Knochenlängenentwicklung von Femur, Tibiotarsus und Tarsometatarsus vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

zeigt bis zur 12. LW einen etwas steileren Anstieg, um dann ebenfalls parallel zu den beiden erstgenannten Kurven zu verlaufen. Alle drei Kurven weisen in der 18. – 19. LW einen leichten Abfall auf, gleichen sich aber in der 20. – 21. LW wieder einer idealisierten Kurve an.

Der **Femur** hat am 1. Lebenstag (LT) eine mittlere Länge von 28,80 mm. Bis zur 8. LW erreicht er eine Länge von 115,25 mm, was einer rechnerischen durchschnittlichen täglichen Längenzunahme von 1,57 mm/d entspricht. Im weiteren Verlauf stagniert die Längenzunahme sukzessive, bis in der 17. LW eine mittlere Femurlänge von 164,13 mm erreicht wird. In den folgenden Wochen bis zur 21. LW sind lediglich geringe Schwankungen um diesen Wert festzustellen.

Die mittlere Länge des **Tibiotarsus** beträgt am 1. LT 39,6 mm, womit er in etwa ein Drittel länger ist als der F und der TMT. Bis zur 8. LW, in der er eine mittlere Gesamtlänge von 169,00 mm aufweist, ergeben sich rechnerische durchschnittliche tägliche Längenzuwächse von 2,35 mm/d. Damit weist dieser Knochen eine deutlich höhere Wachstumsintensität als die anderen beiden auf. Zwischen der 10. und 18. LW kommt es zur fortschreitenden Stagnation des Wachstums. In der 17. LW wird ein mittlerer Wert von 250,38 mm, in der 20. und 21. LW Werte von 256,00 mm und 257,13 mm erreicht.

Der **Tarsometatarsus** weist am 1. LT im Mittel eine Länge von 30,10 mm auf und ist damit nur geringgradig länger als der Femur. Der Kurvenverlauf entspricht weitestgehend dem des Femur, wobei der TMT beim Vergleich der Altersstufen ab der 8. LW konstant in etwa 13,00 mm länger ist als der F. In der 8. LW erreicht der Knochen eine durchschnittliche Länge von 128,38 mm, dies entspricht einem rechnerischen durchschnittlichen täglichen Längenzuwachs seit dem ersten Lebenstag von 1,79 mm/d. Entsprechend dem F stagniert das Wachstum des TMT im weiteren Verlauf kontinuierlich bis zur 17. LW bei einer mittleren Länge von 175,63 mm.

4.1.4. Kraniokaudaler Diaphysendurchmesser von Femur und Tibiotarsus

Wie in der Abb. 5 ersichtlich, erfolgt sowohl beim Femur als auch beim Tibiotarsus in den ersten drei bzw. vier Lebenswochen ein etwas geringeres Dickenwachstum der Diaphyse in kraniokaudaler Richtung als in den folgenden 12 Wochen. Bei gleichem mittleren Knochendurchmesser von 1,80 mm am ersten Lebenstag beginnend divergieren die beiden Kurven im weiteren Verlauf leicht, wobei der F einen geringgradig größeren Durchmesser zeigt. Weiterhin weist er ein etwas früher einsetzendes und insgesamt etwas stärkeres kraniokaudales Dickenwachstum als der Tibiotarsus auf und erreicht in der 15. LW einen Plateauwert von 17,49 mm (Maxima: 20. LW= 17,96 mm; 21. LW= 17,54 mm). Der kraniokaudale Tibiotarsusdurchmesser nimmt, verglichen mit dem des Femur, bei etwas geringerer Steigung der Kurve deutlich länger zu und das Dickenwachstum scheint mit 21 LW bei Werten von 15,84 mm (Maximum: 20. LW= 16,04 mm) noch nicht endgültig abgeschlossen.

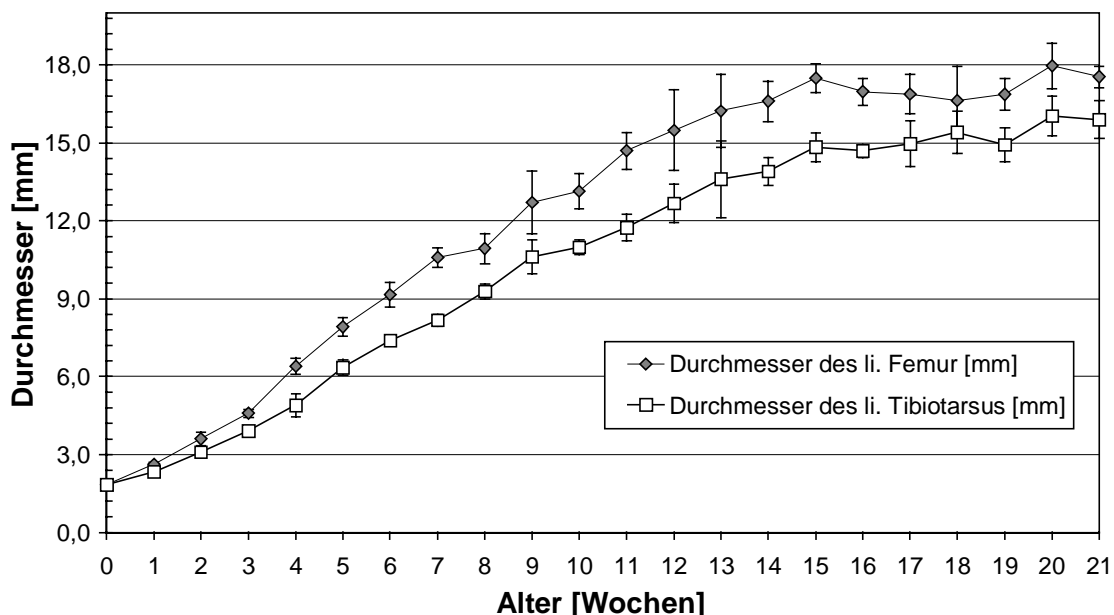


Abb. 5: Kraniokaudaler Diaphysendurchmesser von Femur und Tibiotarsus vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

4.1.5. Feuchtmasse des rechten Femur

Die Masseentwicklung des präparierten rechten Femur der 94 Putenhähne über 21 LW zeigt, wie in Abb. 6 graphisch dargestellt, einen annähernd sigmoidalen Kurvenverlauf. Die ursprüngliche mittlere Femurfeuchtmasse von 0,30 g am ersten Lebenstag steigt im Laufe von 20 LW auf 90,07 g. Das entspricht mehr als dem 300-fachen des Ausgangswertes. Nach einer anfänglich geringen Steigung der Kurve bis zur 3. LW kommt es sukzessive zu einer Erhöhung der mittleren Zuwachsraten. Maximale Steigungen existieren zwischen der 8. und 9. LW um 11,18 g auf 42,02 g sowie zwischen der 10. und 11. LW um 10,87 g auf 61,88 g. Im weiteren Verlauf flacht die Kurve allmählich ab und es werden mittlere Werte zwischen 83,60 g in der 19. LW und 90,07 g in der 21. LW erreicht.

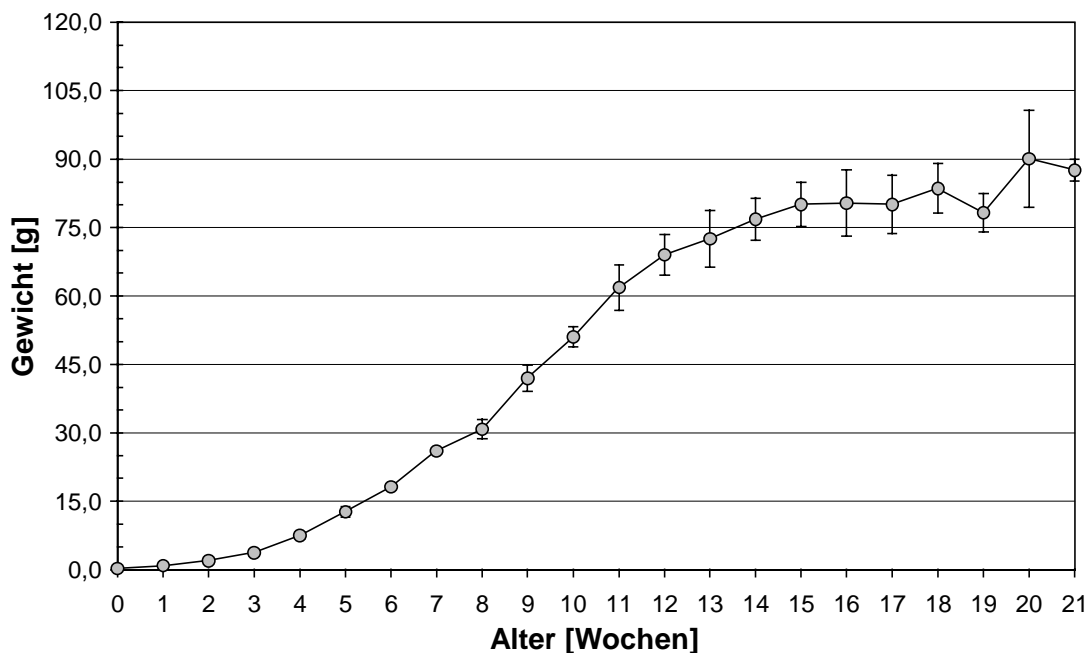


Abb. 6: Feuchtmasse des rechten Femur vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

4.2. Histologische Befunde

4.2.1. Die Wachstumsplatte und der embryonale Knorpelkegel (EK)

Über einen großen Zeitraum nach dem Schlupf stellt sich die Histologie des Knochenwachstums an allen untersuchten Knochenenden einheitlich dar, so dass sie folgend zusammenfassend dargestellt werden kann (s. Abb. 7). Gesondert betrachtet werden müssen die Ablösung und Resorption der EK's über die ersten drei Lebenswochen, da sie sich bei den einzelnen Knochenenden unterschiedlich schnell vollziehen, sowie der Zeitpunkt des WP-Schlusses, der ebenfalls zu unterschiedlichen Zeiten erfolgt und Besonderheiten hinsichtlich der WP-Zonen, ihrer Dicke und der Gefäßversorgung aufweist. Der aufgrund seines phylogenetischen Aufbaus aus drei Knochenanlagen (Os metatarsale II, III und IV) zusammengesetzte proximale TMT besitzt entsprechend eine zweifach geteilte WP.

Die sich schwach basophil anfärbende **Ruhezone (RZ)** wird aus einer ca. 10–14 Zellen starken Lage vornehmlich einzeln, mit zunehmendem Alter auch paarweise liegenden Chondrozyten gebildet. Ihr Übergang zur Chondroepiphyse vollzieht sich fließend, wobei sich die interzelluläre Matrix etwas homogener und weniger verwaschen darstellt. Die im Vergleich zur Chondroepiphyse geordneter und dichter gepackt erscheinenden Zellen sind kleiner, oval, distal zunehmend abgeflacht mit großem basophilem Zellkern. An einigen Schnittpräparaten läßt sich der Übergang zusätzlich durch eine Reihe quergeschnittener Gefäße erkennen, die dem epiphysealen Gefäßsystem zuzuordnen sind. Distal verdichten sich die Zellen deutlich und die Interzellulärsubstanz weist ein stark basophiles Färbeverhalten auf, wodurch eine Abgrenzung zur sich anschließenden **Proliferationszone (PZ)** gut möglich ist (s. Abb. 7 u. 8). In dieser Zone steigt die Zelldichte schlagartig an, die basophilen Zellen sind stark abgeflacht, bohnen- bis sichelförmig, wobei die konkave Seite distal weist. Der Zellkern zeigt ein dunkles Färbeverhalten, ist entsprechend der Zellform teilweise sehr flach und nur von wenig Zytoplasma umgeben. Die Zellen ordnen sich aufgrund hoher Mitoseraten zu proximodistal ausgerichteten Säulen an, die eine hohe Anzahl von Zellpaaren beinhalten. Da Zellteilungen über die gesamte Zone stattfinden beschreiben die Säulen teilweise „Zick-Zack-Kurse“. Verglichen mit der Chondroepiphyse weist diese Zone eine relativ geringe Menge sich basophil anfärbender extrazellulärer Matrix auf, welche sowohl in vertikalen als auch in

horizontalen schmalen Streifen zwischen den Zellsäulen liegt. Eine Reihe von Gefäßkanälen durchziehen in Längsachse des Knochens die PZ. Diese ungleichmäßig auftretenden epiphysealen Gefäßkanäle (EVC's) enthalten jeweils einige penetrierende epiphysäre Gefäße (PEV's), welche am distalen Pol im Bereich der prähypertrophen Zone in einer Haarnadelschleife umschlagen, um wieder proximal zu ziehen. Die Chondrozyten, welche sich entlang der Gefäßkanäle anordnen, erscheinen rund bis, dem Kanal anliegend, abgeflacht und weisen einen erhöhten Anteil extrazellulärer Matrix auf, die außerdem ein intensiveres Färbeverhalten zeigt.

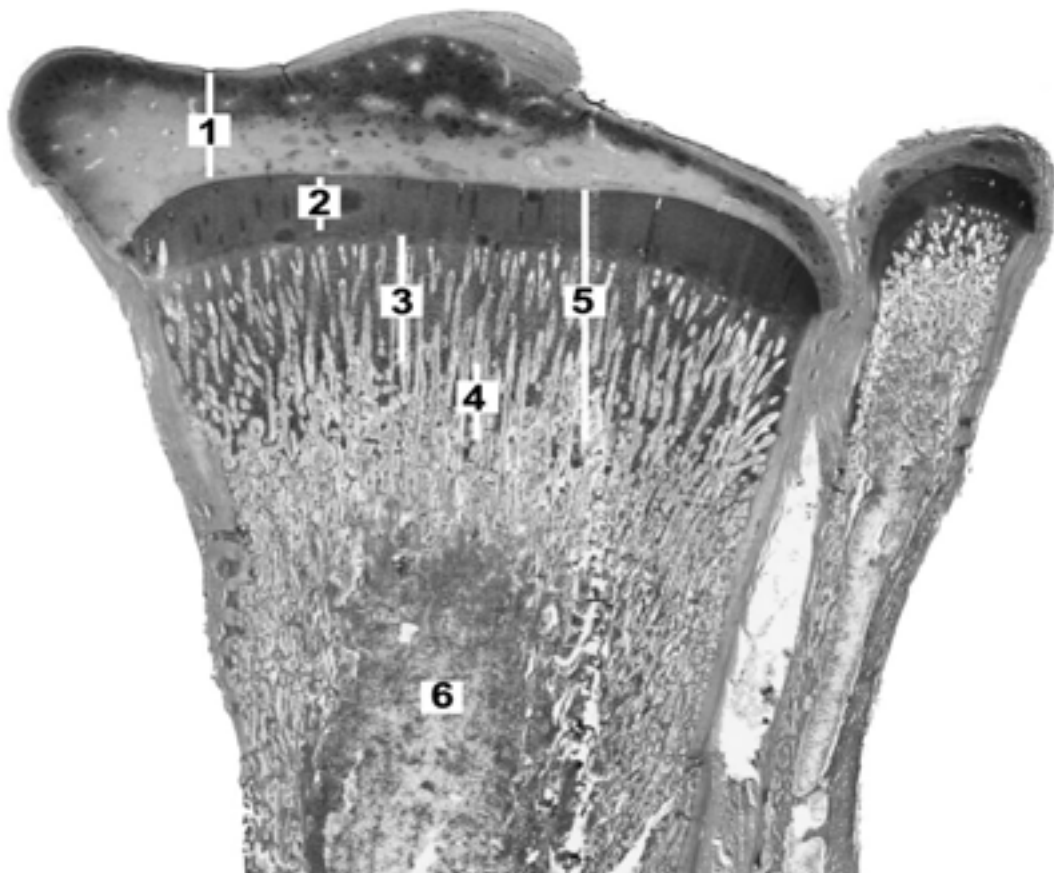


Abb. 7: Zonen der Wachstumsplatte am Beispiel des prox. Tibiotarsus, T28, 5. LW, Transversalschnitt, H.-E., 25x

- | | | | |
|----|-----------------------------|----|----------------------|
| 1. | Gelenk- u. Epiphysenknorpel | 4. | Ossifikationszone |
| 2. | Proliferationszone | 5. | ges. Wachstumsplatte |
| 3. | hypertrophe Zone | 6. | Markraum |

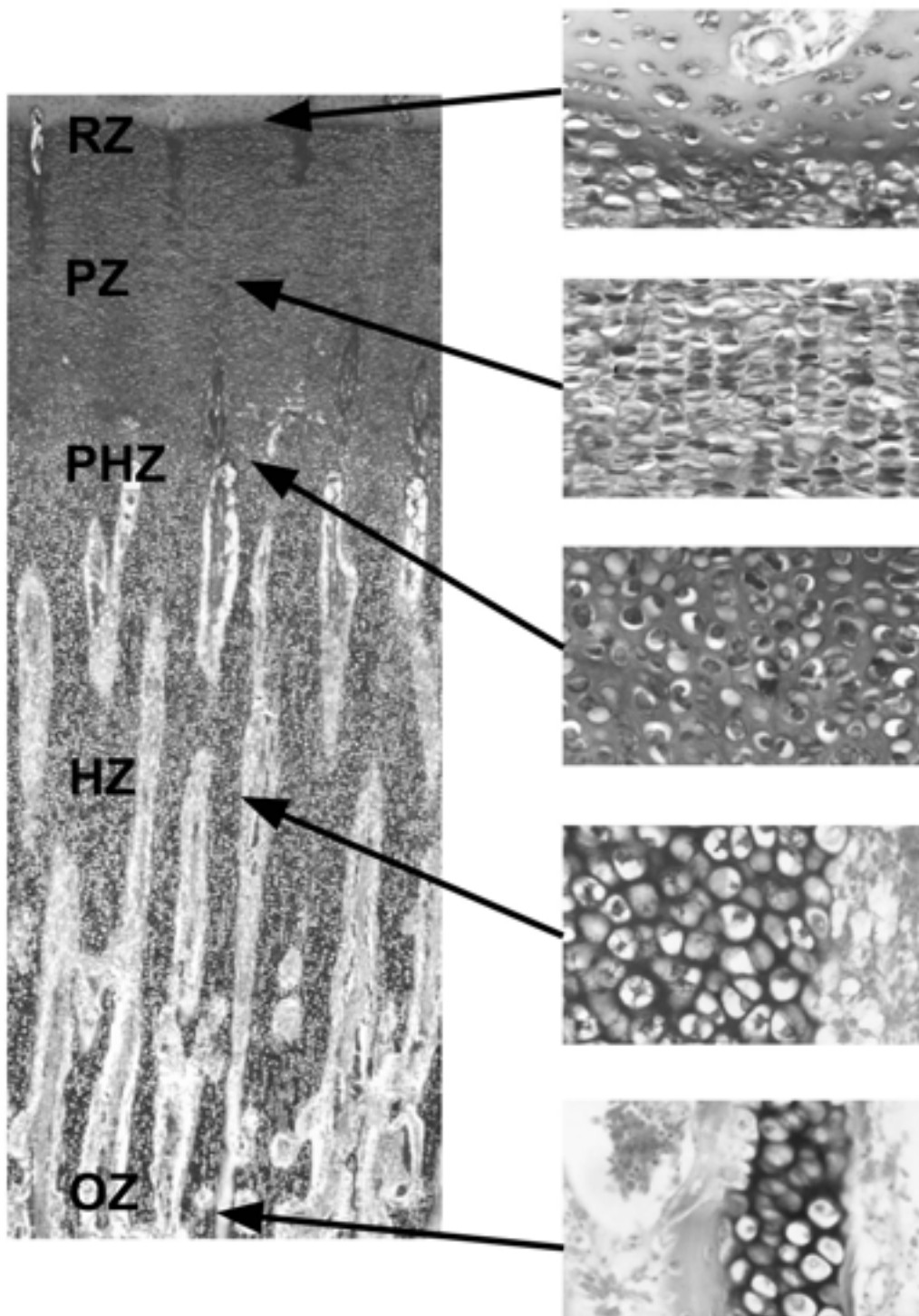
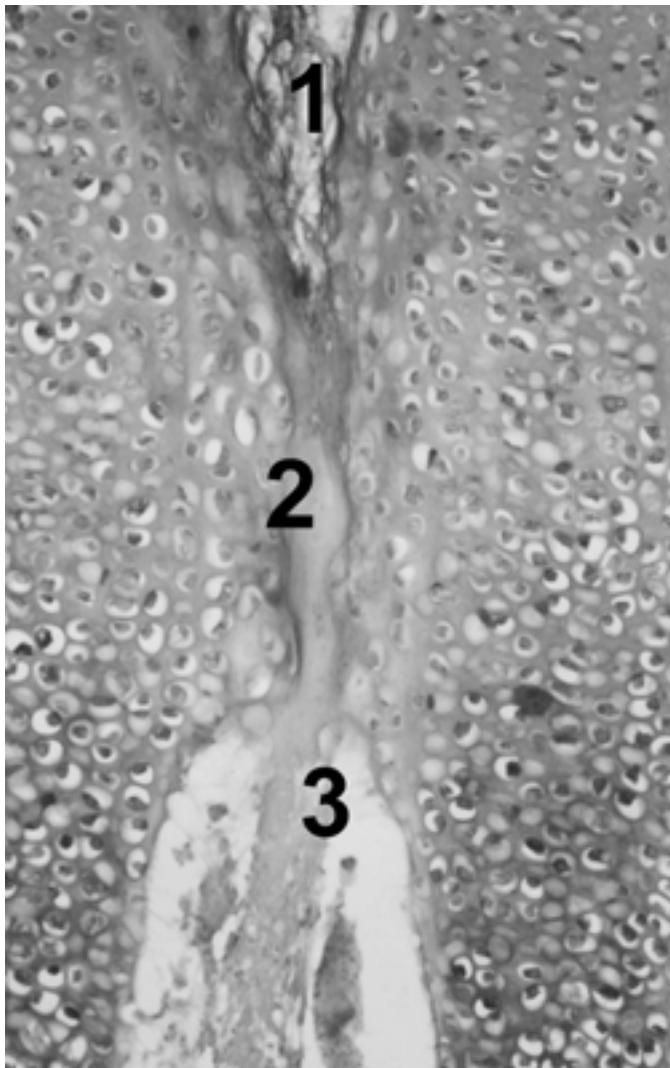


Abb. 8: Zellarten der Wachstumsplatte, T28, prox. TT, 5. LW, H.-E., 400x;
 (RUHEZONE; PROLIFERATIONSZONE; PRÄHYPERTROPHEZONE;
 HYPERTROPHEZONE; OSSIFIKATIONSZONE)

Die Grenze zur folgenden, etwa 15 Zellen starken **prähypertrophen Zone (PHZ)** ist fließend, jedoch aufgrund der einsetzenden Hypertrophie der Zellen und der damit verbundenen Auflockerung dieser Zone gut auszumachen. Desweiteren ist der Beginn dieser Zone gekennzeichnet durch den Verschuß der EVC's, welche sich als eosinophile Streifen (s. Abb. 9) in der gefäßfreien, deshalb auch als avaskuläre Zone bezeichneten, PHZ fortsetzen. Diese relativ zellarmen, mit eosinophilen Massen angefüllten, obliterierten Kanäle reichen bis zur hypertrophen Zone und setzen sich dort teilweise in metaphysären Gefäßkanälen (MVC's) fort. Die Zellen der PHZ nehmen bei deutlicher Expansion in distaler Richtung eine eher sphäroide Form an. Ihre exzentrisch gelagerten Zellkerne sind relativ klein. Im proximalen Anteil der PHZ kommen teilweise noch reifende Chondrozyten vor, in distaler Richtung wird die Hypertrophie der Zellen immer deutlicher, wobei ein Schwund an noch unmineralisierter extrazellulärer Matrix zu erkennen ist.



*Abb. 9:
Eosinophiler Streifen (2) zwischen
epiphysärem (1) u. metaphysärem (3)
Gefäßsystem, T35, 7. LW, H.-E., 200x*

Der fließende Übergang zur eigentlichen **hypertrophen Zone (HZ)** ist sowohl anhand des Auftretens von metaphysären Gefäßkanälen aus Richtung der Diaphyse als auch an dem Beginn der Mineralisation der nur noch spärlich vorhandenen stark basophilen extrazellulären Matrix auszumachen. Die Säulenordnung der Zellen ist noch über einen großen Abschnitt der HZ vorhanden, verliert sich diaphysär jedoch zunehmend. Bereits in der PHZ beginnend und in der HZ noch deutlicher in Erscheinung tretend, liegt eine optische Aufhellung des lichtmikroskopischen Bildausschnittes vor, welche einerseits auf die Hypertrophie der Zellen und andererseits auf eine fixierungsbedingte Zellschrumpfung zurückzuführen ist. Die dadurch entstandenen ovalen bis runden Knorpelzellohlen sind teilweise aufgrund von Auswaschung komplett leer oder sie enthalten geschrumpfte, exzentrisch gelagerte, eosinophile Zellen mit Zellkernen.

Nach dem Ablösen der embryonalen Knorpelkegel (s.u.) und der vollständigen Etablierung der WP ist die HZ durch in regelmäßigen Abständen fingerhandschuhartig in Richtung Epiphyse weisende metaphysäre Gefäßkanäle (MVC) gekennzeichnet, welche teilweise die o. g. eosinophilen Streifen nutzen, um in Richtung der PHZ vorzudringen. Diese Kanäle enden einige Zellen vor Erreichen der PHZ. In diesem stumpfen Scheitel beschreiben die in jedem Gefäßkanal mehrfach enthaltenen metaphysären Gefäße (MV) eine Haarnadelschleife, um wieder in Richtung der Diaphyse zu ziehen. Entlang der Gefäßkanäle und besonders an den Gefäßspitzen zeigen die Chondrozyten Anzeichen von Lysis oder werden durch über das Blut einwandernde Chondroklasten phagozytiert. Etwas weiter diaphysär beginnen zeitgleich in unmittelbarer Nähe des Gefäßendothels Osteoblasten mit der Anlagerung von eosinophilem amorphem Osteoid. Dieses bildet einen Saum entlang den verkalkten Chondrozyten, welche zwischen den Gefäßkanälen vorerst persistieren.

Die **embryonalen Knorpelkegel (EK's)** aller untersuchter Epiphysen schließen sich am 1. LT ohne sichtbare Grenzen an die HZ der jeweiligen WP an (s. Abb. 10). Eine Differenzierung zu ihr ist aufgrund der etwas kleineren Chondrozytendurchmesser der weniger deutlichen Anordnung der Zellen zu Säulen sowie der geringeren Basophilie der im EK vermehrten Interzellulärsubstanz bedingt möglich. Das Zytoplasma der Chondrozyten weist genau wie in der HZ fixierungsbedingte Schrumpfungen auf, wobei der Auswaschungsgrad der Zellen in Richtung der Diaphyse weiter zunimmt.

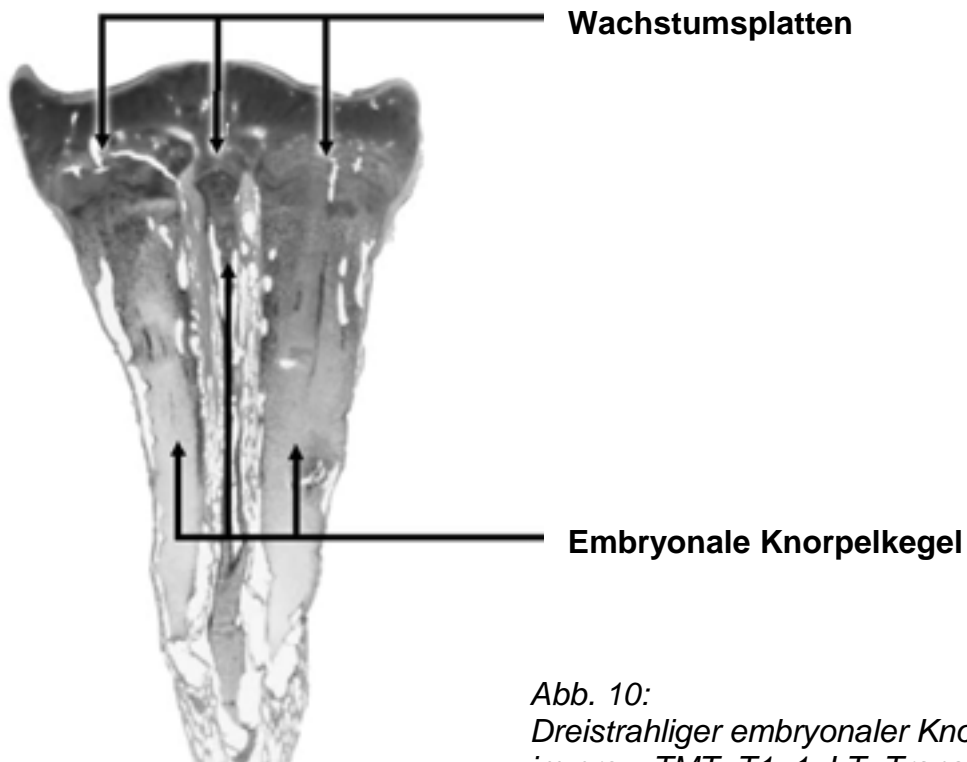


Abb. 10:
Dreistrahliger embryonaler Knorpelkegel
im prox. TMT, T1, 1. LT, Transversal-
schnitt, H.-E.

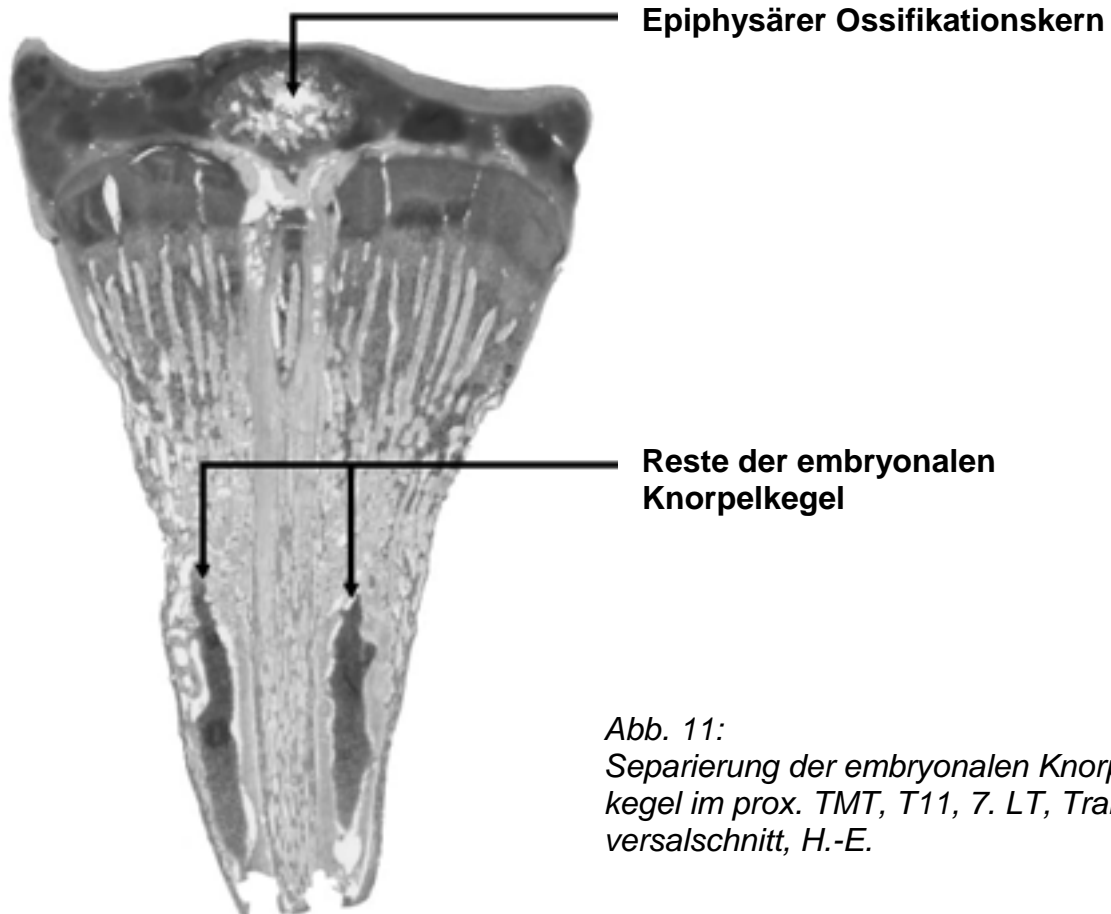


Abb. 11:
Separierung der embryonalen Knorpel-
kegel im prox. TMT, T11, 7. LT, Trans-
versalschnitt, H.-E.

Gefäße sind am 1. LT in relativ geringer Zahl vorhanden. Es können einige die prähypertrophe Zone durchziehende und tief in den EK eindringende transphyseale Gefäßkanäle beobachtet werden. Diese stellen sich jedoch bereits am 1. LT in allen untersuchten histologischen Schnittpräparaten nur noch als eosinophile Streifen im Bereich der PHZ zwischen dem metaphysären und dem epiphysären Gefäßsystem dar. In diesen obliterierten thrombosierten Gefäßanteilen läßt sich keine intakte Endothelauskleidung mehr erkennen.

Weiterhin können bereits am 1. LT metaphysäre Gefäße (MV) beobachtet werden, die senkrecht aus dem Markraum zwischen EK und diaphysärem Kortex oder im Randbereich des EK bis auf Höhe der HZ vordringen. Von diesen geht eine beginnende horizontale Einsprossung zwischen die HZ der sich etablierenden WP und den EK aus, und leitet dessen Ablösung ein.

Am 7. LT treten die MV's in deutlich höherer Zahl gleichmäßig über den schwindenden Knorpelkegel verteilt auf und dringen weiter in Richtung der HZ der WP vor. Die am 1. LT nur vereinzelt perivaskulär zu beobachtenden Chondroklasten und Osteoblasten kommen nun zahlreich vor und sind mit dem Abbau des hypertrophierten Knorpels und der Osteoidbildung sowohl in der HZ als auch an den Resten des EK beschäftigt.

Im prox. F und im prox. TMT (s. Abb. 11) sind alle EK's der untersuchten Tiere zum Ende der 1. LW komplett abgelöst, wohingegen im prox. TT bei einem Tier der EK noch in Verbindung mit der WP steht (T9). Eine bereits vollständige Resorption des EK liegt zu diesem Zeitpunkt bei einem Tier im dist. F und prox. TT (T12) und bei zwei Tieren im dist. TT (T7 u. T9) vor. In der 2. LW sind die EK vom prox. und dist. F und dist. TT bei allen untersuchten Tieren vollständig resorbiert. Hingegen sind im prox. TT bei der Hälfte der Tiere (T13, T14 u. T16) und im prox. TMT bei einem Tier (T13) zu diesem Zeitpunkt noch Anteile von EK vorhanden, die infolge von kontinuierlichen Zellteilungen in der WP in Richtung der Diaphyse verlagert sind. Die untersuchten Diaphysen älterer Tiere (> 2. LW) besitzen keine EK- Rudimente mehr.

Die sich an die HZ diaphysär angrenzende **Ossifikationszone (OZ)** ist ebenfalls durch die bereits in der HZ beginnenden Resorptions- sowie durch Verknöcherungs- und Umbauprozesse gekennzeichnet. Die anfänglich noch zusammenhängenden, zwischen den MVC's liegenden Chondrozytenbahnen werden in dieser Zone durch lakunenartige Querverbindungen zwischen den MVC's in kleinere Inseln

hypertropher Knorpelzellen separiert. Während die basophilen Knorpelzellinseln weiter von Chondroklasten resorbiert werden, bilden die ebenfalls basophilen Osteoblasten entlang des Gefäßendothels eosinophiles Osteoid. Infolge der Mineralisation des Osteoids bilden sich jugendliche Knochenbälkchen. Lichtmikroskopisch stellen sie sich stark eosinophil mit vereinzelt eingemauerten Osteozyten dar. Eosinophile Osteo- und Chondroklasten, die einen Umbau der primären Knochenlamellen entsprechend den wirkenden Zug- und Druckkräften bewerkstelligen, und basophile Osteoblasten lagern sich primären Knochen trabekeln an. Im Zuge dieser Umbauprozesse werden auch die noch in den Bälkchen verbliebenen eingeschlossenen Chondrozyten restlos abgebaut.

4.2.2. Der Wachstumsplattenschluß

Das Schwinden der penetrierenden epiphysären Gefäße bzw. deren Kanäle sind erste Anzeichen für den Beginn des WP-Schlusses. Das Lumen der EVC's nimmt ebenfalls deutlich ab, wobei der Raum zwischen Gefäßendothelien und umgebener Matrix zunehmend mit Bindegewebszellen angefüllt wird.

Die Stammzellen der Ruhezone stellen ihre Teilung ein und differenzieren zu abgerundeten Zellen, welche von zunehmend intensiv basophil gefärbter extrazellulärer Matrix umgeben sind. Auch die Chondrozyten der PZ verringern ihre Mitoserate fortschreitend.

Wie folgend unter Punkt 4.3.1. dargestellt, wird die Abnahme der WP-Dicke bereits nach der Hälfte der gesamten Wachstumsperiode des Knochens durch eine kontinuierliche Dickenabnahme der HZ bedingt und erst im letzten Drittel durch die Abnahme der Proliferationszonendicke deutlich verstärkt.

Von metaphysärer Seite schreitet die Front der hypertrophierenden Chondrozyten und in ihrem Gefolge die Ossifikationsfront in Richtung Epiphyse voran.

Die nur noch vereinzelt vorhandenen kurzen EVC's spitzen sich keilförmig zu, obliterieren oder thrombosieren. Lediglich Stromazellen sowie eine abweichende Anordnung der Zellen geben Hinweise auf ehemalige Gefäße.

Nach vollständiger Hypertrophie der Zellen der ehemaligen PZ greift die Hypertrophie auf die Zellen der Ruhezone über. Mit dem Fortschreiten der Hypertrophiefront dringen auch die MVC's mit den in ihn enthaltenen MV's immer weiter in Richtung Epiphyse vor und leiten die Ossifikation der WP ein. Von den EOC's der Epiphyse geht eine zweite Ossifikationsfront aus, so dass die hypertrophen Zellen der schwindenden WP von epiphysärer und diaphysärer Seite ossifizieren.

Der Zeitpunkt des Wachstumsplattenschlusses wurde anhand des Verlustes einer annähernd durchgehenden Linie von hypertrophen Chondrozyten und damit dem Schwinden einer basophilen Grenze zur Epiphyse ermittelt.

Bei den rein knorpeligen EOC-freien Epiphysen von prox. und dist. Femur schreitet die Hypertrophie-/Ossifikationsfront nach der Verknöcherung der WP auf den Epiphysenknorpel fort, so dass auch diese bis auf den eigentlichen Gelenknorpel vollständig ossifizieren.

4.3. Histometrische Befunde

4.3.1. Dicke der Wachstumsplatten, Proliferations- und hypertrophen Zonen sowie der Zeitpunkt ihrer vollständigen Resorption

Die Daten für die einzelnen WP's und ihrer Zonen sind in den Abb. 12 – 16 dargestellt. Die in der 1. LW auftretenden hohen Mittelwerte der Altersgruppen der WP's und HZ's sind darin begründet, dass der EK sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgelöst hat und, da er histologisch nicht von der HZ zu differenzieren ist, mitgemessen wurde.

Die WP der **proximalen und distalen Femurepiphyse** zeichnet sich durch ein relativ konstantes Niveau ihrer Dicke von ca. 3500 μm aus, wobei Höchstwerte in der 6. LW, mit einem Mittel von in etwa 4000 μm , erreicht werden. Am prox. F nimmt sie mit Beginn der 12. LW deutlich ab, am dist. F erfolgt eine Abnahme der Dicke ab der 9. LW (siehe Abb. 13 u.17). Die Dicke der PZ des prox. und dist. F ist bis zur 12. LW bzw. bis zur 10. LW ebenfalls annähernd konstant zwischen 800 μm und 1000 μm , wohingegen die der HZ, die ohne Ossifikationszone erfaßt wurde, deutlich darüber liegt.

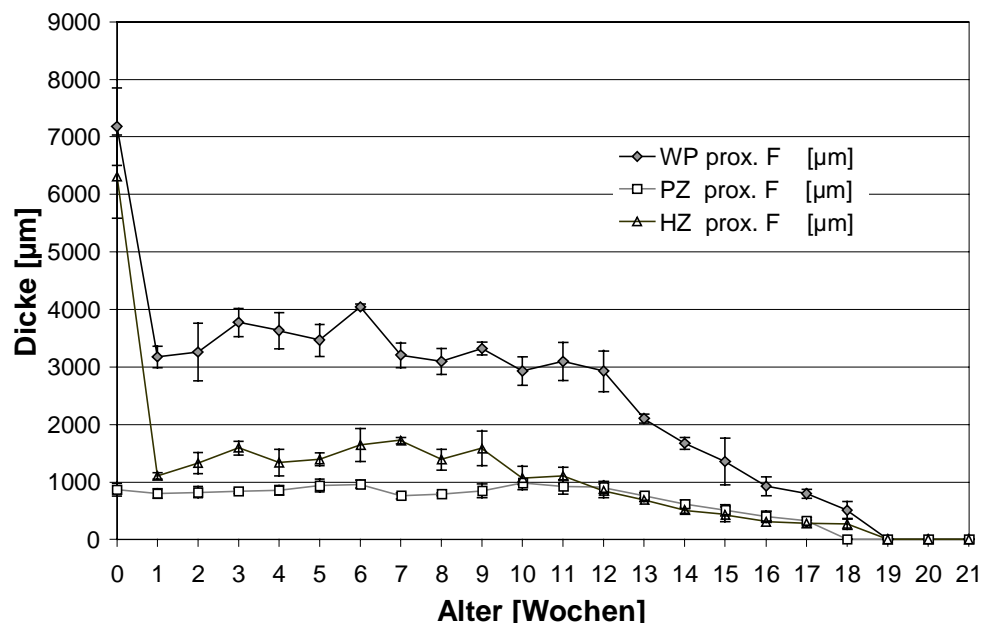


Abb. 12: Wachstumsplatten (WP)-, Proliferationszonen (PZ)-, Hypertrophenzonen (HZ)- Dicke des prox. Femur bis zum WP- Schluß
(Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

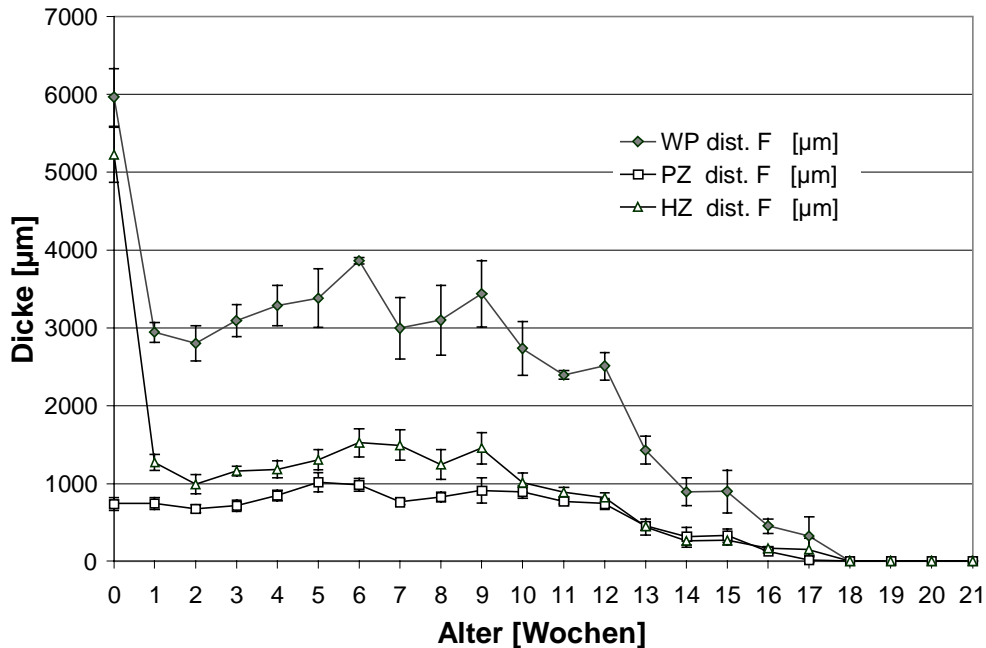


Abb. 13: WP-, PZ-, HZ- Dicke des dist. Femur bis zum WP-Schluß
(Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

Eine leichte Zunahme der mittleren Dicke der HZ ab der 5. LW ist an beiden Epiphysen, sowie folgend auch für alle anderen untersuchten Epiphysen beschrieben, zu erkennen. Bis zur 10. LW gleicht sie sich am prox. und dist. F durch einen etwas steileren Abfall wieder der Kurve der PZ an, um dann ab der 12. LW (prox. F) bzw. ab der 10. LW (dist. F) annähernd parallel bis zum **Wachstumsplattenschluß** in der **19. LW** am **prox. F** und in der **18. LW** am **dist. F** weiter abzunehmen. Betrachtet man das Verhältnis von PZ zur HZ, so nimmt es an beiden WP bis zur 7. LW ab und wird in den folgenden Wochen wieder deutlich enger. Am prox. F bewegt es sich zwischen 1:1,38 in der 1. LW und 1:2,26 in der 7. LW. Am dist. F bewegt sich das Verhältnis zwischen 1:1,28 in der 5. LW und 1:1,96 in der 7. LW. Ab der 10. LW ist das PZ:HZ-Verhältnis an beiden Epiphysen annähernd eins.

Die WP des **prox. TT**, bei der es sich um die stärkste der untersuchten Wachstumsplatten handelt, unterscheidet sich von den zuvor beschriebenen sowohl hinsichtlich ihrer absoluten Ausdehnung als auch in ihrer Entwicklungsdynamik (siehe Abb. 14 u. 17). Die Mittelwert-Kurve zeigt einen relativ starken Anstieg der

WP-Dicke zwischen der 1. LW von 5600 μm , einem Wert, der schon zu diesem Zeitpunkt fast doppelt so groß ist wie der für die Femurepiphyse, auf ein Maximum von 8800 μm in der 6. LW. Im weiteren Verlauf erreicht die durchschnittliche WP-Dicke ein Plateau bis zur 9. LW mit Werten zwischen 7800 μm und 8500 μm . Es beginnt ein starker Schwund bis zur 18. LW, gefolgt von zwei weiteren Wochen, in denen noch bei zwei (T79;T82) bzw. nur noch bei einem (T85) von vier Tieren eine WP bzw. ein WP-Rest nachzuweisen ist, bis hin zur **vollständigen Resorption** bei allen Tieren der Altersgruppe in der **20. LW** (Röntgenologisch in der **19. LW**, s. u.).

Die PZ zeichnet sich durch sehr geringe Schwankungen in ihrer Dicke aus. Sie nimmt von durchschnittlich 1011 μm in der 1. LW auf 1777 μm in der 6. LW zu, um sich dann ab der 13. LW deutlich zu vermindern. Der Verlust der PZ in der 18. und 19. LW kündigt den bevorstehenden WP- Schluß an.

Einen annähernd gleichen Verlauf wie die gesamte WP weist die mittlere Dicke der HZ (exkl. Ossifikationszone) auf. Beginnend mit Werten um 2350 μm in der 1. LW zeigt sich ein Plateau zwischen 6. LW und 9. LW mit Werten um 3900 μm und einem Maximalwert in der 7. LW mit 4258 μm . Mit Beginn der 9. LW nimmt die HZ dann kontinuierlich ab.

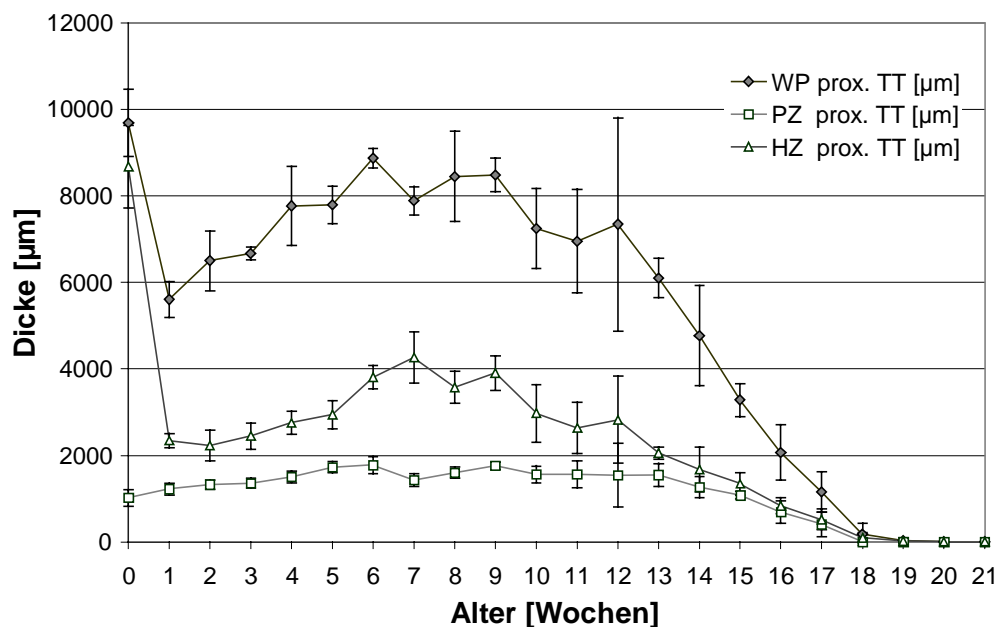


Abb. 14: WP-, PZ-, HZ- Dicke des prox. Tibiotarsus bis zum WP-Schluß
(Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

Das PZ:HZ-Verhältnis des prox. TT nimmt von der 2. LW mit 1:1,6 bis zur 7. LW auf 1:2,98 ab, um dann stetig bis auf einen Wert von 1:1,2 in der 17. LW anzusteigen.

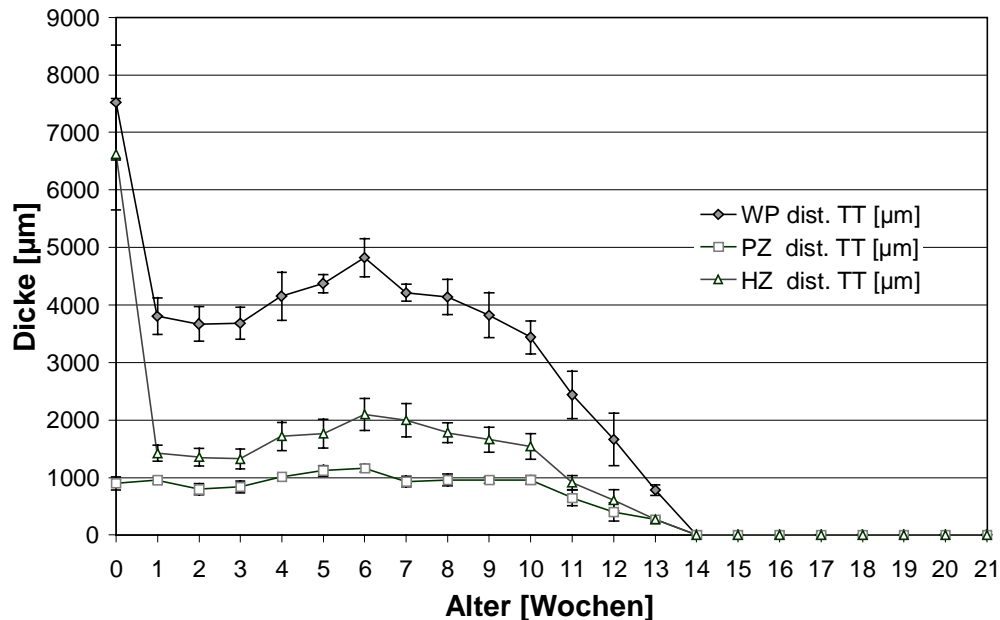


Abb. 15: WP-, PZ-, HZ- Dicke des dist. Tibiotarsus bis zum WP-Schluß
(Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

Der Kurvenverlauf der Entwicklung der WP-Dicke des **dist. TT** ist dem des dist. F über die ersten Zweidrittel sehr ähnlich (siehe Abb. 15 u. 17), er liegt jedoch auf einem um ca. 1000 μm höheren Niveau. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die WP-Dicke in der 1. bis zur 3. LW ein Plateau von in etwa 3700 μm beschreibt und erst im Anschluß daran bis zur 6. LW auf einen Maximalwert von 4822 μm deutlich ansteigt. Ab der 7. LW fällt die Kurve kontinuierlich, im Verlauf ähnlich der des prox. TMT, so dass bereits in der **14. LW** die **WP geschlossen** ist.

Die Stärke der PZ bewegt sich ab dem 1. LT bis zur 10. LW relativ konstant auf einem Wert um 1000 μm , um dann ebenfalls bis zur 14. LW abzufallen. Die HZ (exkl. OZ) verhält sich in ihrer Dickenzunahme bzw. -abnahme exakt wie die der gesamten WP. Der anfängliche Plateauwert liegt bei ca. 1350 μm und das Maximum liegt bei 2100 μm . Das PZ:HZ-Verhältnis sinkt von 1:1,5 in der 1. LW auf 1:2,15 in der 7. LW, um folgend wieder enger zu werden und in der 13. LW ein Verhältnis von annähernd eins aufzuweisen.

Die WP des **prox. TMT** (siehe Abb. 16) ähnelt in ihrer Ausdehnung wie auch in ihrer Entwicklungsdynamik der des prox. TT (siehe Abb. 17). In den ersten drei LW zeigen sich starke Schwankungen in der mittleren WP-Dicke, das Minimum liegt in

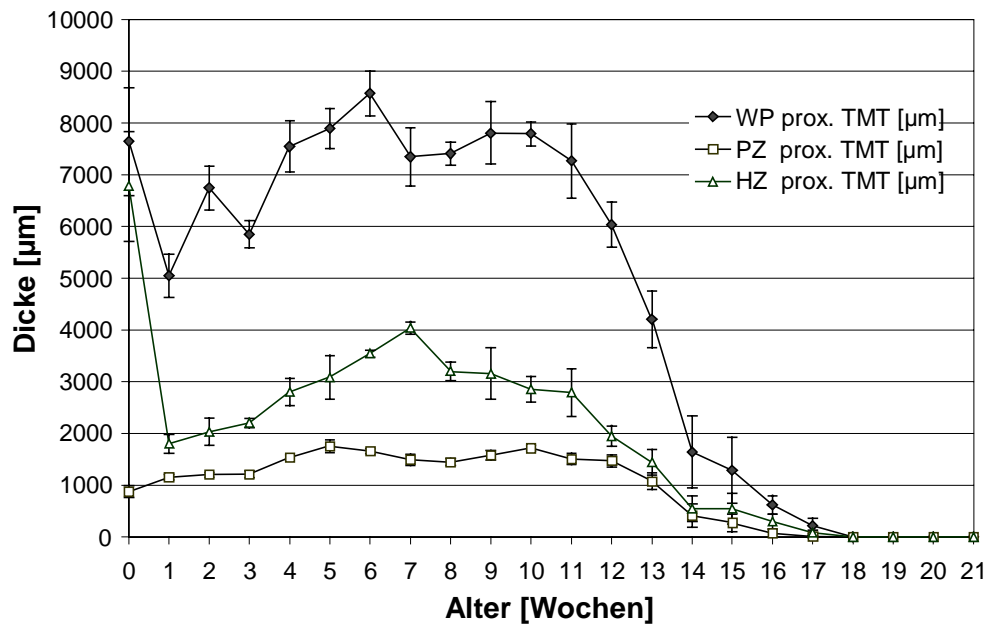


Abb. 16: WP-, PZ-, HZ- Dicke des prox. Tarsometatarsus bis zum WP-Schluß
(Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

der 1. LW bei 5048 μm . Bis zur 6. LW zeigen die Tiere eine Zunahme der durchschnittlichen WP-Dicke auf ein Maximum von 8566 μm , die fast an die des prox. TT heranreicht. In der 7. LW fällt die Kurve auf ein Plateau, das sich zwischen 7350 μm und 7800 μm bewegt, ab der 12. LW fällt die Kurve sehr steil bis auf 1600 μm in der 14. LW, um dann etwas flacher bis zur vollständigen **Resorption der WP** in der **18. LW** auszulaufen. Die Dicke der PZ zeigt, wie auch bei den übrigen WP beschrieben, weitaus weniger Schwankungen in ihrem Verlauf. Sie hält sich von der 1. bis zur 13. LW auf einem gleichbleibenden Niveau zwischen 1100 μm und 1700 μm . In der folgenden Phase fällt sie parallel zur HZ und ist in der 17. LW nur noch bei einem von vier untersuchten Tieren mit einem Wert von 49 μm zu messen und zeigt somit den bevorstehenden WP-Schluß an. Die Dicke der HZ (exkl. OZ) steigt von der 1. LW mit 1800 μm bis zur 7. LW auf 4039 μm an, um danach entsprechend den übrigen Kurven zu fallen. Das PZ:HZ-Verhältnis sinkt von 1:1,56 in der 1. LW auf

1:2,7 in der 7. LW und wird bis zur 17. LW wieder deutlich enger und erreicht dort einen Wert von eins.

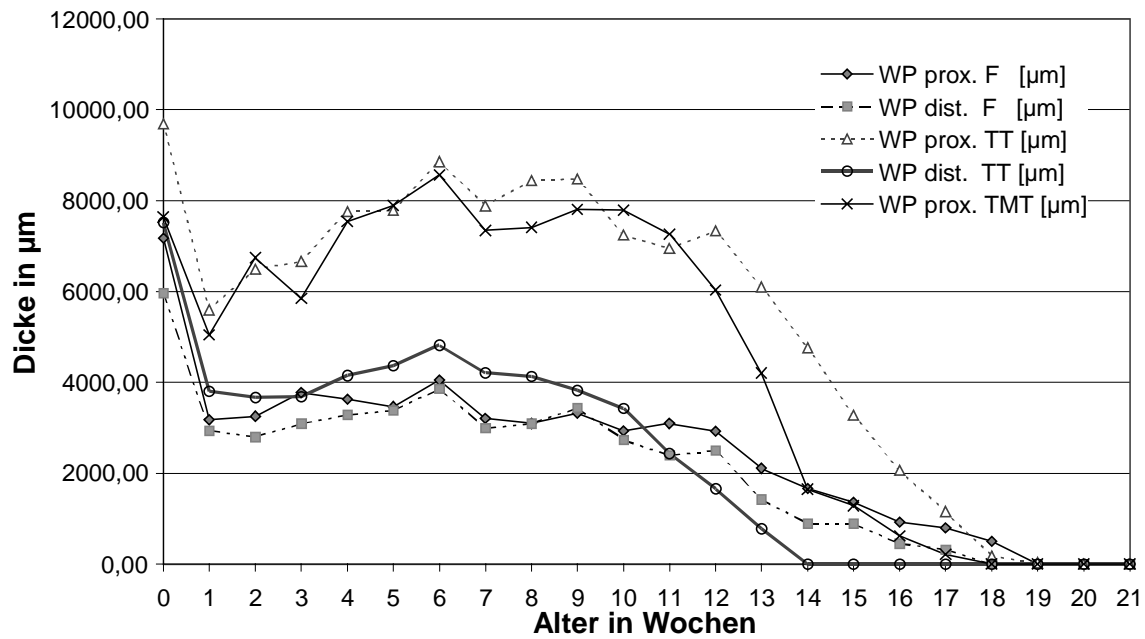


Abb. 17: Wachstumsplatten-Dynamik der Epiphysen im Vergleich
(Mittelwerte der Altersgruppen)

4.3.2. Gefäßversorgung im Bereich der Wachstumsplatte des prox. Tibiotarsus

Da die Wachstumsplatte des proximalen TT von den untersuchten Epiphysen die größte Ausdehnung und das stärkste Wachstumspotential aufweist und bei der Pute wie auch bei anderen Mastgeflügelarten oft Lokalisation juveniler Osteochondropathien ist, wurde die Gefäßversorgung in diesem Bereich zwischen dem ersten Lebenstag und der 16. LW eingehend histometrisch beurteilt. Neben der mittleren Anzahl der epi- und metaphysären Gefäßkanäle je mm WP wurde der Durchmesser der epiphysären Gefäßkanäle sowie der mittlere Abstand zwischen den beiden Gefäßsystemen, wie in Abb. 18 dargestellt und unter 3.2.5. beschrieben, vermessen.

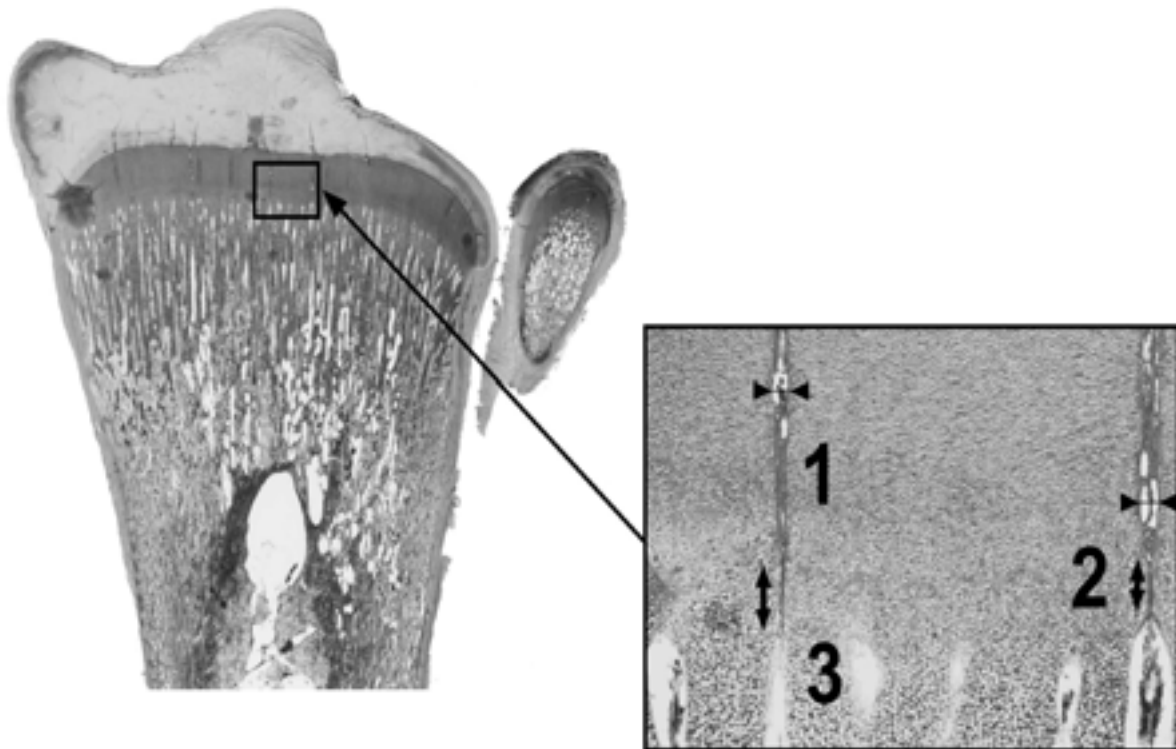


Abb. 18: Meßgrenzen zur Erfassung der avaskulären Zone und der epiphysären Gefäßkanaldurchmesser am prox. transversalgeschnittenen Tibiotarsus, T 34, 6. LW, H.-E., 50x

1. Epiphysärer Gefäßkanal mit penetrierenden epiphysären Gefäßen
2. Avaskuläre Zone mit eosinophilen Streifen
3. Metaphysärer Gefäßkanal mit metaphysären Gefäßen

4.3.2.1. Anzahl der epiphysären Gefäßkanäle (EVC) sowie der metaphysären Gefäßkanäle (MVC) des prox. TT

Betrachtet man die in Abb. 19 dargestellten Vaskularisationsdichten beider Gefäßsysteme, so fällt auf, dass eine verhältnismäßig geringe Schwankungsbreite in der Anzahl der gemessenen epiphysären Gefäßkanäle vorliegt. Grundsätzlich kommen etwa dreimal so viele MVC's wie EVC's vor.

Die Wochengruppenmittelwerte der PEV bzw. deren Gefäßkanalanzahl variieren über den Untersuchungszeitraum von 16 LW um einen Wert von 1,45 pro mm WP, die der MV bzw. der MVC-Anzahl um einen Wert von 4,48 Gefäßkanäle je mm WP.

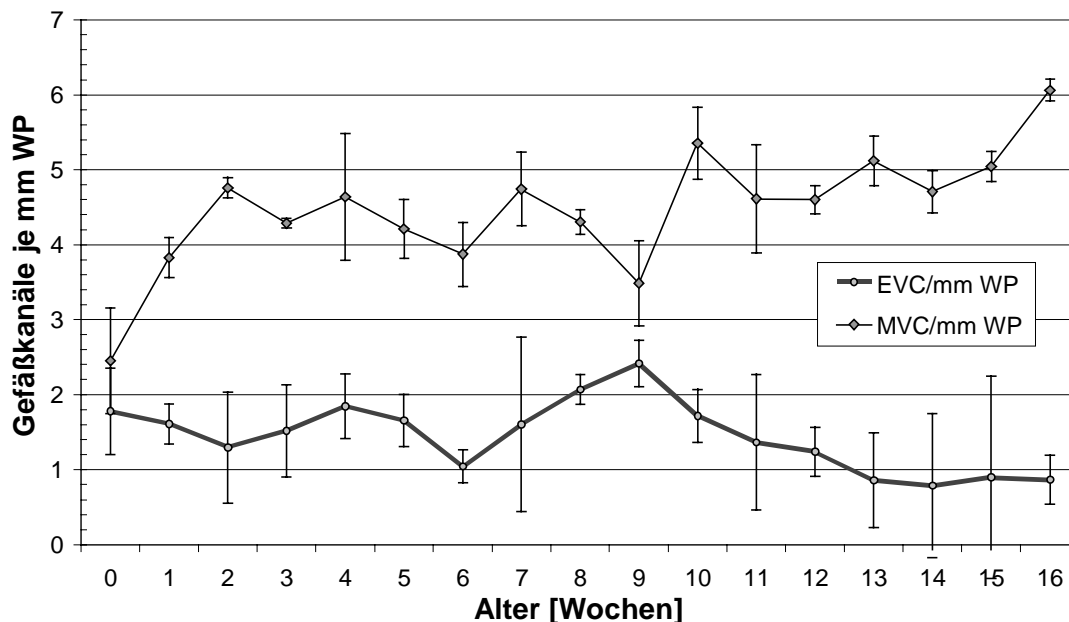


Abb. 19: Anzahl der epiphysären Gefäßkanäle (EVC) und der metaphysären Gefäßkanäle (MVC) des prox. TT pro mm Wachstumsplatte vom ersten Lebenstag bis zur 16. LW (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

Die mittlere Anzahl der EVC's nimmt über den gesamten Zeitraum betrachtet vom ersten Lebenstag mit 1,78 Gefäßkanälen je mm WP bis zur 16. LW mit 0,87 Gefäßkanälen je mm WP leicht ab, wobei die Kurve ein Maximum in der 9. LW von 2,42 PEV je mm WP besitzt. Die durchschnittliche Anzahl der MVC steigt innerhalb von zwei Wochen relativ schnell von 2,46 Gefäßkanälen je mm WP am ersten LT auf

4,76 Gefäßkanälen je mm WP in der 2. LW. Betrachtet man den gesamten verbleibenden Zeitraum, so findet insgesamt ein Anstieg auf einen Mittelwert von 6,06 Gefäßkanälen je mm WP in der 16. LW statt.

4.3.2.2. Durchmesser der EVC's des prox. TT

Über die ersten 16 LW betrachtet liegt der mittlere Durchmesser der epiphysären Gefäßkanäle wie in Abb. 20 zu ersehen bei 86,9 μm .

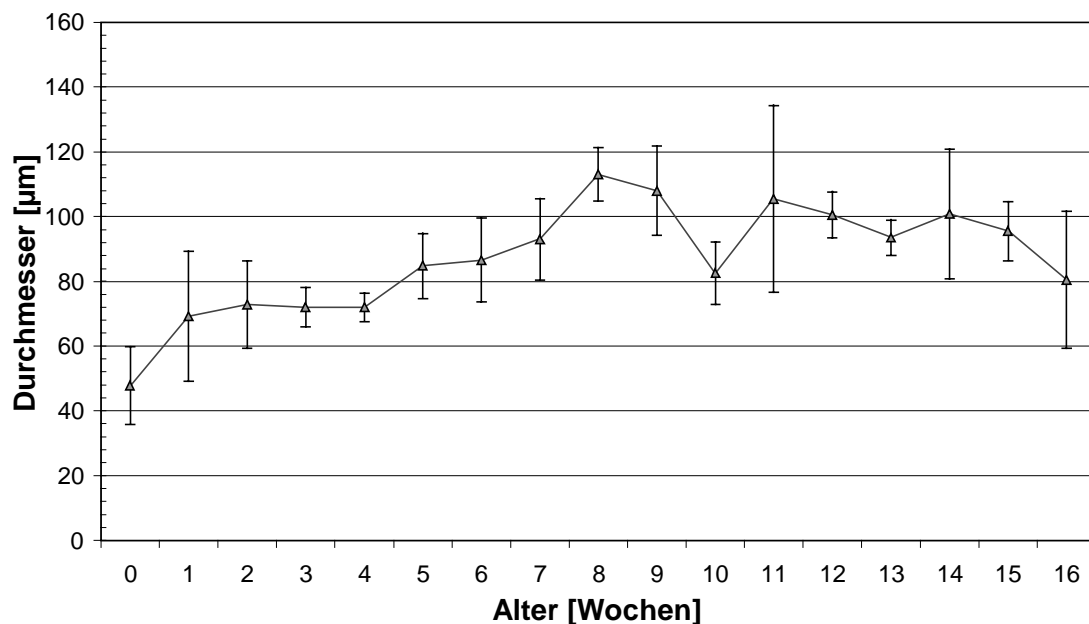


Abb. 20: *Durchmesser der epiphysären Gefäßkanäle (EVC) der penetrierenden epiphysären Gefäße des prox. TT vom ersten Lebenstag bis zur 16. LW (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)*

Die mittleren Gefäßdurchmesser der Altersgruppen steigen relativ kontinuierlich von 47,83 μm am ersten LT bis auf den Maximalwert der Kurve in der 8. LW mit 113,00 μm und fallen im weiteren wieder auf einen Wert von 80,5 μm in der 16. LW.

4.3.2.3. Abstand der proximalen metaphysären Gefäßspitzen zu den distalen Gefäßspitzen der PEV (avaskuläre Zone) des prox. TT

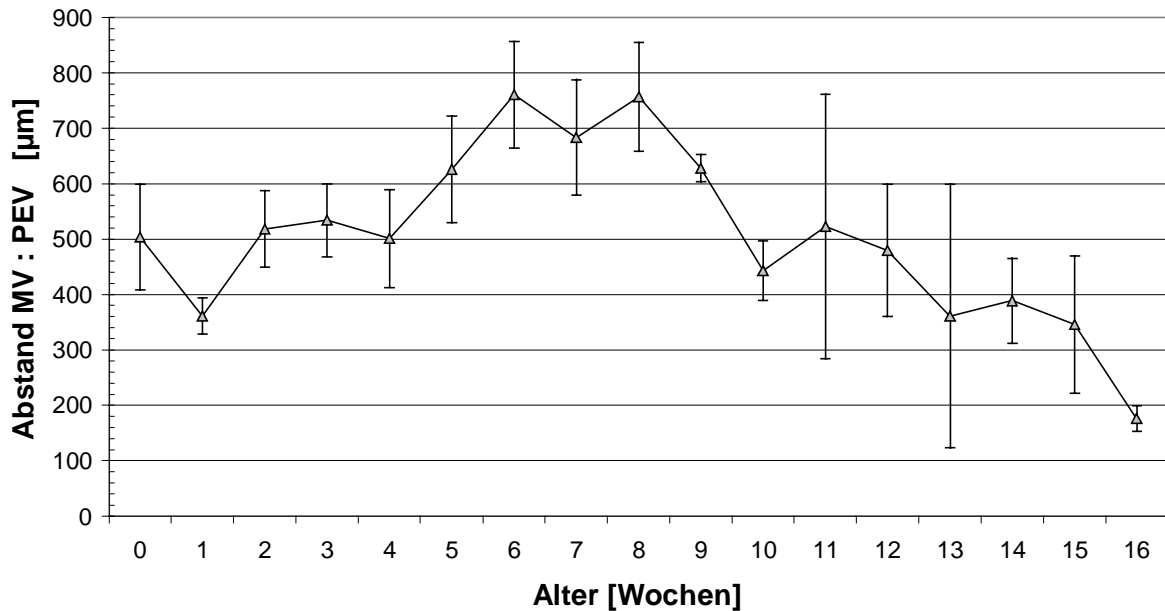


Abb. 21: Abstand zwischen den proximalen Gefäßspitzen der metaphysären Gefäße (MV) zu den distalen Gefäßspitzen der penetrierenden epiphysären Gefäße (PEV) des prox. TT (avaskuläre Zone) vom ersten Lebenstag bis zur 16. LW (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

Ähnlich dem zuvor beschriebenen Kurvenverlauf der EVC Durchmesser findet von der 1. LW mit 361,0 μm bis zur 6. LW mit 760,5 μm (Maximum) eine kontinuierliche Zunahme der mittleren avaskulären Zone statt (s. Abb. 21). Entsprechend fallen die mittleren Werte der Altersgruppen im weiteren Verlauf auf ein Minimum von 176,5 μm in der 16. LW, wobei die hohen Standardabweichungen zwischen der 11. und 15. LW auffällig sind.

4.4. Röntgenologische Befunde der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße

4.4.1. Vorkommen und Entwicklung der embryonalen Knorpelkegel (EK) und der epiphysären Ossifikationszentren (EOC)

Am 1. LT lassen sich anhand der Röntgenaufnahmen **embryonale Knorpelkegel** an allen untersuchten Knochenenden nachweisen. Der prox. F und TT besitzen jeweils einen EK, der dist. F und TT jeweils einen zweigeteilten und der prox. TMT entsprechend seinem dreistrahligen Aufbau drei EK's. Sie reichen zu diesem Zeitpunkt jeweils bis zu einem Drittel der Knochenlänge in die Diaphyse hinein.

Bereits mit dem 7. LT zeichnet sich ein deutlicher Abbau der EK's in allen Epiphysen ab, so dass in der 2. LW, in Verbindung mit dem gleichzeitig zunehmendem Mineralisierungsgrad der Knochen, röntgenologisch keine EK's mehr nachweisbar sind. (siehe auch 4.2.1.)

An den Epiphysen des **Femur** lassen sich röntgenologisch zu keinem Zeitpunkt Anlagen von **EOC's** feststellen.

Erste Verschattungen in der kranialen Chondroepiphyse des **prox. TT** deuten in der 2. LW bei der Hälfte der untersuchten Tiere auf die Herausbildung eines kaum stecknadelkopfgroßen Ossifikationskerns hin. In der 4. LW zeichnet sich das EOC röntgenologisch erstmalig bei allen untersuchten Tieren in beiden Projektionsebenen als walzenförmige Struktur mit 8 mm mediolateraler, 4 mm proximodistaler und 5 mm kraniokaudaler Ausdehnung ab (siehe Abb. 22). Es nimmt mit sechs Wochen in der mediolateralen Ausdehnung die Hälfte der kranialen Region der Chondroepiphyse in Anspruch. Ab der 8. LW dehnt es sich nach lateral aus, wobei es in der kraniokaudalen Ausdehnung bisher lediglich das kraniale Drittel des Knochens einnimmt. Zwischen der Verschattung des EOC und der Ossifikationsfront der WP verbleibt zu diesem Zeitpunkt eine 1 mm starke Aufhellungszone. Neben der oben beschriebenen lateralen Ausweitung, zeichnet sich ab der 11. LW eine kaudale Ausziehung des insgesamt weiter expandierenden EOC's ab, so dass dieses in der 13. LW den gesamten kranialen Raum der prox. TT – Epiphyse einnimmt. Das EOC zeigt ab der 14. LW eine zunehmend spongiöse Röntgenstruktur auf, wobei teilweise Kavernen als Aufhellungsherde abaxial des Sagittalkammes (16. LW) sichtbar werden, welche sich bis zur 18. LW zu größeren Lacunen ausweiten. In der 16. LW

stellen sich außerhalb des EOC im kaudalen Bereich der Chondroepiphyse diffuse punktförmige Verschattungen, als Beginn der weiteren Mineralisation der Epiphyse dar.

Am **dist. TT** lassen sich röntgenologisch bei allen untersuchten Tieren bereits am 1. LT ein mediales kondyläres, sowie bei einem Teil der Tiere ein kleineres laterales kondyläres EOC nachweisen. Ein drittes EOC war ebenfalls schon bei allen untersuchten Tieren sichtbar. Die kranial in den Kondylen gelegenen EOC's sind hierbei als kommaförmige Verschattungen erkennbar. Das dritte EOC stellt sich als wesentlich größere, jedoch weniger röntgendichte tropfenförmige, mit der Ausziehung proximal weisende Struktur, subkondylär abaxial leicht lateral gelegen dar. Es weist mit Beginn der 1. LW an seinem distalen Pol eine medial gerichtete Ausziehung auf, ab der 2. LW wird es auf den mediolateralen Röntgenaufnahmen zunehmend durch andere Strukturen überlagert (siehe Abb. 22).

Zu diesem Zeitpunkt ist das mediale kondyläre EOC in etwa doppelt so groß wie das laterale, welches die Größe des dritten EOC aufweist. Im weiteren Verlauf zeigen die kondylären EOC's zunehmend spongiösen Knochen, der ab der 6. LW von einer ca. 1 mm starken kompakten Knochenlamelle umgeben ist.

Von außen auf Höhe der Bandansatzstellen sind ab der 2. LW auf den kraniokaudalen Röntgenaufnahmen bei beiden kondylären EOC's konkave Einziehungen sichtbar, so dass das mediale EOC deutlicher als das laterale eine Herzform annimmt. Das weitere Wachstum der kondylären EOC's erfolgt vornehmlich in Richtung der kaudalen Regionen der Epiphyse, so dass, wie auf den mediolateralen Röntgenaufnahmen ersichtlich, ab der 9. LW die EOC's sichelförmig erscheinen. Auf den dorsoplantaren Röntgenaufnahmen zeigt sich zeitgleich die axiale Verschmelzung der kondylären EOC's, in die auch ab der 11. LW das dritte EOC einbezogen wird.

Bei der Hälfte der untersuchten Tiere kann an den Röntgenaufnahmen des **prox. TMT** am 1. LT eine schwache proximodistal abgeflachte ca. 1,5 mm breite Verschattung als EOC identifiziert werden, welche sich bis zum 7. LT bei allen Tieren linsenförmig mit ca. 2 mm \varnothing klar darstellt. Im Weiteren zeichnet sich eine mediodistale Einziehung am EOC ab (2. LW), welche bis zur 4. LW noch deutlicher in Erscheinung tritt, wobei sich zusätzlich das gesamte EOC leicht medial verlagert. Ab der 3. LW sind in dessen Zentrum zunehmend gitternetzartige spongiöse Strukturen

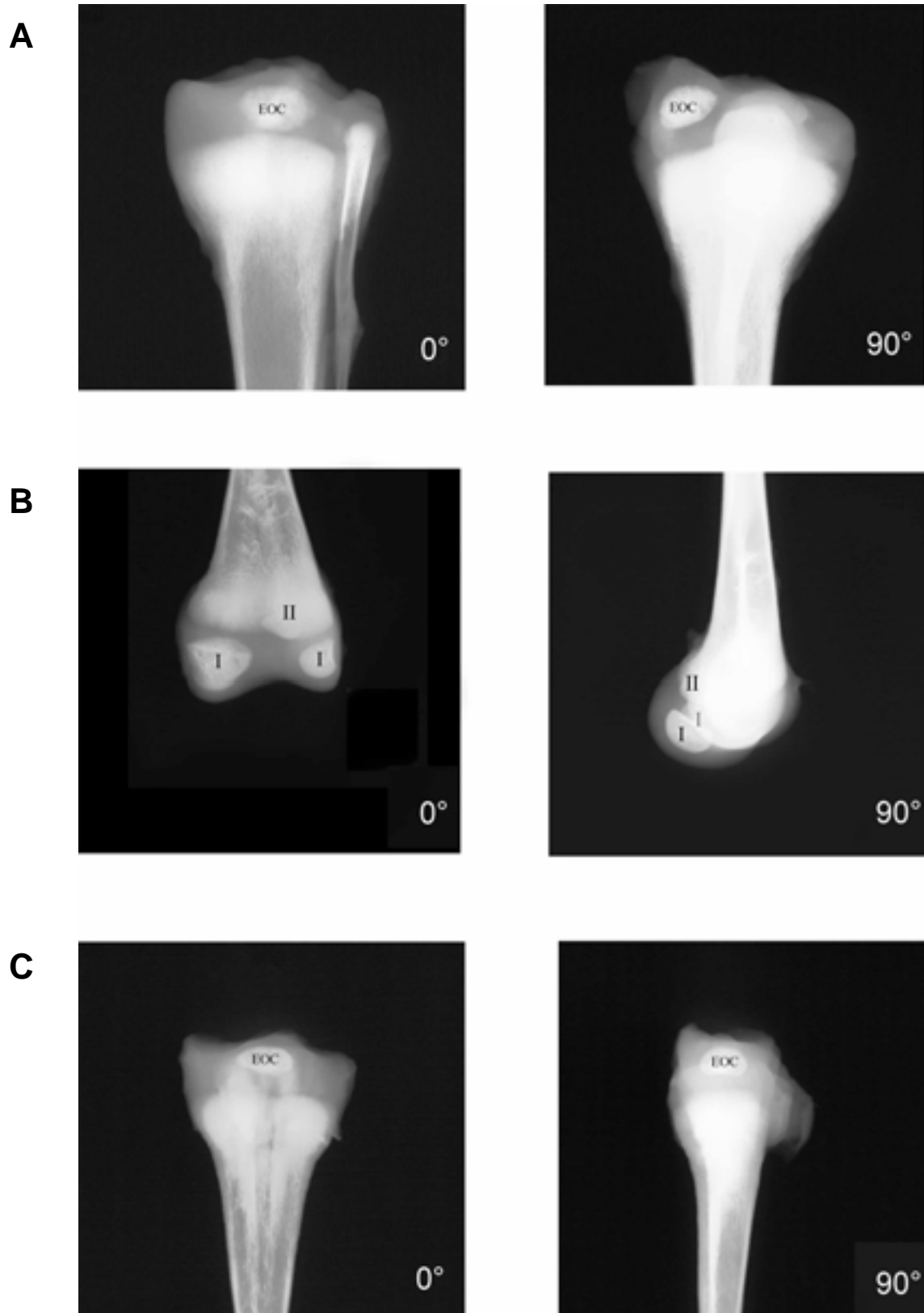


Abb. 22: Darstellung der epiphysären Ossifikationszentren (EOC) im **A** prox. (T26, 4. LW) und **B** dist. (T21, 3. LW) Tibiotarsus sowie **C** im prox. Tarsometatarsus (T21, 3. LW) anhand von Röntgenaufnahmen der Beckengliedmaßenknochen in zwei Ebenen (I = kondyläre EOC; II = drittes EOC).

vorzufinden, welche von einer Verschattungsfront (Kompakta), die in der 6. LW 2 mm stark zu erkennen ist, umgeben werden. Im Unterschied zu den EOC der anderen Knochen ist das im prox. TMT in beiden Röntgenebenen annähernd zentral in der Epiphyse vorzufinden (siehe Abb. 22) und nimmt bereits in der 8. LW den größten Teil dieser ein. Mit Beginn der 9. LW nimmt es ca. neun Zehntel der mediolateralen Breite und fünf Siebtel der dorsoplantaren Ausdehnung der Epiphyse ein und stellt sich als eine proximal sowie distal durch eine Knochengrenzlamelle eingefasste Platte mit spongiösem Kern dar, welche im plantaren Bereich distal in die *Area intercondylaris* umbiegend die kraniale Begrenzung des *Sulcus s. Canalis hypotarsi* bildet.

Anhand der Röntgenaufnahmen kann der Zeitpunkt der **vollständigen Ossifikation der Epiphysen**, welcher erst kurz nach dem WP-Schluß erfolgt, nicht exakt bestimmt werden. Bei einem Vergleich der histologischen Schnittpräparate mit den entsprechenden Röntgenaufnahmen dieser Tiere ließ sich der Übergang zwischen histologisch erkennbaren Arealen von Chondrozytennestern in den proximoabaxialen Bereichen direkt unter dem Gelenkknorpel mit dem angrenzenden bereits ossifiziertem Gewebe röntgenologisch nicht mehr differenzieren.

Bei der Auswertung der histologischen Schnittpräparate konnte der Zeitpunkt der vollständigen Ossifikation der Epiphyse für den prox. TT mit 21 Lebenswochen, für den dist. TT mit 15 LW und für den prox. TMT mit 20 LW bestimmt werden.

4.4.2. Radiologische Beurteilung des Wachstumsplattenschlusses

Die Wachstumsplattendicke kann radiologisch nicht beurteilt werden, da die durch ihren Knorpel hervorgerufene Aufhellung des Bildes ohne sichtbare Grenze in die der Chondroepiphyse übergeht. Erst mit der maximalen Expansion der EOC's in den unter Punkt 4.4.1. genannten Epiphysen kann die WP isoliert betrachtet werden.

Der röntgenologische Wachstumsplattenschluß wurde an dem Verlust der horizontal verlaufenden Aufhellungslinie zwischen der Ossifikationszone der WP und der Knochengrenzlamelle der verknöcherten Epiphyse in beiden Röntgenebenen festgemacht. Eine Beurteilung des röntgenologischen WP-Schlusses ist aufgrund des Fehlens von EOC's an den Epiphysen des Femurs nicht exakt möglich.

Am prox. TT sind in der 19. LW bei allen untersuchten Tieren die WP's geschlossen, wobei drei Tiere noch eine horizontal verlaufende Verschattungslinie, die als Epiphysennarbe anzusehen ist, zeigen. Auch in der 20. LW ist eine Epiphysennarbe bei der Hälfte der Tiere noch zu erkennen.

Am dist. TT zeigen sich die WP's mit der 14. LW bei allen untersuchten Tieren röntgenologisch geschlossen. In diesem Alter sind bei der Hälfte der Tiere noch Epiphysennarben in Form einer horizontalen Verschattungslinie sichtbar, welche sich in der mediolateralen Projektion deutlicher darstellt, jedoch in der folgenden Woche bei keinem der Tiere mehr ersichtlich ist.

Der WP-Schluß des prox. TMT deutet sich in der 17. LW bei einem Teil der Tiere an, ist jedoch, wie in der mediolateralen Projektion sichtbar wird, im dorsalen Bereich der Epiphyse noch nicht vollständig. Erst in der 18. LW sind bei allen Tieren die WP's geschlossen. Auffällig ist das noch über die 19. LW hinaus die trabekuläre Zeichnung und Dichte der Epiphysen stark von der Architektur des Schaftes abweicht.

4.4.3. Beurteilung der diaphysären Querschnittsfläche von F und TT

Die Mittelwerte der an den Röntgenaufnahmen durchgeführten Messungen der diaphysären Querschnittsflächen von F und TT sowie deren kortikale- und medulläre Fläche über 21 LW sind in Abb. 23 und 24 graphisch dargestellt. Vergleicht man die Kurven beider Knochen miteinander, so lassen sich ähnliche Kurvenverläufe sowohl an den Gesamtquerschnitten als auch an den Teilflächen feststellen. Beide Kurven der Diaphysenquerschnittsflächen weisen ein tendenziell sigmoidalen Verlauf auf, der durch eine Abnahme der Mittelwerte von der 16. bis zur 19. LW unterbrochen wird. Am ersten Lebenstag haben beide Knochen annähernd die gleichen mittleren Querschnittsflächen (qF) von $4,16 \text{ mm}^2$ für den F bzw. $4,13 \text{ mm}^2$ für den TT, wobei $2,89 \text{ mm}^2$ respektive $3,3 \text{ mm}^2$ auf die kortikale Fläche (kF) und $1,27 \text{ mm}^2$ respektive

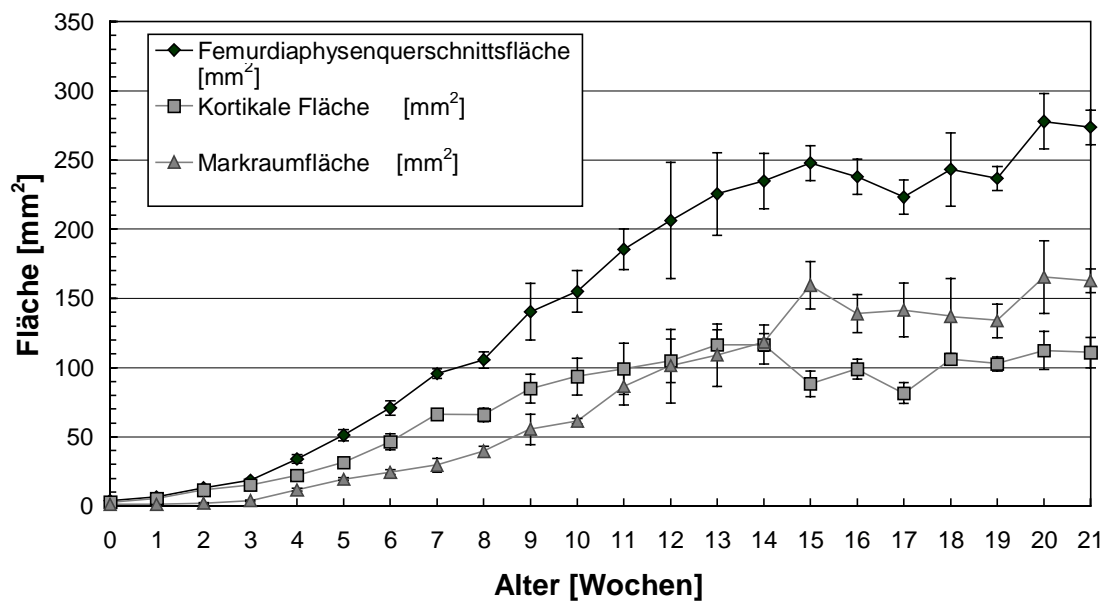


Abb. 23: Femurdiaphysenquerschnittsfläche, kortikale- und medulläre Fläche vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

$0,84 \text{ mm}^2$ auf die medulläre Fläche (mF) entfallen. Die Mittelwerte der qF des Femur sowie die ihrer Teilflächen steigen schneller an als die des TT, so dass in der 7. LW mittlere qF von $95,73 \text{ mm}^2$ für den F bzw. $74,86 \text{ mm}^2$ für den TT gemessen wurden,

wobei $66,2 \text{ mm}^2$ respektive $51,92 \text{ mm}^2$ auf die kF und $29,53 \text{ mm}^2$ respektive $22,94 \text{ mm}^2$ auf die mF entfallen. Ab der 15. LW nimmt die kF, die bis zu diesem Alter kontinuierlich zugenommen hat, an beiden Knochen deutlich ab, so dass sich zwischen der 14. und 15. LW die Kurven von kF und mF schneiden und die Mittelwerte für die mF weiter ansteigend die für die kF überschreiten. Somit ergeben sich in der 15. LW mittlere qF von $247,74 \text{ mm}^2$ für den F bzw. $236,19 \text{ mm}^2$ für den TT, wobei $88,34 \text{ mm}^2$ respektive $101,71 \text{ mm}^2$ auf die kF und $159,40 \text{ mm}^2$ respektive $134,49 \text{ mm}^2$ mF entfallen.

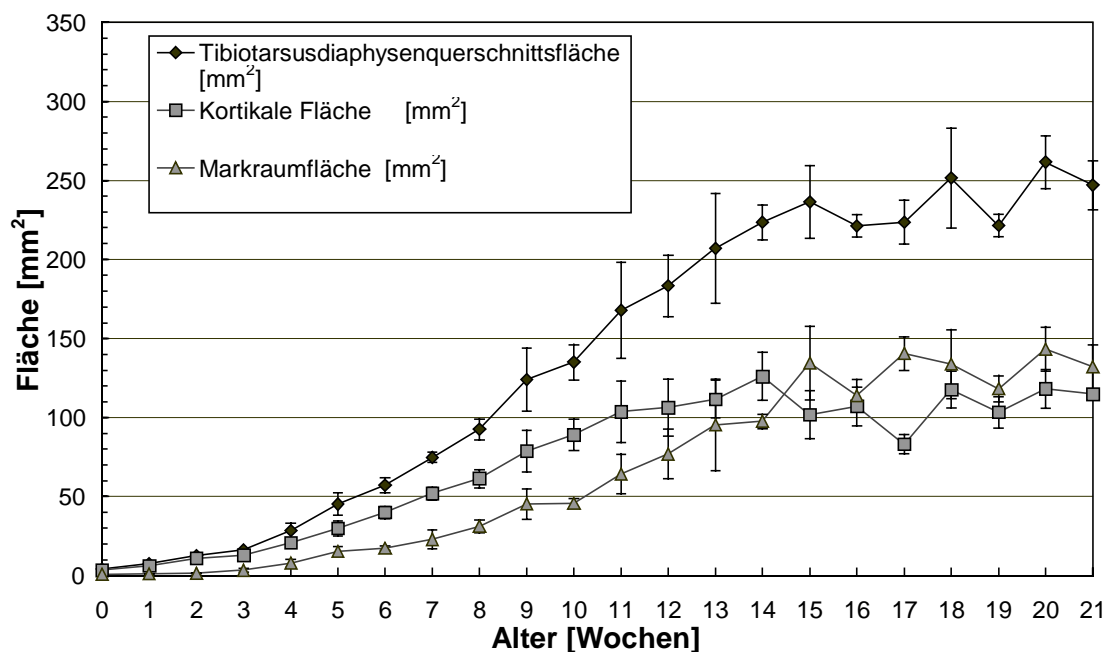


Abb. 24: Tibiotarsusdiaphysenquerschnittsfläche, kortikale- und medulläre Fläche vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

Der Zeitraum nach der 15. LW zeichnet sich bei allen sechs Kurven durch wechselnd abnehmende und zunehmende Flächenwerte aus, wobei die Kurven insgesamt betrachtet bis zur 20. LW leicht ansteigen. In diesem Alter liegen demnach alle Maxima der Kurven mit mittleren qF von $277,84 \text{ mm}^2$ für den F bzw. $261,50 \text{ mm}^2$ für den TT, wobei $112,43 \text{ mm}^2$ respektive $118,13 \text{ mm}^2$ auf die kF und $165,42 \text{ mm}^2$ respektive $143,37 \text{ mm}^2$ auf die mF entfallen.

Auffallend ist, dass die eben dargestellten maximalen Flächenwerte von F und TT sehr eng beieinander liegen, wie es auch eingangs beschrieben für den ersten LT der Fall ist.

4.5. Osteodensitometrische Messungen am Femur (5. bis 21. LW)

Die Mittelwerte der Knochendichte der rechten proximalen Femurmetaphyse sind in Abb. 25 graphisch dargestellt. Aus meßtechnischen Gründen war eine Datenerfassung vor der 5. LW nicht möglich. Die Kurve zeigt einen sehr schnellen Anstieg der mittleren Knochendichte zwischen der 5. LW ($0,099 \text{ g/cm}^2$) und der 9. LW ($0,32 \text{ g/cm}^2$). Der größte Zuwachs der Knochendichte ist hierbei zwischen der 8. und 9. LW mit annähernd $0,1 \text{ g/cm}^2$ zu sehen. Im Weiteren zeigt sich nur noch eine geringgradige Zunahme der mittleren Dichte der Metaphyse mit Werten von $0,339 \text{ g/cm}^2$ in der 10. LW auf $0,376 \text{ g/cm}^2$ in der 21. LW, wobei ein Maximalwert von $0,391 \text{ g/cm}^2$ in der 19. LW gemessen wurde.

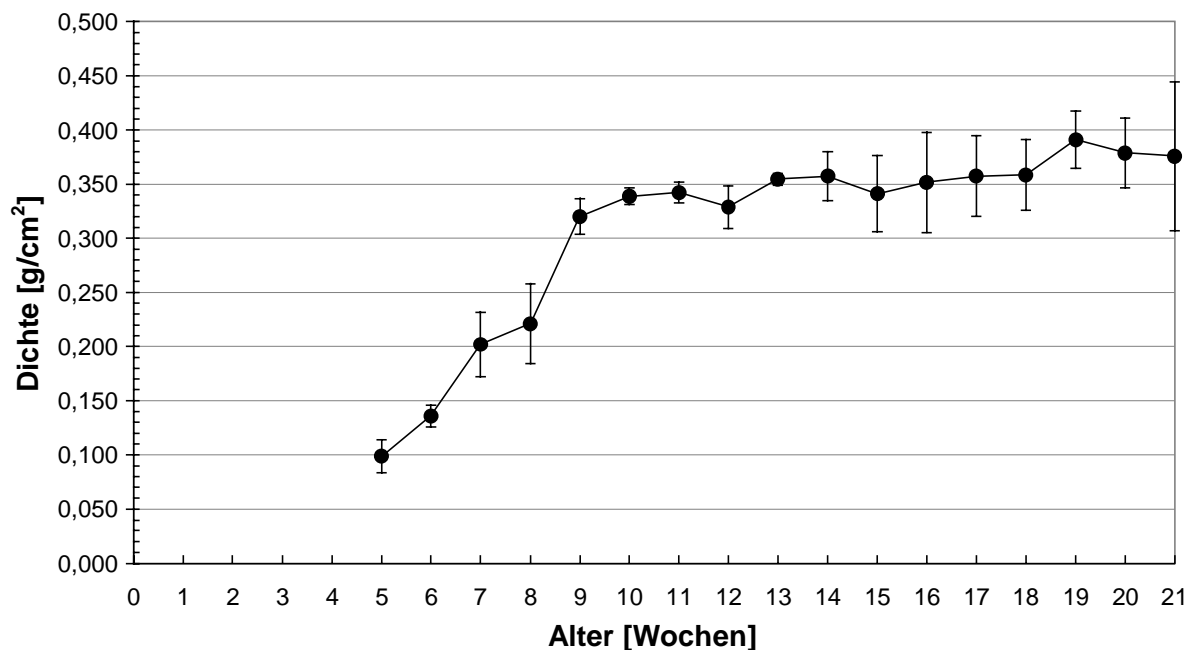


Abb. 25: Knochendichte der rechten proximalen Femurmetaphyse von der 5. bis zur 21. Lebenswoche (Mittelwerte der Altersgruppen \pm Standardabweichung)

4.6. Trockensubstanz-, Rohaschebestimmung und Mineralstoffanalyse (Ca, P) des Femurschaftes

Die Trockenmassen (TM) der Knochenmischproben der Wochengruppen des re. Femurs (gereinigter Diaphysenring) zeigen über die ersten zwei Drittel des Untersuchungszeitraums einen kontinuierlichen Anstieg und weisen im weiteren Verlauf nur noch geringgradige Schwankungen auf (s. Abb 26). Am ersten Lebenstag konnte nach der Trocknung der Probe ein Wert von 389,57 g/kg Feuchtmasse (FM) ermittelt werden. Dieser steigt im weiteren Kurvenverlauf im ersten Drittel des Untersuchungszeitraumes relativ schnell im zweiten Drittel zunehmend langsamer auf einen TM-Wert von 874,61 g/kg FM in der 14. LW. Die weiteren Messungen schwanken um diesen Wert, wobei ein Maximalwert für die TM von 881,04 g/kg FM in der 19. LW vorliegt.

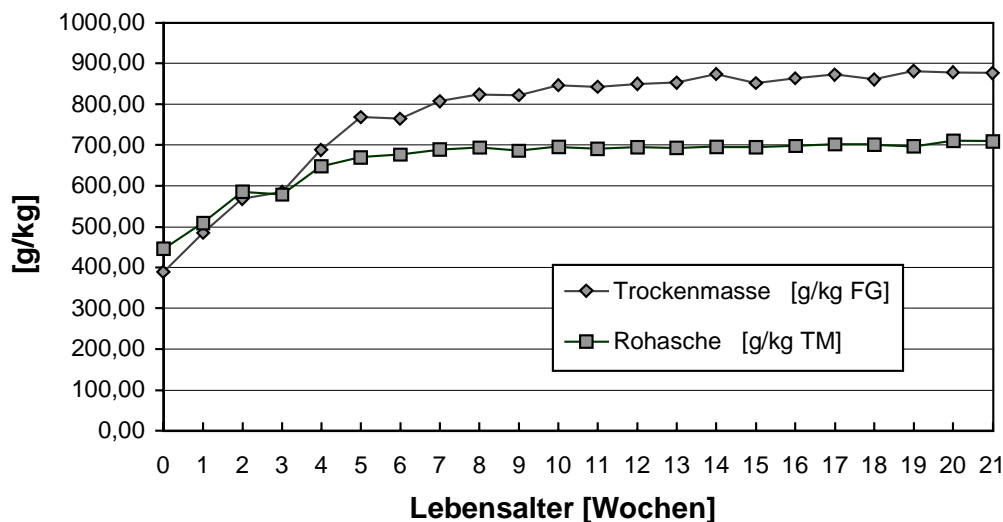


Abb. 26: Trockenmasse und Rohaschegehaltsentwicklung des Femurschaftes von Mischproben der jeweiligen Wochengruppe in Gramm je Kilogramm Feuchtgewicht bzw. Gramm je Kilogramm Trockenmasse über 21 Lebenswochen

Die Rohaschegehaltsentwicklung ist ebenfalls in der Abb. 26 dargestellt. Auffällig ist ein ähnlicher Kurvenverlauf verglichen mit dem der Trockenmasseentwicklung. Von einem leichten Einbruch in der 3. LW abgesehen steigen die Rohaschegehalte kontinuierlich von 446,00 g/kg TM am ersten Lebenstag auf 693,57 g/kg TM in der 8.

LW. Im weiteren Verlauf liegen die Werte um 700 g Rohasche (Ra) je kg TM. Ein maximaler Wert wurde in der 20. LW mit 710,04 g Ra/kg TM gemessen.

Die aus der Rohasche gewonnenen und auf die TM bezogenen Konzentrationen der Mineralstoffe Kalzium und Phosphor sind in Abb. 27 dargestellt. Den Rohaschegehalten entsprechend steigen die Kurven der Kalzium- sowie die Phosphorwerte, bis auf den bereits beschriebenen geringgradigen Einbruch in der 3. LW, kontinuierlich leicht an. Hierbei zeigt die von den Werten etwa doppelt so große Kurve der Kalziumkonzentration einen wesentlich geradlinigeren Verlauf als die der Phosphorkonzentration, wobei die jeweiligen Werte insgesamt eher einer gewissen Konstanz unterliegen. Am ersten Lebenstag liegen die Werte für die P-Konzentration bei 81,14 mg/g TM die der Ca-Konzentration bei 175,56 mg/g TM, steigen langsam auf Werte von 125,42 mg P/g TM bzw. 236,59 mg Ca/g TM in der 11. LW an und bewegen sich im weiteren Verlauf mit geringer Schwankungsbreite um diese Meßgrößen. Maxima werden in der 18. LW mit 244,89 mg Ca/g TM respektive 133,66 mg P/g TM in der 17. LW erreicht, nach diesem Zeitpunkt scheinen beide Mineralstoffkonzentrationen leicht rückläufig zu sein.

Das Ca/P-Verhältnis bewegt sich zwischen 1,77 und 2,16, wobei über die Zeit keine kontinuierliche Verschiebung ersichtlich ist. Das mittlere Verhältnis liegt bei 1,92.

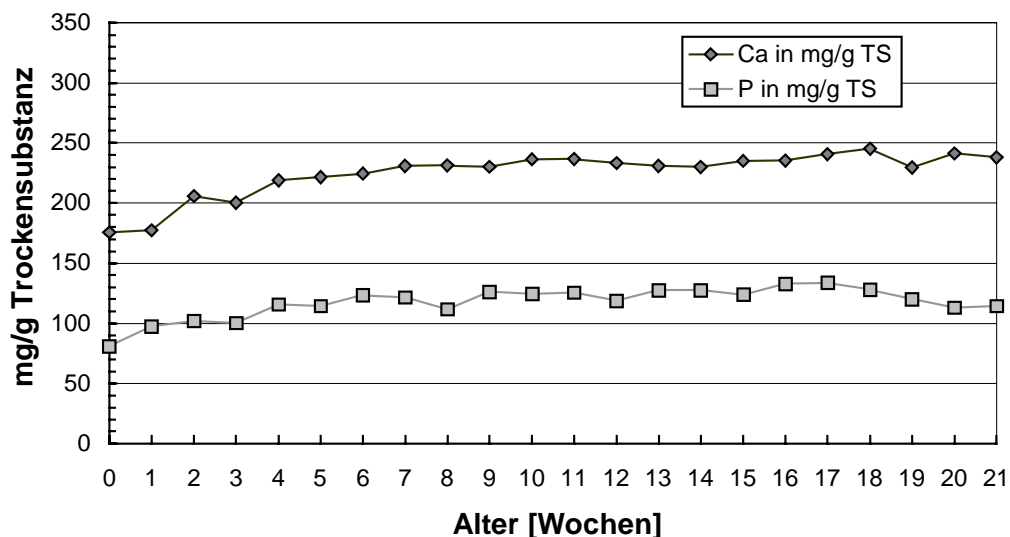


Abb. 27: Mineralstoffgehalte des Femurschaftes von Mischproben der jeweiligen Wochengruppe in Milligramm je Gramm Trockensubstanz vom ersten Lebenstag bis zur 21. Lebenswoche