

**Anatomische Darstellung des caninen Karpalgelenkes mittels
Magnetresonanztomographie und Computertomographie
unter besonderer Berücksichtigung der Weichteilstrukturen**

Andreas Brüschwein

Aus der Chirurgischen Tierklinik
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. Dr. habil. U. Matis

Angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. Dr. habil. R. Köstlin

**Anatomische Darstellung des caninen Karpalgelenkes mittels
Magnetresonanztomographie und Computertomographie
unter besonderer Berücksichtigung der Weichteilstrukturen.**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Andreas Brühschwein
aus Gunzenhausen

München, 2005

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. A. Stolle
Referent:	Univ.-Prof. Dr. R. Köstlin
Korreferentin:	Univ.-Prof. Dr. K. Hartmann

Tag der Promotion: 11. Februar 2005

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	2
2.1	GRUNDLAGEN DER RADIOLOGIE.....	2
2.1.1	<i>Entstehung von Röntgenstrahlen.....</i>	2
2.1.2	<i>Schwächungseffekte von Röntgenstrahlen.....</i>	2
2.1.3	<i>Detektion von Röntgenstrahlen.....</i>	2
2.1.3.1	Konventionelle Röntgendiagnostik	2
2.1.3.2	Digitale Speicherfolienradiographie.....	2
2.1.3.3	Computertomographie.....	3
2.2	COMPUTERTOMOGRAPHIE	3
2.2.1	<i>Aufbau eines Computertomographen.....</i>	4
2.2.1.1	Gantry.....	4
2.2.1.1.1	Erste Generation.....	4
2.2.1.1.2	Zweite Generation.....	4
2.2.1.1.3	Dritte Generation.....	4
2.2.1.1.4	Vierte Generation.....	4
2.2.1.1.5	Schleifring-CT und Spiral-CT-Technologie.....	5
2.2.1.1.6	Mehrzeilenspiral-CT (MD-CT = Multi Detector- CT).....	5
2.2.1.2	Röntgenröhre.....	5
2.2.1.3	Detektoren.....	5
2.2.1.4	Patiententisch.....	6
2.2.1.5	Computer.....	6
2.2.1.6	Bedienpult und Monitor.....	6
2.2.2	<i>Prinzipien der Bildentstehung.....</i>	6
2.2.2.1	Bildrekonstruktion.....	6
2.2.2.2	Bildauflösung.....	7
2.2.2.3	Hounsfield-Einheit.....	7
2.2.2.4	Fenster Technik.....	8
2.2.2.5	Dreidimensionale Rekonstruktionsverfahren.....	9
2.2.2.5.1	Oberflächendarstellung.....	9
2.2.2.5.2	Multiplanare Rekonstruktion (MPR).....	9
2.2.2.5.3	Maximale Intensitätsprojektion (MIP).....	9
2.2.2.6	Terminologie der Dichtewerte.....	9
2.2.2.7	Bildarchiv.....	10
2.2.3	<i>Artefakte.....</i>	10
2.2.3.1	Patientenbedingte Artefakte.....	10
2.2.3.2	Systemabhängige Artefakte.....	10
2.2.3.2.1	Linienartefakte.....	10
2.2.3.2.2	Ringartefakte.....	10
2.2.3.3	Physikalisch bedingte Artefakte.....	11
2.2.3.3.1	Partial-Volumen-Effekt (Teilvolumenartefakte).....	11
2.2.3.3.2	Strahlaufhärtingsartefakte.....	11
2.2.4	<i>Kontrastmittel.....</i>	11
2.2.5	<i>Praktische Durchführung einer Computertomographischen Untersuchung.....</i>	11
2.2.6	<i>Anwendungen der Computertomographie.....</i>	12
2.3	KERNSPINTOMOGRAPHIE	13
2.3.1	<i>Physikalische Grundlagen der Kernspintomographie.....</i>	13
2.3.1.1	Atom Aufbau.....	13
2.3.1.2	Spin und Präzession.....	14
2.3.1.3	Longitudinalmagnetisierung.....	15
2.3.1.4	HF-Impuls, Resonanz und Transversalmagnetisierung.....	15
2.3.1.5	Longitudinal- und Transversalrelaxation.....	16
2.3.1.6	T1, Longitudinalrelaxation, Spin-Gitter-Wechselwirkung.....	16
2.3.1.7	T2, Transversalrelaxation, Spin-Spin-Wechselwirkung.....	17
2.3.2	<i>Technischer Aufbau eines Magnetresonanztomographen.....</i>	18

2.3.2.1	Magnet.....	18
2.3.2.2	Patientenliege.....	19
2.3.2.3	Gradientensystem.....	19
2.3.2.4	Hochfrequenzsystem.....	20
2.3.2.5	Sende- und Empfangsspulen.....	20
2.3.3	<i>Grundlagen der Entstehung eines MR-Bildes</i>	20
2.3.3.1	Bildkontrast und Bildentstehung.....	20
2.3.3.2	Digitaler Bildaufbau.....	21
2.3.3.3	Terminologie der Signalwerte.....	22
2.3.3.4	Schichtwahl und Ortskodierung.....	22
2.3.3.5	Signal-zu-Rausch-Verhältnis.....	23
2.3.3.6	Bildgebungssequenzen.....	25
2.3.4	<i>Artefakte</i>	26
2.3.4.1	Partial-Volumen-Effekte, Teilvolumenartefakte.....	26
2.3.4.2	Chemische Verschiebung.....	26
2.3.4.3	Fluss- und Bewegungsartefakte.....	26
2.3.4.4	Einfaltungsartefakte.....	27
2.3.4.5	Suszeptibilitätseffekte und -artefakte.....	28
2.3.4.6	Trunktionsartefakte.....	28
2.3.4.7	Magic-Angle-Artefakt.....	28
2.3.4.8	Linienartefakte.....	28
2.3.4.9	Spikes.....	28
2.3.5	<i>Kontrastmittel</i>	29
2.3.5.1	Direkt wirksame Kontrastmittel.....	29
2.3.5.2	Indirekt wirksame Kontrastmittel.....	29
2.3.5.2.1	Über Suszeptibilitätseffekte wirksame Kontrastmittel.....	29
2.3.5.2.2	Über eine Verkürzung der Relaxationszeit wirksame Kontrastmittel.....	29
2.3.5.3	Weitere Kontrastmittel.....	30
2.3.5.4	Toxizität.....	30
2.3.5.5	Anwendung und Wirkstoffe.....	30
2.3.5.6	Nebenwirkungen und Dosierung.....	30
2.3.6	<i>Praktische Durchführung einer MRT-Untersuchung</i>	31
2.3.7	<i>Anwendungen der Kernspintomographie</i>	31
2.4	ANATOMIE DES KARPALGELENKES	33
2.4.1	<i>Beschreibung der am Karpalgelenk beteiligten Knochen und Gelenkflächen</i>	33
2.4.1.1	Ossa antebrachii (Unterarmknochen).....	33
2.4.1.1.1	Radius (Speiche).....	33
2.4.1.1.2	Ulna (Elle).....	33
2.4.1.2	Ossa carpi (Karpalknochen).....	34
2.4.1.2.1	Os carpi intermedioradiale (Os scapholunatum, Kahn-Mondbein).....	34
2.4.1.2.2	Os carpi ulnare (Os triquetrum, Dreiecksbein).....	34
2.4.1.2.3	Os carpi accessorium (Os pisiforme, Erbsenbein).....	34
2.4.1.2.4	Sesambein in der Sehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus.....	35
2.4.1.2.5	Os carpale primum (Os trapezium, großes Vieleckbein).....	35
2.4.1.2.6	Os carpale secundum (Os trapezoideum, kleines Vieleckbein).....	35
2.4.1.2.7	Os carpale tertium (Os capitatum, Kopfbein).....	35
2.4.1.2.8	Os carpale quartum (Os hamatum, Hakenbein).....	35
2.4.1.3	Ossa metacarpalia (Vordermittelfußknochen):.....	36
2.4.2	<i>Gelenke und Bewegungsumfang</i>	36
2.4.2.1	Articulatio radioulnaris proximalis et distalis.....	36
2.4.2.2	Articulatio carpi.....	36
2.4.2.2.1	Articulatio antebrachioarpea, Unterarm-Vorderfußwurzelgelenk.....	37
2.4.2.2.2	Articulatio mediocarpea, Vorderfußwurzel-Mittelgelenk.....	37
2.4.2.2.3	Articulatio ossis carpi accessorii.....	37
2.4.2.2.4	Articulationes intercarpeae, Vorderfußwurzel-Zwischengelenke.....	37
2.4.2.2.5	Articulationes carpometacarpeae, Vorderfußwurzel-Mittelfußgelenke.....	37
2.4.2.3	Articulationes intermetacarpeae, Mittelfußknochen-Zwischengelenke.....	38
2.4.3	<i>Gelenkkapsel, Capsula articularis</i>	38
2.4.4	<i>Bandapparat</i>	38
2.4.4.1	Bänder des Antebrachiums.....	38
2.4.4.2	Bänder des Karpalgelenkes.....	38
2.4.4.2.1	Ligg. collateralia, Seitenbänder.....	38
2.4.4.2.2	Ligg. antebrachioarpea, Unterarm-Fußwurzelbänder.....	39
2.4.4.2.3	Ligg. ossis carpi accessorii, Bänder des Erbsenbeins.....	40
2.4.4.2.4	Ligg. intercarpea, Fußwurzel- oder Interkarpalbänder.....	40
2.4.4.2.5	Ligg. carpometacarpea, Fußwurzel-Mittelfußbänder.....	40

2.4.4.2.6	Ligg. metacarpea, Mittelfußbänder	41
2.4.5	<i>Muskulatur am Karpalgelenk</i>	41
2.4.5.1	Muskeln des Vorderfußwurzelgelenkes.....	41
2.4.5.2	Muskeln der Vorderzehen	42
2.4.5.2.1	Lange Zehenmuskeln	42
2.4.5.2.2	Kurze Zehenmuskeln	45
2.4.6	<i>Hilfseinrichtungen der Muskeln</i>	47
2.4.6.1	Faszien.....	47
2.4.6.2	Schleimbeutel	47
2.4.6.3	Sehnenscheiden	47
2.4.7	<i>Blutgefäße am Karpus</i>	50
2.4.7.1	Arterien am Karpus	50
2.4.7.1.1	A. antebrachialis superficialis cranialis	50
2.4.7.1.2	Aa. interosseae	50
2.4.7.1.3	A. mediana	50
2.4.7.1.4	A. ulnaris	51
2.4.7.1.5	A. radialis	51
2.4.7.1.6	Arcus palmaris	51
2.4.7.1.7	Rete carpi dorsale	51
2.4.7.2	Venen am Karpus	51
2.4.7.2.1	V. cephalica	52
2.4.7.2.2	Vv. interosseae	52
2.4.7.2.3	V. mediana	53
2.4.7.2.4	V. ulnaris	53
2.4.7.2.5	V. radialis	53
2.4.7.2.6	Arcus palmaris profundus	53
2.4.7.2.7	Arcus palmaris superficialis	53
2.4.7.2.8	Rete carpi dorsale	54
2.4.8	<i>Nerven am Karpus</i>	54
2.4.8.1	N. radialis	54
2.4.8.2	N. medianus	54
2.4.8.3	N. ulnaris	55
2.4.9	<i>Röntgenanatomie des Karpalgelenkes</i>	56
2.5	UNTERSUCHUNG DES KARPALGELENKES	57
2.5.1	<i>Klinische Untersuchung</i>	57
2.5.2	<i>Röntgenuntersuchung des Karpalgelenkes</i>	57
2.6	ERKRANKUNGEN DES KARPALGELENKES	58
2.6.1	<i>Frakturen</i>	58
2.6.2	<i>Luxationen und Subluxationen</i>	58
2.6.3	<i>Hyperextensionsverletzungen</i>	59
3	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	60
3.1	MATERIAL UND METHODEN	60
3.1.1	<i>Material</i>	60
3.1.2	<i>Röntgenologische Untersuchung</i>	60
3.1.2.1	Verwendete Geräte	60
3.1.2.2	Lagerung und Durchführung	60
3.1.3	<i>Computertomographische Untersuchung</i>	61
3.1.3.1	Verwendete Geräte	61
3.1.3.2	Vorversuche am CT.....	61
3.1.3.3	Lagerung und Durchführung	62
3.1.3.4	Einstellungen am CT	62
3.1.4	<i>Magnetresonanztomographische Untersuchung</i>	62
3.1.4.1	Verwendete Geräte	62
3.1.4.2	Verwendete Sequenzen	63
3.1.4.3	Lagerung und Durchführung	63
3.1.5	<i>Anatomische Untersuchungen</i>	64
3.1.5.1	Manuelle Präparation	64
3.1.5.2	Kryoschnitte	64
3.1.5.3	Scheibenplastination.....	64
3.1.5.4	Vergleich zwischen Kryoschnitten und Plastinaten.....	65
3.1.5.5	Vergleich zwischen den verschiedenen Sequenzen.....	67

3.2	DARSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER BILDER	67
3.3	GRUNDSÄTZE ZUR DARSTELLUNG EINZELNER GEWEBE IM MR-BILD	68
3.4	BESCHREIBUNG DER MR-SCHNITTBILDANATOMIE DES CANINEN KARPAGELENKES	68
3.4.1	<i>Knöcherne Strukturen</i>	68
3.4.1.1	Radius	68
3.4.1.2	Ulna	69
3.4.1.3	Os carpi intermedioradiale	69
3.4.1.4	Os carpi ulnare	70
3.4.1.5	Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus	70
3.4.1.6	Os carpale primum	70
3.4.1.7	Os carpale secundum	70
3.4.1.8	Os carpale tertium	71
3.4.1.9	Os carpale quartum	71
3.4.1.10	Ossa metacarpalia primum, secundum, tertium, quartum und quintum	71
3.4.2	<i>Gelenke</i>	72
3.4.3	<i>Bänder</i>	72
3.4.3.1	Lig. radioulnare distale	72
3.4.3.2	Ligg. collateralia, Seitenbänder	73
3.4.3.2.1	Lig. collaterale carpi laterale	73
3.4.3.2.2	Lig. collaterale carpi mediale	73
3.4.3.3	Ligg. antebrachioarpea	73
3.4.3.3.1	Lig. radiocarpeum dorsale	73
3.4.3.4	Lig. carpi palmare profundum	74
3.4.3.4.1	Lig. radiocarpeum palmare	74
3.4.3.4.2	Lig. ulnocarpeum palmare	74
3.4.3.4.3	Proximaler Anteil der Fibrocartilago carpometacarpeum palmare bzw. Lig. carpi radiatum	74
3.4.3.5	Ligg. ossis carpi accessorii	75
3.4.3.5.1	Lig. accessorioulnare	75
3.4.3.5.2	Lig. accessoriocarpoulnare	75
3.4.3.5.3	Lig. accessoriometacarpeum	75
3.4.3.6	Ligg. intercarpea	76
3.4.3.6.1	Ligg. intercarpea dorsalia	76
3.4.3.6.2	Lig. intercarpeum palmare	76
3.4.3.6.3	Ligg. intercarpea interossea	76
3.4.3.7	Ligg. carpometacarpeae	77
3.4.3.7.1	Ligg. carpometacarpea dorsalia	77
3.4.3.7.2	Lig. carpometacarpeum palmare	77
3.4.3.7.3	Distaler Anteil der Fibrocartilago carpometacarpeum palmare respektive die karpometakarpalen Anteile des Lig. carpi palmare profundum/Lig. carpi radiatum	77
3.4.3.8	Ligg. metacarpea	78
3.4.4	<i>Muskeln und Sehnen</i>	78
3.4.4.1	M. extensor carpi radialis	78
3.4.4.2	M. extensor carpi ulnaris	79
3.4.4.3	M. flexor carpi ulnaris	79
3.4.4.4	M. flexor carpi radialis	80
3.4.4.5	M. extensor digitorum (digitalis) communis	80
3.4.4.6	M. extensor digitorum (digitalis) lateralis	80
3.4.4.7	M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis)	81
3.4.4.8	M. abductor digiti I (pollicis) longus	81
3.4.4.9	M. flexor digitorum (digitalis) superficialis	81
3.4.4.10	M. flexor digitorum (digitalis) profundus	82
3.4.4.11	M. interflexorius distalis	82
3.4.4.12	Kurze Zehenmuskeln	82
3.4.4.12.1	Mm. interossei	83
3.4.4.12.2	Mm. lumbricales	83
3.4.4.13	Sondermuskeln der ersten, zweiten und fünften Zehe	83
3.4.4.13.1	M. abductor digiti I (pollicis) brevis	83
3.4.4.13.2	M. flexor digiti I (pollicis) brevis, M. adductor digiti I (pollicis)	83
3.4.4.13.3	M. adductor digiti II und M. adductor digiti V	83
3.4.4.13.4	M. flexor digiti V und M. abductor digiti V	84
3.4.5	<i>Hilfseinrichtungen der Muskeln</i>	84
3.4.5.1	Faszien, Retinacula, Canalis carpi	84
3.4.5.2	Angeborene Schleimbeutel	84
3.4.5.2.1	M. flexor digitorum (digitalis) profundus	84
3.4.5.2.2	M. extensor carpi ulnaris	84

3.4.5.2.3	M. flexor carpi ulnaris.....	85
3.4.5.3	Fakultativ erworbene Schleimbeutel	85
3.4.5.4	Sehnenscheiden	85
3.4.5.4.1	Sehnenscheide des M. extensor carpi radialis	85
3.4.5.4.2	Sehnenscheide des M. flexor carpi radialis	85
3.4.5.4.3	Sehnenscheide des M. abductor digiti I (pollicis) longus	85
3.4.5.4.4	Sehnenscheide des M. extensor digitorum (digitalis) lateralis	85
3.4.5.4.5	Sehnenscheide des M. extensor digitorum (digitalis) communis und des M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis).....	86
3.4.6	<i>Gefäße</i>	86
3.4.7	<i>Nerven</i>	86
3.4.8	<i>Integument und Karpalballen (Torus carpeus)</i>	87
3.5	GRUNDSÄTZE ZUR DARSTELLUNG EINZELNER GEWEBE IM CT-BILD	87
3.6	BESCHREIBUNG DER CT-SCHNITTBILDANATOMIE DES CANINEN KARPALGELENKES.....	88
3.6.1	<i>Darstellung der Knochen im Knochenfenster</i>	88
3.6.1.1	Radius und Ulna	88
3.6.1.2	Proximale Karpalgelenksreihe.....	89
3.6.1.3	Distale Karpalgelenksreihe.....	90
3.6.1.4	Metakarpus.....	90
3.6.2	<i>Darstellung der Weichteile im Weichteilfenster</i>	91
3.6.2.1	Bänder	91
3.6.2.1.1	Lig. radioulnare distale.....	91
3.6.2.1.2	Lig. collaterale carpi laterale.....	91
3.6.2.1.3	Lig. collaterale carpi mediale	91
3.6.2.1.4	Lig. radiocarpum dorsale.....	91
3.6.2.1.5	Lig. radiocarpum palmare	91
3.6.2.1.6	Lig. ulnocarpum palmare.....	91
3.6.2.1.7	Lig. carpi radiatum	92
3.6.2.1.8	Lig. accessorioulnare und Lig. accessoriocarpoulnare	92
3.6.2.1.9	Lig. accessoriometacarpeum mediale (IV) et laterale (V).....	92
3.6.2.1.10	Ligg. intercarpea dorsalia.....	92
3.6.2.1.11	Lig. intercarpeum palmare	92
3.6.2.1.12	Ligg. intercarpea interossea.....	92
3.6.2.1.13	Ligg. carpometacarpea dorsalia.....	92
3.6.2.1.14	Lig. carpometacarpeum palmare	92
3.6.2.1.15	Fibrocartilago carpometacarpeum palmaris und Lig. carpi palmare profundum bzw. Lig. carpi radiatum	93
3.6.2.1.16	Ligg. metacarpea	93
3.6.2.2	Muskeln und Sehnen	93
3.6.2.2.1	M. extensor carpi radialis.....	93
3.6.2.2.2	M. extensor carpi ulnaris.....	93
3.6.2.2.3	M. flexor carpi ulnaris.....	94
3.6.2.2.4	M. flexor carpi radialis.....	94
3.6.2.2.5	M. extensor digitorum (digitalis) communis	94
3.6.2.2.6	M. extensor digitorum (digitalis) lateralis	94
3.6.2.2.7	M. extensor digiti I (pollicis) et indicis	94
3.6.2.2.8	M. abductor digiti I (pollicis) longus.....	94
3.6.2.2.9	M. flexor digitorum (digitalis) superficialis	95
3.6.2.2.10	M. flexor digitorum (digitalis) profundus.....	95
3.6.2.2.11	M. interflexorius distalis	95
3.6.2.2.12	Kurze Zehenmuskeln	95
3.6.2.2.13	Sondermuskeln der ersten, zweiten und fünften Zehe.....	96
3.6.2.3	Hilfseinrichtungen der Muskeln+	96
3.6.2.3.1	Faszien, Retinacula, Canalis carpi.....	96
3.6.2.3.2	Schleimbeutel und Sehnenscheiden	96
3.6.2.4	Gefäße und Nerven.....	96
3.6.2.5	Integument und Karpalballen	97
3.7	VERGLEICHENDE SCHNITTBILDANATOMIE	97
3.7.1	<i>Abkürzungsverzeichnis der anatomischen Strukturen</i>	97
3.7.2	<i>Abbildungen – Dreidimensionale Anatomie der Karpalknochen</i>	100
3.7.3	<i>Abbildungen - Transversale Schnittbildanatomie</i>	101
3.7.4	<i>Abbildungen - Sagittale Schnittbildanatomie</i>	141
3.7.5	<i>Abbildungen - Dorsale Schnittbildanatomie</i>	157

4	DISKUSSION	167
4.1	MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER RÖNTGEN- UND SCHNITTBILDDIAGNOSTIK AM KARPUS	167
4.2	CT-UNTERSUCHUNGSPARAMETER	168
4.3	WERT DER COMPUTERTOMOGRAPHIE BEI DER DARSTELLUNG DER WEICHTEILSTRUKTUREN	169
4.4	MR-UNTERSUCHUNGSPARAMETER	170
4.5	WERT DER MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE BEI DER DARSTELLUNG DES KARPUS	170
4.6	KORRELATION DER DARSTELLUNG ZWISCHEN ANATOMISCHEN PLASTINATEN UND TOMOGRAMMEN....	171
4.7	VERGLEICH ZWISCHEN MAGNETRESONANZ- UND COMPUTERTOMOGRAPHIE	172
4.8	AUSBLICK	172
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	173
6	SUMMARY.....	175
7	LITERATURVERZEICHNIS	177

DANKSAGUNG

LEBENS LAUF

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
CT	Computertomograph (-ie)/computed tomography
FA	Flip Angle, Pulswinkel
FOV	Field-of-View, Bildfeld
HE	Hounsfield Einheit
HU	Hounsfield Unit
KM	Kontrastmittel
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
mA	Milliampere
mAs	Milliamperesekunden
MD-CT	Multi Detector-CT
med.	medialis
MIP	Maximale Intensitätsprojektion
Mm.	Musculi
mm	Millimeter
MPR	Multiplanare Rekonstruktion
MR	Magnetresonanz/magnetic resonance
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
N.	Nervus
Nn.	Nervi
Proc.	Processus (Singular)
Procc.	Processus (Plural)
s	Sekunden
SD	Schichtdicke
T	Tesla
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
V.	Vena
Vv.	Venae

1 EINLEITUNG

Die Computertomographie und die Magnetresonanztomographie sind in der Humanmedizin seit langem etablierte Verfahren. Zunehmend gewinnen sie auch in der Tiermedizin an Verbreitung und Bedeutung.

Bei orthopädischen Fragestellungen hat die Computertomographie in der Tiermedizin bereits ihren festen Platz. Wo die Röntgenuntersuchung an ihre Grenzen stößt, liefert die Computertomographie oft wertvolle zusätzliche Informationen. Sie kann beispielsweise feinste knöcherne Fissurlinien aufdecken, die röntgenologisch nicht erkennbar sind. Die Darstellung von Weichteilveränderungen gestaltet sich mittels CT jedoch oft schwierig, da die meisten Weichteile eine ähnliche Röntgendichte besitzen und deshalb kaum voneinander zu unterscheiden sind. Hier besitzt die Magnetresonanztomographie mit ihrem großen Weichteilkontrast erhebliche Vorteile und ergänzt neuerdings auch in der Tiermedizin zunehmend die Computertomographie. Gerade neurologisch tätige Tierärzte schätzen die Kernspintomographie bei der Abklärung intrakranieller und intraspinaler Veränderungen.

In der humanmedizinischen Kernspintomographie führen die Untersuchungszahlen des Gehirns und der Wirbelsäule die Statistiken an. Gelenke stehen mit 20-25 % bereits an dritter Stelle aller MR-Untersuchungen (IMHOF et al., 2000).

Das komplexe canine Karpalgelenk stellt den orthopädisch tätigen Tierarzt vor eine diagnostische Herausforderung (WHITTICK, 1990). Die Röntgenuntersuchung liefert aufgrund einer Vielzahl an überlagernden Strukturen oft nur unzureichende Ergebnisse. Eine sichere Röntgendiagnose ist oft schwierig und es bedarf zuweilen einer diagnostischen Arthrotomie, um eine Verdachtsdiagnose zu verifizieren (BRINKER et al., 1993). Deshalb bedient man sich zunehmend der überlagerungsfreien Darstellung durch moderne Schnittbilddiagnostik, um dieses Gelenk weitergehend zu untersuchen. Dabei sind für eine sichere Diagnose, neben genauem anatomischen Wissen über Lokalisation von Knochen, Bändern und Sehnen, fundierte Kenntnisse der Schnittbildanatomie wichtig, um die normalen anatomischen Verhältnisse von pathologischen Veränderungen abgrenzen zu können. Die meisten Arbeiten auf diesem Gebiet beziehen sich auf die Darstellung knöcherner Strukturen. Es liegen jedoch kaum Beschreibungen der normalen Weichteilanatomie vor. Das Ziel dieser Arbeit ist die normalanatomische Darstellung des caninen Karpalgelenkes mittels CT und MRT unter besonderer Berücksichtigung der Weichteilstrukturen. Dabei werden eine Korrelation sowie ein nachfolgender Vergleich zwischen CT- und MR-Bildern in drei Ebenen, transversal, sagittal und dorsal, erfolgen. Anatomische Scheibenplastinate der untersuchten Gelenke sollen dabei als Referenz dienen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Grundlagen der Radiologie

2.1.1 Entstehung von Röntgenstrahlen

Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen, die in einem Vakuumzylinder entstehen, wenn beschleunigte Elektronen auf Materie treffen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; THRALL und WIDMER, 2002).

Diese Elektronen werden in einer evakuierten Röntgenröhre aus einem stromdurchflossenen Draht, der sogenannte Glühkathode, emittiert. Eine zwischen Kathode und Anode anliegende Hochspannung beschleunigt die Elektronen. Beim Auftreffen auf den Brennfleck des Drehanodentellers werden die Elektronen abgebremst. Dabei wird ihre kinetische Energie in Wärme und elektromagnetische Bremsstrahlung umgewandelt.

Die Höhe der angelegten Röhrensorgung (kV) beeinflusst die kinetische Energie der Elektronen und damit die Qualität und Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlung. Die Stärke des Heizstromes (mA) in der Kathode ist proportional zur Zahl der emittierten Elektronen und damit zur Zahl der entstehenden Röntgenquanten. Die Menge der erzeugten Röntgenstrahlung hängt neben dem Röhrenstrom von der Belichtungszeit (s) ab (DIK, 1993; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; THRALL und WIDMER, 2002).

2.1.2 Schwächungseffekte von Röntgenstrahlen

Die bei der klinischen Diagnostik angewendeten Röntgenstrahlen werden im Körper teilweise absorbiert und gestreut. Ein weiterer Anteil durchdringt den Körper geradlinig und kann nach Detektion zur radiologischen Bildgebung benutzt werden. Die Absorptionsrate eines Stoffes hängt von seiner physikalischen Dichte und seiner chemischen Zusammensetzung (effektive Ordnungszahl) ab (DIK, 1993; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; THRALL und WIDMER, 2002).

2.1.3 Detektion von Röntgenstrahlen

2.1.3.1 Konventionelle Röntgendiagnostik

Der konventionellen Röntgendiagnostik liegt der photographische Effekt von Röntgenstrahlen zugrunde. Auf Röntgenfilmen aufgebrachte, Silberhalogenide enthaltende (AgBr, AgCl, AgI) Emulsionen werden durch Röntgenstrahlen geschwärzt. Durch Reduktion entsteht dabei elementares Silber. Die Entwicklung des Röntgenfilmes verstärkt diesen Vorgang um ein vielfaches und erzeugt ein sichtbares Bild. Die nachfolgende Fixierung entfernt nicht reduzierte Silbersalze wodurch nicht belichtete Filmbereiche ihre Transparenz erlangen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; THRALL und WIDMER, 2002).

2.1.3.2 Digitale Speicherfolienradiographie

Die digitale Speicherfolienradiographie bedient sich des Lumineszenzeffektes von Röntgenstrahlen. Eine wiederverwendbare Speicherfolie, die mit einer lichtstimulierbaren Schwermetallhalogenidphosphorverbindung beschichtet ist, wird anstelle eines Röntgenfilms benutzt. Die Energie von Röntgenquanten induziert temporäre Ladungsverschiebungen

innerhalb von Halbleiterkristallen. Beim Auslesen der Platte führt ein dünner Helium-Neon-Laserstrahl zusätzliche Energie zu und bewirkt eine erneute Ladungsverschiebung. Die ursprünglich auf ein höheres Energieniveau angehobenen, aktivierten Elektronen kehren aus sogenannten Elektronenhaftstellen in ihre alte Lage zurück und emittieren dabei Lichtquanten, die von einem Photomultiplier detektiert werden. Die analogen elektrischen Signale des Detektors werden digitalisiert und im Bildprozessor eines Computers weiter verarbeitet. Auf diese Weise entsteht ein Röntgenbild, das auf einem Monitor dargestellt und bearbeitet werden kann. Ausdrucke dieser Bilder sind auf Papier oder auf transparenten Röntgeneinschichtfilmen mittels Thermo- oder Laserdrucker möglich. Die Bilder werden auf der Festplatte des Computers zwischengespeichert. Die Langzeitspeicherung ist auf optischen Platten, CDs oder DVDs möglich. Die Restladung auf der wiederverwendbaren Speicherfolie wird durch sehr starke Lichteinstrahlung gelöscht (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; DOLL, persönliche Mitteilung, 2004).

Der Vorteil der digitalen Bearbeitung liegt darin, Helligkeit und Kontrast eines Röntgenbildes nach der Aufnahme verändern zu können. Es können Knochen und Weichteile mit einer Aufnahme dargestellt werden und falschbelichtete Aufnahmen lassen sich ohne Wiederholung korrigieren, was die Strahlenbelastung erheblich reduziert (DIK, 1993; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; DOLL, persönliche Mitteilung, 2004).

2.1.3.3 Computertomographie

Bei der Computertomographie wird zur Messung der Röntgenstrahlung ihr Ionisationseffekt genutzt. In einer mit Edelgas gefüllten Hochdruckkammer werden Gasmoleküle durch den Aufprall von energiereichen Röntgenquanten ionisiert. Eine Potentialdifferenz innerhalb der Ionisationskammer zwischen einer Kathode und einer Anode lässt die geladenen Teilchen zu den Elektroden wandern und dort elektrische Signale erzeugen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994).

2.2 Computertomographie

Die Computertomographie hat in den letzten Jahren eine starke Verbreitung in der Tiermedizin erfahren. Aber sie ist eine noch junge Disziplin, weshalb Grundkenntnisse in der Computertomographie nicht vorausgesetzt werden können und an dieser Stelle erläutert werden sollen.

Ein Röntgenbild ist ein zweidimensionales Summationsbild eines dreidimensionalen Körpers. Dies führt zwangsläufig zur Abbildung einander überlagerter Strukturen (BERRY et al., 2002). Im Gegensatz dazu liefert die Schnittbilddiagnostik eine überlagerungsfreie Darstellung der untersuchten Körperregion durch die Zerlegung des untersuchten Volumens in einzelne, dünne, parallele, räumlich hintereinanderliegende Schichten (BERRY, 2002). Bei der Computertomographie wird die Schwächung von Röntgenstrahlung innerhalb einer Körperschicht zwischen einer beweglichen, um den Patienten auf einer Kreisbahn drehenden Röntgenröhre und einer Detektoreinheit in sehr vielen verschiedenen Positionen gemessen (GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003). Mittels aufwendiger computergestützter Rechenverfahren werden die Schwächungswerte in ihrer räumlichen Verteilung rekonstruiert und als Graustufenbild des durchstrahlten Körperquerschnitts auf einem Monitor dargestellt (DIK, 1993; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994).

2.2.1 Aufbau eines Computertomographen

Ein CT besteht aus mehreren im Folgenden beschriebenen Komponenten:

2.2.1.1 Gantry

Die Gantry ist das Aufnahmesystem mit einer zentralen, röhrenförmigen Öffnung um die eine Röntgenröhre und ein gegenüberliegendes Detektorsystem angeordnet sind. Die vertikal stehende Gantry ist um etwa $\pm 25^\circ$ aus der Senkrechten kippbar, was das Anfertigen von Schrägschnitten ermöglicht. Die Neigung der Messebene gegenüber der Körpersenkrechten wird Schichtneigungswinkel genannt (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; HOFER, 2003).

Aufgrund der Form des erzeugten Röntgenstrahls, der Bewegung der Röhre und der Anordnung der Detektoren in der Gantry lassen sich verschiedene Generationen von Computertomographen unterscheiden. Von Anfang bis Mitte der Siebziger Jahre waren die Geräte der ersten und zweiten Generation im Einsatz, die nach dem Translations-Rotations-Prinzip arbeiteten. Die meisten der heute gebräuchlichen Geräte sind reine Rotationsscanner (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; GALANSKI und PROKOP, 1998).

2.2.1.1.1 Erste Generation

Bei Geräten der ersten Generation tastete ein dünner Röntgenstrahl mit einem einzelnen gegenüber liegenden Detektor den Körper ab. Dabei bewegten sich Detektor und Röhre zuerst parallel zueinander über den gesamten Querschnitt (Translation) und rotierten danach um 1° (Rotation), um dann den gesamten Vorgang erneut zu wiederholen. Nach 180° drehte sich die Röhren-Detektor-Kombination zurück und begann nach Vorschub des Patientenlagerungstisches mit der nächsten Schicht (ASSHEUER und SAGER, 1997; SCHALLER und FLOHR, 2004).

2.2.1.1.2 Zweite Generation

Bei Geräten der zweiten Generation wurde der Einzelstrahl gegen ein Röntgenstrahlenbündel ausgetauscht und der einzelne Detektor durch mehrere (5-50) nebeneinander liegende Detektoren ersetzt, was die Untersuchungszeit wesentlich verkürzte (ASSHEUER und SAGER, 1997; GALANSKI und PROKOP, 1998; SCHALLER und FLOHR, 2004).

2.2.1.1.3 Dritte Generation

Computertomographen der dritten Generation sind die heute am weitesten verbreiteten Geräte. Es handelt sich dabei um reine Rotationsscanner mit einem fächerförmigen Röntgenstrahl dem ein Detektorsystem aus etwa 200-1000 Einzeldetektoren gegenüberliegt. Die Röhre und die Detektoreinheit sind fest aneinander gekoppelt (ASSHEUER und SAGER, 1997; SCHALLER und FLOHR, 2004).

2.2.1.1.4 Vierte Generation

Bei Geräten der vierten Generation liegt ein feststehender Detektorenkranz mit 300-4000 Einzeldetektoren zirkulär um die gesamte Gantry. Eine einzelne Röhre mit fächerförmigem Röntgenstrahl rotiert innerhalb der Detektoren um den Patienten (ASSHEUER und SAGER, 1997). Dafür ist eine sehr hohe Zahl der teuren Detektoren nötig und deshalb sind heutzutage fast ausschließlich die günstigeren Geräte der dritten Generation auf dem Markt, die aufgrund ihrer Bauweise eine geringere Anzahl an Detektoren benötigen. Auch ist der Austausch defekter Detektoren bei Geräten der dritten Generation technisch einfacher und somit kostengünstiger (RIEDER, mündliche Mitteilung, 2004).

2.2.1.1.5 *Schleifring-CT und Spiral-CT-Technologie*

Eine zusätzliche Weiterentwicklung seit Ende der Achtziger Jahre stellen der Schleifring-CT und die Spiraltechnik dar (FISHMAN, 2004). Bei älteren Geräten wurden der Röhren-Detektor-Kombination (Rotor) Strom und die gewonnenen Daten über ein Kabel zu- bzw. abgeführt. Dazu war nach jeder Drehung eine Rückrotation nötig, während der Patientenlagerungstisch um eine Schichtdicke weiter rückte. Modernen, kontinuierlich rotierenden Geräten wird über einen Schleifring Energie zugeführt. Die gewonnenen Messdaten können auf gleiche Weise vom drehenden Rotor über ein optisches Datentransfersystem zur Gantry übertragen werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SCHALLER und FLOHR, 2004).

Ein kontinuierlicher Vorschub des Patientenlagerungstisches und eine ständig drehende Röntgenröhre im Zusammenspiel mit der dazugehörigen Detektoreinheit führen zu einer spiralartigen Abtastung des Körpers. Aus einem so gewonnenen, lückenlosen Datensatz werden dann transversale Schichten berechnet (GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2002).

2.2.1.1.6 *Mehrzeilenspiral-CT (MD-CT = Multi Detector- CT)*

Ein weiterer Meilenstein der Computertomographie ist die Entwicklung der Mehrzeilenspiraltechnologie. Bei der Einzeilenspiraltechnik ist eine einzelne Detektoreinleiste gegenüber der Röntgenröhre positioniert. Bei sogenannten Mehrzeilenscannern sind gegenüber der Strahlenquelle mehrere Detektoreinleisten angeordnet. Somit verkürzt sich die Untersuchungszeit und es wird die zeitliche Auflösung verbessert, was besonders für CT-Angiographien von Bedeutung ist (GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003; BAE, 2004; FISHMAN, 2004).

Im Jahre 1992 wurde der erste Zweizeiler eingeführt, 2001 kam der 16-Zeiler auf den Markt und somit verdoppelt sich die Anzahl der Detektoreinleisten im Schnitt alle 2,5 Jahre (SCHALLER und FLOHR, 2004). Derzeit sind die ersten Geräte mit 64 Detektorleisten im Einsatz.

Ein weiterer Faktor, der in der Vergangenheit dazu beitrug, die Untersuchungszeiten stetig zu verkürzen, war die ständige Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit der Röntgenröhre. Während eine Röntgenröhre eines Computertomographen 1972 noch 300 s für eine Umdrehung in der Gantry benötigte, konnte die Umlaufzeit bis zum Jahre 2002 auf 0,42 s pro Rotation reduziert werden. Die pro Umdrehung entstehende Datenmenge stieg dabei im gleichen Zeitraum von 58 kb auf 50 MB und die Schichtdicke konnte von 13 mm auf 0,75 - 1,5 mm gesenkt werden (SCHALLER und FLOHR, 2004).

2.2.1.2 *Röntgenröhre*

Computertomographen besitzen Drehanodenröhren mit hoher Dosisleistung und arbeiten mit einer Röhrenspannung zwischen 110-150 kV (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SIEMENS, 1995).

Kollimationsblenden grenzen den Röntgenstrahl ein und nehmen dadurch Einfluß auf die Schichtdicke (HOFER, 2003).

2.2.1.3 *Detektoren*

Detektoren sind Messelemente, die die auftreffende Röntgenstrahlung in elektrische Signale umwandeln. Es handelt sich dabei um mit Edelgas gefüllte Ionisationskammern (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994). Schlitzförmige, vor der Detektoreinleiste angebrachte, bewegliche Kollimatorblenden lassen eine variabel einstellbare Schichtdicke zu (HOFER, 2003). Auf einer einzelnen Detektoreinleiste eines CT der dritten Generation sind

etwa 200-1000 einzelne Detektoren aufgereiht (ASSHEUER und SAGER, 1997). Bei einem 16-Zeiler stehen 24 Detektorenreihen der Röntgenröhre gegenüber. Die einzelnen Detektorzeilen können dabei unterschiedliche Breite aufweisen. Das am weitesten verbreitete adaptive Detektordesign erlaubt unterschiedliche Kombinationen aus Schichtanzahl und Schichtdicke durch eine vom Zentrum zur Peripherie hin zunehmende Detektorbreite. Abhängig von der klinischen Fragestellung kann der Untersucher über die Zahl und Größe der angesteuerten Detektoren die mögliche Auflösung und das Untersuchungsvolumen bestimmen (HOFER, 2003; SCHALLER und FLOHR, 2004).

2.2.1.4 Patiententisch

Der in der Höhe verstellbare Tisch dient der Lagerung des Patienten während der Untersuchung. Ein Lichtvisier ermöglicht die genaue Positionierung des Patienten auf dem Tisch und erlaubt die präzise Einstellung der Schichtposition. Der Tischvorschub während der Untersuchung wird automatisch gesteuert. Bei Einzel- und Serienschichtuntersuchungen erfolgt die Längsverschiebung des Tisches schubweise während bei Untersuchungen mit der Spiral-CT-Technologie oder bei der Erstellung eines Topogramms der Tischvorschub kontinuierlich erfolgt (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SIEMENS, 1995; HOFER, 2003).

Das Verhältnis zwischen Tischvorschub, Rotation und Schichtdicke wird Pitch-Faktor genannt. Dabei sind unterschiedliche Definitionen verbreitet. LAUBENBERGER und LAUBENBERGER (1994) definieren den Pitch als Anzahl der abgetasteten Schichtdicken pro Sekunde und HOFER (2003) gibt folgende Formel als die gebräuchlichste Definition an:

$$\text{Pitch} = \frac{\text{Tischvorschub} / \text{Rotation}}{\text{Schichtdicke}}$$

2.2.1.5 Computer

Ein zentraler Rechner steuert sämtliche Funktionen. Er koordiniert und kontrolliert die Röhre, die Detektoren und den Lagerungstisch. Er erfasst, verarbeitet und speichert die Messdaten. Er errechnet und rekonstruiert die Bilder, stellt sie auf einem Monitor dar und überträgt sie an einen Drucker oder an das digitale Archiv (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SIEMENS, 1995).

2.2.1.6 Bedienpult und Monitor

Am Bedienpult befinden sich Tastatur und Funktionstasten zur Steuerung des Computertomographen. Es werden Patientendaten und Untersuchungseinstellungen eingegeben. Auf einem Monitor werden die CT-Bilder dargestellt und können weiter bearbeitet und ausgewertet werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; Siemens, 1995).

2.2.2 Prinzipien der Bildentstehung

2.2.2.1 Bildrekonstruktion

Während der Rotation der Röntgenröhre um den Patienten wird in den Detektoren die Schwächung der Röntgenstrahlung im Messfeld in einer Vielzahl von einzelnen Projektionen

gemessen. Aus diesem Datensatz wird mittels aufwendiger Rechenverfahren nach komplexen Bildrekonstruktions-Algorithmien (Faltungskern) die Verteilung der Dichtewerte innerhalb der durchstrahlten Schicht ermittelt und als Graustufenbild dargestellt. Die Breite des Röntgenstrahls sowie die Anordnung und Kollimation der Detektoren bestimmen die Schichtdicke (HOFER, 2003).

Die durchstrahlte Körperscheibe wird gitterförmig in eine Matrix aus vielen kleinen Einzelquadraten unterteilt. Diese einzelnen kleinen Bildelemente werden Pixel (picture element) genannt. Werden die zweidimensionalen Einzelquadrate mit der Schichtdicke multipliziert entstehen kleine dreidimensionale Volumenelemente, die sogenannten Voxel (volume element). Ein einzelner Bildpunkt entspricht somit einem Voxel aus der untersuchten Körperschicht (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; ASSHEUER und SAGER, 1997; HOFER, 2003; THRALL, 2002).

2.2.2.2 Bildauflösung

Das Auflösungsvermögen unterteilt sich in Ortsauflösung und Dichteauflösung.

Die Ortsauflösung nimmt mit sinkender Voxelgröße zu. Die Größe eines Voxels wird durch die Pixelgröße und die Schichtdicke bestimmt. Die Pixelgröße hängt von der Größe des untersuchten Objektes und der Matrix ab. Bei einer Matrix von 512x512 ist ein Pixel zwischen 0,6 mm und 1 mm groß. Matrixgrößen von 256x256, 512x512 oder 1024x1024 sind gebräuchlich (GALANSKI und PROKOP, 1998). Gängige Schichtdicken liegen je nach Fragestellung und untersuchtem Organ zwischen 1 mm und 12 mm (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994). Für bestimmte Fragestellungen kommen sogar Schichtdicken im Submillimeterbereich von bis zu 0,5 mm zur Anwendung (HOFER, 2003).

Die Dichteauflösung (Kontrastauflösung) hängt von der Zahl der gemessenen Strahlenquanten innerhalb eines Voxels ab. Somit sinkt die Dichteauflösung mit steigender Ortsauflösung. Dieser Nachteil kann durch eine Dosiserhöhung (mAs) kompensiert werden (HOFER, 2003).

2.2.2.3 Hounsfield-Einheit

Der mittlere Dichtewert eines einzelnen Voxels wird in Hounsfield-Einheiten (HE) angegeben. Er lässt sich aus dem Absorptionswert respektive dem Schwächungskoeffizienten μ eines Voxels des untersuchten Gewebes nach folgender Formel berechnen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; GALANSKI und PROKOP, 1998):

$$HE = \frac{\mu_{\text{Gewebe}} - \mu_{\text{Wasser}}}{\mu_{\text{Wasser}}} * 1000$$

Die Dichte von Wasser dient in dieser willkürlichen Skala als Referenzwert und besitzt den Wert null HE. Luft liegt mit -1000 HE am unteren Ende und Knochenkompakta liegt mit bis +3000 HE am oberen Ende der 4096 HE umfassenden Skala (GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003).

Tabelle 1 :
Beispiele für Dichtewerte verschiedener Körpergewebe in Hounsfield-Einheiten (HE)
nach BERRY (2002)

Gewebe	Dichtewert in HE
kortikaler Knochen	bis 3000
weiße Substanz	30
graue Substanz	35
Liquor cerebrospinalis	6-10
akute Blutung	52
Thrombus	50-80
Plasma	25
Wasser	0
Luft	-1000

2.2.2.4 Fenstertechnik

Auf einem Monitor können maximal 256 Graustufen dargestellt werden und der Mensch kann je nach Betrachtungsbedingungen nur etwa 40-100 Graustufen unterscheiden (GALANSKI und PROKOP, 1998). Deshalb werden nicht die ca. 4000 Dichtewerte als 4000 Grautöne auf dem CT-Bild dargestellt, sondern es werden mithilfe der Fenstertechnik etwa 20 Graustufen auf einen kleinen Ausschnitt (Fensterbreite) der gesamten Dichteskala um einen mittleren Dichtewert (Fensterlage oder Fensterzentrum) verteilt. Strukturen mit einer Dichte im Bereich des Fensterzentrums werden in einem mittleren Grauton dargestellt, Strukturen am oberen bzw. unteren Rand der Fensterbreite sind sehr hell respektive dunkelgrau. Alle Strukturen einer Dichte, die unter- oder oberhalb des Fensters liegt, werden schwarz oder weiß dargestellt (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; ASSHEUER und SAGER, 1997; BERRY, 2002).

Ein breites Fenster beinhaltet viele Dichteeinheiten pro Grauton und erzeugt dadurch ein homogenes, kontrastarmes Bild bei dem nur große Dichteunterschiede zur Darstellung gelangen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994). Ein enges Fenster verstärkt die Kontrastierung, da sich die Grautöne auf einen kleinen Dichtebereich verteilen (GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003).

Die Fensterlage und Fensterbreite werden in der Praxis so gewählt, dass die Dichtewerte des untersuchten Organs mit seinen pathologischen Strukturen durch Graustufen dargestellt werden können. Die mittlere Dichte des untersuchten Organs entspricht dabei in etwa dem Fensterzentrum. Gehirn und Weichteile erfordern eine geringe, Knochen eine große Fensterbreite. Organe und ihre pathologischen Veränderungen können je nach Fragestellung auch in zwei oder mehreren Fenstern parallel dargestellt werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; ASSHEUER und SAGER, 1997).

Tabelle 2 :
Beispiele für verschiedene Fensterwerte nach HOFER (2003)

Gewebe	Fensterzentrum im HE	Fensterbreite HE
Knochen	250-700	1500-3000
Weichteile	ca. 50	ca. 350
Gehirn	ca. 35	80-300
Lunge	-200	2000

2.2.2.5 *Dreidimensionale Rekonstruktionsverfahren*

Mit modernen Computertomographen können sehr schnell räumlich und zeitlich kontinuierlich zusammenhängende Daten gewonnen werden. Diese Volumendatensätze können später mit verschiedenen dreidimensionalen Rekonstruktionsprogrammen bearbeitet werden und die Diagnostik dadurch wesentlich verbessern (HOFER, 2003).

2.2.2.5.1 *Oberflächendarstellung*

Bei diesem Verfahren werden alle Hounsfield-Dichtewerte oberhalb eines definierten Schwellenwertes isoliert dargestellt. So können die Oberflächen einzelner Organe, insbesondere knöcherner Strukturen als dreidimensionales Gebilde aus multiplen Blickwinkeln betrachtet werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; GLANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003).

2.2.2.5.2 *Multiplanare Rekonstruktion (MPR)*

Aus dem Volumendatensatz mehrerer hintereinanderliegender Transversalschnitte können sekundäre Schichten in allen beliebigen Ebenen (multiplanar) rekonstruiert werden. So ist die zusätzliche Darstellung sagittaler, koronarer, schräger und doppelschräger Rekonstruktionsebenen möglich (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SIEMENS, 1995; GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003).

Der für die Schichtorientierung in der Tiermedizin gängige Begriff „dorsal“ entspricht dem in der Humanmedizin üblichen „koronar“. Dieser Terminus folgt der Übereinkunft des AMERICAN COLLEGE OF VETERINARY RADIOLOGY, 1996.

2.2.2.5.3 *Maximale Intensitätsprojektion (MIP)*

Dieses mathematische Verfahren wird überwiegend zur Darstellung KM-angereicherter Blutgefäße verwendet. Voxel einer bestimmten Dichte werden aus dem Datensatz extrahiert und auf eine zweidimensionale Ebene hinter dem Datensatz projiziert. Diese Projektionsbilder werden für viele verschiedene Blickwinkel berechnet und anschließend in schneller Folge dargestellt, wodurch eine dreidimensionale Darstellung realisiert wird (SIEMENS, 1995; GALANSKI und PROKOP, 1998; HOFER, 2003).

2.2.2.6 *Terminologie der Dichtewerte*

Der Dichtewert respektive der Grauton einer Gewebestruktur kann in Relation zur Dichte eines anderen Referenzgewebes angegeben werden. Das bedeutet eine Struktur ist beispielsweise isodens zu Wasser, wenn sie den gleichen Grauwert wie Wasser innerhalb eines Bildes besitzt. Ebenso sind die Begriffe hyperdens und hypodens gebräuchlich für

Gewebestrukturen die sich heller bzw. dunkler als das Bezugsgewebe darstellen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994).

2.2.2.7 Bildarchiv

Eine begrenzte Anzahl von Bildern wird vom CT zwischengespeichert. Die digitale Langzeitarchivierung kann auf Festplatten externer Rechner, auf CDs, DVDs, optischen Platten oder Bändern erfolgen. Die digitale Archivierung ermöglicht einen schnellen Zugriff, ist platzsparend und erlaubt eine spätere, erneute digitale Bildbearbeitung (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; DOLL, persönliche Mitteilung). Die Monitorbilder können auf transparenten Folien oder Papier ausgedruckt und dann archiviert werden. Dabei können auf einem einzelnen Film durch Teilung des Formates mehrere Bilder dargestellt werden. Eine spätere Bearbeitung der ausgedruckten Bilder ist aber nicht mehr möglich (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994).

2.2.3 Artefakte

Strukturen auf dem CT-Bild, die nicht aus dem tomographierten Querschnitt des untersuchten Patienten stammen, werden Artefakte genannt (SIEMENS, 1995).

2.2.3.1 Patientenbedingte Artefakte

Eine Voraussetzung zur Untersuchung eines Tieres ist seine absolute Ruhigstellung. Dies wird in der Regel durch eine tiefe Sedation oder eine Vollnarkose erreicht (ASSHEUER und SAGER, 1997).

Spontanbewegungen des Tieres durch ungenügende Narkosetiefe, atmungsbedingte Thoraxexkursionen, Herzaktion, Gefäßpulsation oder Darmperistaltik führen zu Bewegungsartefakten (HOFER, 2003). Diese zeigen sich im Bild als streifenförmige, kombinierte Dichteerhöhungen und Dichteminderungen.

Diese Artefakte sollten vermieden werden, wozu je nach Fragestellung und Topographie unter anderem folgende Möglichkeiten in Betracht kommen: geeignete Lagerungs- und Fixationstechniken, kurze Untersuchungszeiten, ausreichende Narkosetiefe, Untersuchung während eines durch eine Inhalationsnarkose vorübergehend erreichbaren Atemstillstandes, EKG-Triggerung und die Gabe von Spasmolytika (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994).

2.2.3.2 Systemabhängige Artefakte

2.2.3.2.1 Linienartefakte

Einzelne defekte Detektoren führen zu artifiziellen Linienstrukturen im CT-Bild (SIEMENS, 1995).

2.2.3.2.2 Ringartefakte

Abweichungen einzelner Detektoren vom ursprünglichen Kalibrierzustand führen zu Ring- oder Teilringartefakten. Treten diese Artefakte in der Bildperipherie auf, sind sie als solche einfach zu identifizieren. In der Bildmitte können sie jedoch einen verwischten Fleck verursachen, der leicht zu Fehldiagnosen führen kann (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SIEMENS, 1995).

2.2.3.3 *Physikalisch bedingte Artefakte*

2.2.3.3.1 *Partial-Volumen-Effekt (Teilvolumenartefakte)*

Wenn sich innerhalb eines Voxels Strukturen unterschiedlicher Dichte befinden, dann wird ein Mittelwert aller tatsächlich vorhandenen Dichtewerte auf dem CT-Bild dargestellt. Dies ist der Fall an Gewebeübergängen und bei Objekten, die kleiner als die Schichtdicke sind (GALANSKI und PROKOP, 1998). Dünnere Tomogramme tragen dazu bei, diese Artefakte zu reduzieren (SIEMENS, 1995).

Teilvolumenartefakte werden nicht von allen Autoren zu den Artefakten gerechnet. LAUBENBERGER und LAUBENBERGER (1994) charakterisieren den Partial-Volumen-Effekt als eine methodenbedingte Ungenauigkeit der Darstellung.

2.2.3.3.2 *Strahlaufhärtingsartefakte*

Strahlung mit wenig Energie wird im Gewebe in größerem Umfang absorbiert als energiereiche Strahlung. Somit verändert sich die Zusammensetzung des Strahlenspektrums von Röntgenquanten zugunsten der härteren Strahlung auf ihrem Weg durch den Körper zum Detektor. An Übergängen von sehr dichten, knöchernen Strukturen zu Weichteilen zeigen sich Bereiche herabgesetzter Dichte und hypodense Streifen auf dem Bild. Diese Strahlaufhärtingsartefakte oder Dichtesprungartefakte können auch mit zusätzlichen Korrekturprogrammen nur bedingt unterdrückt werden. Metallimplantate im Körper führen zur extremen Ausprägung solcher schwarzer oder weißer, streifen- oder sternförmiger Artefakte und werden Metall- oder Hochkontrastartefakte genannt. Bei Weichteilen und Strukturen ähnlicher Dichte ist dieser Effekt sehr gering und kann gut kompensiert werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; SIEMENS, 1995; HOFER, 2003).

2.2.4 **Kontrastmittel**

Eine Kontrastmittelapplikation für computertomographische Untersuchungen ist weit verbreitet. Wie im konventionellen Röntgen bietet sich eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten. Der Vergleich von Nativbildern mit Bildern, die nach Kontrastmittelapplikation erzeugt wurden, liefert oft wertvolle Zusatzinformationen. Positiv- und Negativkontrastuntersuchungen sind möglich. Nahezu alle Kontrastmitteluntersuchungen, die in der konventionellen Röntgendiagnostik möglich sind wie beispielsweise die Angiographie, Myelographie, Cystographie, Fistulographie, Arthrographie, retrograde und normograde Urographie oder eine Magen-Darm-Passage sind grundsätzlich auch in der Computertomographie möglich. Zusätzlich wird häufig nichtionisches, jodhaltiges, nierengängiges Kontrastmittel intravenös appliziert um Tumoren oder Läsionen besser darzustellen. Dabei liefern Art und Umfang, der zeitliche Verlauf oder das Fehlen einer Kontrastmittelanreicherung wertvolle diagnostische Informationen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; HOFER, 2003; BAE, 2004; PASSARIELLO et al., 2004).

2.2.5 **Praktische Durchführung einer Computertomographischen Untersuchung**

Das Tier wird auf dem Patientenlagerungstisch platziert. Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten ist in der Tiermedizin in der Regel eine Vollnarkose oder tiefe Sedation nötig (STICKLE und HATHCOCK, 1993; KASER-HOTZ et al., 1994; ASSHEUER und SAGER, 1997).

Die anatomisch korrekte Lagerung ist für die Bildqualität entscheidend. Dabei ist auf eine genaue Positionierung entlang der Längsachse und eine Zentrierung im Messfeld zu achten (SCHWARZE, 1998).

Nur die zu untersuchenden Körperteile sollten im Messfeld liegen. Andere Dinge wie beispielsweise Inhalationsschlauch oder EKG-Kabel sollten außerhalb verbleiben, um Artefakte zu vermeiden (STICKLE und HATHCOCK, 1993).

Die Einstellung der zu untersuchenden Schichten erfolgt über ein Lichtvisier anhand äußerer Körpermerkmale oder in den meisten Fällen anhand eines sogenannten Topogramms (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; HOFER, 2003). Die Röntgenröhre wird im gewünschten Winkel fixiert und der Patient auf dem Tisch wird kontinuierlich durch den Strahlengang gefahren. Die Rekonstruktion der dabei kontinuierlich erfassten Messwerte ergibt ein Bild, das im Aussehen auf dem Monitor einer digitalen Röntgenübersichtsaufnahme entspricht (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994). Dieses Bild wird Topogramm, Planungstopogramm oder Localizer genannt (HOFER, 2003). Die gewünschten Tomogramme können darauf exakt eingezeichnet werden. Dabei werden am Bedienpult unter anderem die Schichtdicke, die Größe des Bildfeldes und der Schichtneigungswinkel bestimmt (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994). Diese Parameter hängen von der Art und Größe des untersuchten Organs sowie von der Fragestellung ab.

Für Untersuchungen an Karpalgelenken bei Pferden wählten KASER-HOTZ (1994) Schichtdicken von 5 mm. SCHWARZE (1998) untersuchte Tarsalgelenke von Rindern mit Schichtdicken von 2 mm. Für Untersuchungen im Gelenkbereich bei Kleintieren empfehlen STICKLE und HATHCOCK (1993) Schichtdicken von 1,5 mm. Grundsätzlich verbessert sich die Ortsauflösung mit einer Reduktion der Schichtdicke.

Nach Anfertigung des Topogramms und Einstellung der Untersuchungsparameter wird der Tisch mit dem Patienten an die Stelle gefahren, wo das erste Tomogramm aufgenommen werden soll.

2.2.6 Anwendungen der Computertomographie

In der Humanmedizin wurde die Computertomographie in ihrer Anfangszeit vor allem zur Untersuchung des Gehirns und des Schädels eingesetzt. Inzwischen hat sich ihr Anwendungsbereich auf nahezu alle Organsysteme ausgeweitet. Neben Wirbelsäulen-, Thorax- und Abdomenuntersuchungen gehören inzwischen nahezu alle Bereiche der Orthopädie zum Untersuchungsspektrum der modernen Computertomographie.

Dieser Trend kann auch zunehmend in der Tiermedizin beobachtet werden. Auch hier gehören Untersuchungen von Gehirn, Nasenhöhlen und Nasennebenhöhlen, Wirbelsäule, Rückenmark, Thorax, Abdomen oder Beckenhöhle zum Alltag. In der Orthopädie erlaubt die Computertomographie im Vergleich zur Röntgendiagnostik eine verbesserte Beurteilung komplexer Gelenke wie des Ellbogengelenkes oder des Tarsalgelenkes (GIELEN et al., 2004). Hier ermöglicht die Computertomographie eine überlagerungsfreie Darstellung, beispielsweise einer Fissur im Proc. coronoideus medialis ulnae und eine Beurteilung der Kongruenz zwischen Incisura trochlearis ulnae und Trochlea humeri. Milde Formen einer Osteochondrosis dissecans oder die Ausbreitung eines Knochentumors können mittels Computertomographie gut dargestellt werden (GIELEN et al., 2004; VAN RHYSSSEN et al., 2004).

2.3 Kernspintomographie

Die Kernspintomographie ist wie die Computertomographie in der Tiermedizin ein noch junges Verfahren. Die Computertomographie und die Röntgendiagnostik sind eng miteinander verwandt. Die radiologischen Grundprinzipien der Bildentstehung und die daraus resultierenden dichtebedingten Kontraste sind ähnlich. Diese Ähnlichkeit ist zwischen Röntgendiagnostik und Kernspintomographie nicht gegeben. Die Kernspintomographie hat bezüglich des Prinzips, ein Schnittbild zu erzeugen, Verwandtschaft mit der Computertomographie. Beide Schnittbildverfahren besitzen aber völlig unterschiedliche physikalische Grundlagen und somit auch unterschiedliche Bildkontraste. Beispielsweise stellt sich kompakte Knochensubstanz im Röntgen und CT fast weiß, im MR-Bild jedoch nahezu schwarz dar. Um Methodik der Computertomographie und Kernspintomographie klar voneinander abzugrenzen, sollen an dieser Stelle auch die Grundlagen der Kernspintomographie erläutert werden.

2.3.1 Physikalische Grundlagen der Kernspintomographie

2.3.1.1 Atomaufbau

Bereits die Philosophen der griechischen Antike Leukipp und Demokrit verwendeten den Begriff Atom (griechisch: atomos = unteilbar) mit der Vorstellung, dass alles in der Natur aus kleinen, nicht weiter teilbaren Atomen zusammengesetzt sei.

Nach Dalton ist alle Materie aus unteilbaren Einzelteilen, den Atomen, zusammengesetzt, die sich ihrerseits weiter zu Molekülen zusammenlagern können. Dalton postulierte kugelige, solide und homogen mit Materie angefüllte Atome.

Weitere Atommodelle wurden in der Vergangenheit entwickelt, die die physikalischen Eigenschaften von Atomen immer besser zu erklären vermochten. Nach Rutherford besteht ein Atom aus einem positiv geladenen Atomkern und einer negativ geladenen Atomhülle. Im positiv geladenen Kern, in dem die Masse des Atoms lokalisiert ist, befinden sich einzelne Kernbausteine, die Protonen und die Neutronen. Die Hülle besteht aus Elektronen, die den Kern planetenartig umkreisen. Bohr präziserte die Beschreibungen für die Atomhülle sowie die Elektronenumlaufbahnen und postulierte verschiedene diskrete Schalen für die Elektronen. Schrödinger führte den Begriff der Orbitale ein und beschrieb sie als Räume, in denen sich die Hüllelektronen an wahrscheinlichsten aufhalten. Er zeigte experimentell die Welleneigenschaften von Elektronen.

Einzelne Atomarten unterscheiden sich in ihrer Protonenzahl im Kern, der sogenannten Kernladungszahl. Die Protonen und Neutronen werden zusammen Nukleonen genannt, ihre Anzahl wird durch die Massenzahl charakterisiert.

Das am einfachsten aufgebaute Atom ist das Wasserstoffatom. Es besteht aus einem einzigen Proton im Kern, um das ein einzelnes Elektron der Hülle kreist.

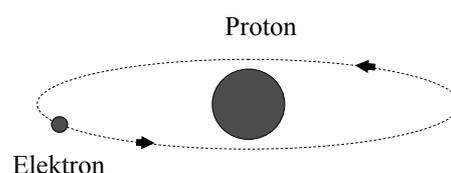


Abbildung 1: Proton und Elektron

2.3.1.2 Spin und Präzession

Alle Elementarteilchen besitzen einen Eigendrehimpuls, den sogenannten Kernspin.

Besitzt ein Atom eine gerade Zahl an Nukleonen, hebt sich der Spin der einzelnen Nukleonen gegenseitig auf. Eine ungerade Nukleonenzahl führt zu einem Netto-Spin des Atomkerns und nur solche Atome sind für die Kernspintomographie geeignet. Wasserstoff, Stickstoff, Natrium und Phosphor erfüllen diese Eigenschaft. Die derzeit klinisch angewendete Kernspintomographie nutzt nur den Wasserstoff aufgrund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und seiner Häufigkeit im Körper.

Die gesamte Masse eines Atoms ist im Kern lokalisiert. Ein Atomkern mit einem Netto-Spin besitzt aufgrund seiner rotierenden Masse einen Drehimpuls. Neben der Masse dreht sich auch die Ladung im Kern. Eine sich durch den Spin bewegend elektrische Ladung besitzt einen magnetischen Dipol und verhält sich wie ein kleiner Stabmagnet (SCHILD, 1990; WEISHAUPT et al., 2003; SIEMENS, 2003).

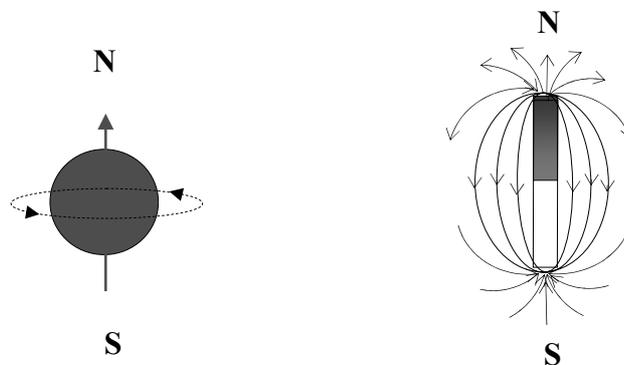


Abbildung 2: Kernspin und magnetischer Dipol

Wird ein menschlicher oder tierischer Körper in das starke Magnetfeld eines Kernspintomographen gebracht, richtet sich der magnetische Dipol seiner Protonen parallel entlang der Feldlinien des externen Magnetfeldes aus (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994).

Durch den Einfluss des externen Magnetfeldes führt ein Proton neben dem Spin eine weitere Bewegung aus, die mit einem auf einer Kreisbahn torkelnden Kreisel vergleichbar ist und Präzession genannt wird (BRIX, 2002).

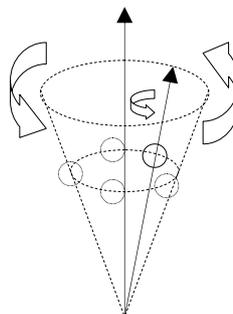


Abbildung 3: Spin und Präzession

Die Geschwindigkeit der Präzession hängt vom Proton selbst und von der Stärke des Magnetfeldes ab. Die Präzessionsfrequenz wird auch Larmorfrequenz genannt und kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\omega_0 = \gamma * B_0$$

ω_0 : Larmorfrequenz in Megahertz (MHz)

γ : gyromagnetisches Verhältnis, eine für jedes Element typische Konstante

($\gamma_{\text{Proton}} = 42,58 \text{ MHz/T}$)

B_0 : Stärke des externen Magnetfeldes in Tesla (T)

In einem Kernspintomographen mit einer Feldstärke von einem Tesla beträgt die Larmorfrequenz von Protonen somit 42,58 MHz (WEISHAUPT et al., 2003). Im Gegensatz dazu haben Protonen im sehr schwachen Magnetfeld der Erde nach WEISHAUPT et al. (2003) nur eine Präzessionsfrequenz von etwa 1 kHz. SIEMENS (2003) gibt mit der Präzessionsfrequenz für Wasserstoffprotonen von 42 MHz bei einem Tesla einen sehr ähnlichen Wert an, beziffert jedoch die Präzessionsfrequenz des Protonenspins im Erdmagnetfeld auf ca. 2 kHz.

Die Stärke eines Magnetfeldes wird nach dem Forscher und Erfinder Nicola Tesla (1856-1943) in der Einheit Tesla ($T = \text{Vs/m}^2$) angegeben. Die in der Kernspintomographie üblichen Feldstärken liegen zwischen 0,2 und 3 T, das Magnetfeld der Erde besitzt ortsabhängig etwa 20 bis 30 μT .

2.3.1.3 Longitudinalmagnetisierung

Die magnetischen Dipole der Protonen richten sich in einem externen Magnetfeld B_0 entlang dessen Feldlinien aus. Dabei können sie mit der Nord-Süd-Polarisierung ihres Dipols eine parallele oder antiparallele Ausrichtung zu den Feldlinien des externen Magnetfeldes annehmen. Die parallele Orientierung ist energetisch günstiger und wird bevorzugt eingenommen. Auf 1.000.000 antiparallel zu den Feldlinien ausgerichtete Protonen kommen etwa 1.000.007 parallel ausgerichtete Protonen. Somit sind in der Summe mehr Protonen parallel als antiparallel ausgerichtet. Die Magnetfelder dieser überzähligen, parallel orientierten Protonen addieren sich und ergeben in der Summe ein zusätzliches, längs zum externen Feld ausgerichtetes Magnetfeld, eine sogenannte longitudinale Magnetisierung (SCHILD, 1990; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; NITZ, 2000; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.1.4 HF-Impuls, Resonanz und Transversalmagnetisierung

Eine elektromagnetische Welle, deren Frequenz mit der Larmorfrequenz übereinstimmt, kann Energie auf die im Magnetfeld präzedierenden Protonen übertragen. Diese Interaktion wird als Kernspin-Resonanz bezeichnet. Sie ist eine physikalische Voraussetzung für die Kernspintomographie und wurde erstmals 1946 von Bloch und Purcell beschrieben (ASSHEUER und SAGER, 1997).

Ein Radiosender erzeugt solche elektromagnetische Wellen definierter Frequenz und Wellenlänge, die als Hochfrequenzimpuls von einer Antennenspule in das Magnetfeld des Kernspintomographen und den darin befindlichen Patienten gesendet werden.

Der eingestrahlte HF-Impuls bewirkt über Resonanzphänomene einen Energietransfer auf die Protonen, so dass einige von ihnen ein höheres Energieniveau einnehmen und ihre Ausrichtung im externen Magnetfeld von der parallelen zur antiparallelen Ausrichtung ändern

können. So nimmt die Anzahl der antiparallel ausgerichteten Protonen zu. Die Zahl der parallel ausgerichteten nimmt entsprechend ab. Die longitudinale Magnetisierung wird geringer (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 1997; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Weiterhin werden die rein zufällig orientierten Präzessionsbewegungen der einzelnen Protonen durch den HF-Impuls synchronisiert, so dass alle Protonen in den gleichen Takt geraten und somit in Phase präzedieren. Durch diese Phasenkohärenz der Präzessionsbewegungen entsteht in der Summe eine transversale Magnetisierung (SCHILD, 1990).

Diese beiden parallel verlaufenden Vorgänge, nämlich die Abnahme der Längsmagnetisierung und die Neuentstehung einer Quermagnetisierung, verursachen eine Richtungsänderung der gesamten Magnetisierung aller Protonen. Diese ist von der Art des HF-Impulses abhängig. Ein 90° -Impuls beispielsweise kippt die Gesamtmagnetisierung um 90° während ein 180° -Impuls zu einer Richtungsänderung um 180° führt. Verantwortlich dafür ist eine Spininversion der Protonen zugunsten der antiparallelen Ausrichtung im externen Magnetfeld. Der Grad der Kippung der Magnetisierung durch den HF-Impuls wird Pulswinkel genannt (SCHILD, 1990; BRIX, 2002; WEISHAUPT et al., 2003).

Diese elektromagnetische Anregung der Protonen mit einer Ablenkung der Spins und einer Veränderung der Ausrichtung ihres Magnetfeldes ist eine Grundvoraussetzung, um später ein Signal zu messen. Ein statisches Magnetfeld parallel zum externen Feld des Tomographen kann nicht gemessen werden. Nur ein sich bewegendes Magnetfeld induziert ein Signal in einer Antenne. Das Magnetfeld der angeregten Protonen schwingt nach dem Abklingen des HF-Impulses zurück in seine Ausgangslage. Während dieses als Relaxation bezeichneten Vorganges kann mit geeigneten Antennen, sogenannten Spulen, ein Signal gemessen werden. Daraus kann nach Verstärkung und rechnerischer Aufbereitung mittels aufwendiger Computerverfahren ein MR-Bild erzeugt werden.

2.3.1.5 Longitudinal- und Transversalrelaxation

Durch die Anregung des HF-Impulses präzedieren die Protonen in der Transversalebene. Nach dem Abklingen des HF-Impulses beginnt das System in den Ausgangszustand zurückzukehren. Dabei nimmt die neu entstandene Transversalmagnetisierung ab und die Longitudinalmagnetisierung baut sich wieder auf. Dafür sind zwei voneinander unabhängige, aber gleichzeitig ablaufende Vorgänge verantwortlich. Zum einen die Spin-Gitter-Wechselwirkung, die auch Longitudinal- oder T1-Relaxation genannt wird und zum anderen die Spin-Spin-Wechselwirkung, die auch als Transversal- oder T2-Relaxation bezeichnet wird (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 1997; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BRIX, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003)

2.3.1.6 T1, Longitudinalrelaxation, Spin-Gitter-Wechselwirkung

Der HF-Impuls überträgt Energie auf die Protonen, die dadurch vermehrt in die energetisch ungünstigere, zum externen Feld antiparallel ausgerichtete Position gelangen. Diese Energie geben sie bei der T1-Relaxation durch die Spin-Gitter-Wechselwirkungen an ihre Umgebung ab und nehmen wieder die energetisch günstigere, parallele Ausrichtung an. Dabei baut sich die Longitudinalmagnetisierung wieder auf. Die Zeitkonstante dieses Vorganges wird T1 oder longitudinale Relaxationskonstante genannt. Sie ist von der Magnetfeldstärke, von der Temperatur, von der Anordnung und Bewegung der Moleküle und somit von der Art der untersuchten Körpergewebes abhängig. T1 ist die spezifische Zeitdauer, die ein Gewebe benötigt, bis seine Längsmagnetisierung nach einem HF-Impuls wieder 63% des

Ursprungswertes erreicht hat (SCHILD, 1990; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BRIX, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

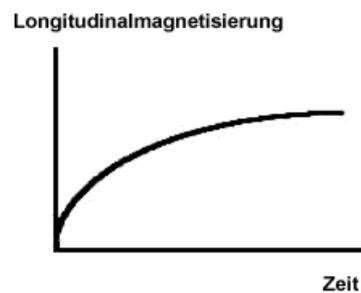


Abbildung: 4 T1-Relaxationskurve

2.3.1.7 T2, Transversalrelaxation, Spin-Spin-Wechselwirkung

Der HF-Impuls synchronisiert die Präzessionsbewegungen der einzelnen Protonen, so dass alle Protonen in der Transversalebene in Phase präzedieren. Diese Phasenkohärenz erzeugt eine Transversalmagnetisierung, deren Summenvektor durch eine mit der Zeit einsetzende Dephasierung wieder abnimmt. Die lokalen Magnetfelder benachbarter Spins beeinflussen sich und damit ihre Präzessionsgeschwindigkeiten gegenseitig, wodurch die Spins der einzelnen Protonen außer Phase geraten. Die Spins tauschen bei diesen sogenannten Spin-Spin-Wechselwirkungen untereinander Energie aus. Die Zeitkonstante dieses Vorganges wird T2 oder transversale Relaxationskonstante genannt. Sie ist von der Temperatur, der Molekularstruktur der Materie und somit vom untersuchten Gewebe abhängig, wird von der Magnetfeldstärke aber nicht beeinflusst. T2 entspricht der gewebespezifischen Zeitdauer in der die Transversalmagnetisierung auf 37% ihres Ausgangswertes abfällt (SCHILD, 1990; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BRIX, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

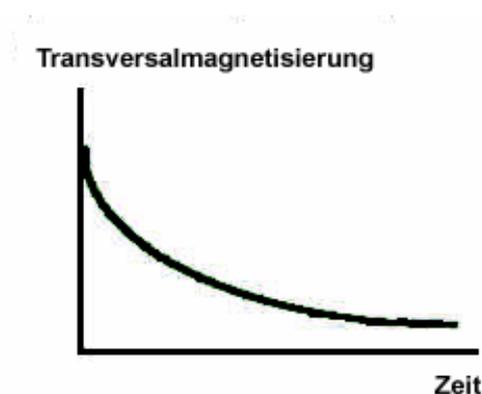


Abbildung 5: T2-Relaxationskurve

Tabelle 3: T1- und T2-Werte (in ms) für verschiedene menschliche Gewebe nach WEISSHAUPT et al. (2003)

Gewebe	T1 (0,5 T)	T1 (1,5 T)	T2
Liquor	1800	2400	160
Weißer Hirnschicht	500	780	90
Graue Hirnschicht	650	920	100
Fettgewebe	210	260	80

2.3.2 Technischer Aufbau eines Magnetresonanztomographen

Ein Magnetresonanztomograph besteht aus vielen einzelnen Komponenten. Der Untersucher kann an einer Bedienungskonsole, die gewöhnlich aus Monitor, Tastatur und Maus besteht, die Patientendaten eingeben, gewünschte Untersuchungsprogramme auswählen sowie die erforderlichen Untersuchungsparameter bestimmen. Ein zentrales Computersystem steuert den Magneten, die Patientenliege, das Hochfrequenzsystem, die Gradienten-, Sende- und Empfangsspulen mit Verstärkereinheiten sowie den Rekonstruktionsrechner, der aus den detektierten Kernspinresonanzsignalen MR-Bilder berechnet. Gegebenenfalls sind zusätzliche Geräte wie Computer mit dreidimensionalen Rekonstruktionsprogrammen, Drucker oder ein digitales Archiv angeschlossen oder integriert (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; NITZ, 2000; SIEMENS, 2003; WEISSHAUPT et al., 2003).

2.3.2.1 Magnet

Ein zentraler Magnet erzeugt das statische Hauptmagnetfeld. Dazu können verschiedene Arten von Magneten eingesetzt werden, die sich in ihrem Bau, ihrer Funktionsweise und in ihrer Feldstärke unterscheiden.

Es werden je nach Anordnung des Magneten offene und geschlossene Systeme unterschieden (SIEMENS, 2003).

Offene Kernspintomographen sind C-förmig und bieten freien Zugang zum zentralen Magnetfeld von mindestens drei Seiten. Sie kommen in der Humanmedizin bei Patienten mit Klaustrophobie zum Einsatz und ermöglichen in der Tiermedizin eine gute Überwachung des während der Untersuchung narkotisierten Tieres. Ihr vertikal verlaufendes Magnetfeld ist in Feldstärke und Homogenität limitiert und besitzt ein großes Streufeld in der Umgebung.

Geschlossene Kernspintomographen sind röhrenförmig mit wenig Platz innerhalb des Tunnels. Sie ermöglichen aufgrund ihres schmalen Durchmessers und ihres ringförmigen Magneten Felder hoher Homogenität und Feldstärke. Die Feldlinien verlaufen horizontal mit geringem Streufeld in der Umgebung (SIEMENS, 2003).

Es werden je nach Funktionsweise resistive, permanente und supraleitende Magneten unterschieden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; NITZ, 2000; BOCK, 2002; SIEMENS, 2003; WEISSHAUPT et al., 2003).

Resistive Magneten bestehen aus stromdurchflossenen Kupfer- oder Aluminiumspulen und gleichen in ihrer Funktionsweise normalen Elektromagneten (WEISSHAUPT et al., 2003). Die Höhe des erzeugten Magnetfeldes hängt von der Höhe der angelegten Spannung ab (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994). Sie benötigen eine sehr hohe und gleichmäßige Stromzufuhr und produzieren aufgrund ihres elektrischen Widerstandes viel Wärme, die über ein Kühlsystem abgeführt werden muss. Gebräuchlich sind Wasserkühlsysteme mit Wärmetauscher hoher Kapazität. Solche Magneten können beliebig

an- und abgeschaltet werden, wodurch ihre hohen Strom- und Kühlkosten auf die Betriebszeiten beschränkt bleiben. Die maximale Feldstärke liegt bei etwa 0,3 T (NITZ, 2000; BOCK, 2002).

Permanentmagneten sind überwiegend als offene Systeme konzipiert und bestehen aus C-förmigen Hufeisenmagneten aus ferro-magnetischem Material mit senkrecht verlaufenden Feldlinien. Es wird keine externe Energiezufuhr benötigt, um das Hauptmagnetfeld aufzubauen, was die Unterhaltungskosten gering hält. Magneten dieser Bauweise benötigen eine äußerst konstante Umgebungstemperatur, erreichen maximale Feldstärken von 0,3 bis 0,5 T und können im Notfall nicht abgeschaltet werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; BOCK, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Supraleitende Magneten sind stromdurchflossene Spulen aus bestimmten Metalllegierungen die bei Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt ihren elektrischen Widerstand verlieren. Dabei handelt es sich um Niobium-Titan-Legierungen, die mit flüssigem Helium auf etwa 4 K, was -269°C entspricht, gekühlt werden. Das Magnetfeld ist so von einer externen Stromzufuhr unabhängig, da der fehlende Widerstand der Spule nach dem Einschalten zu einem verlustfreien, permanenten Stromfluss führt. Das Kryogen verdunstet dabei und muss regelmäßig nachgefüllt werden (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; NITZ, 2000; BOCK, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Eine geringe Temperaturerhöhung in der Spule mit Verlust der Supraleitfähigkeit führt zu Reibungswärme mit zusätzlicher Temperaturerhöhung und Verdunstung des Kühlmittels. Dieser als Quench bezeichnete Vorgang führt zu einem Verlust des Magnetfeldes. Kleinste Bewegungen der Spulen mit Reibung und Wärmeentstehung können die Ursache sein. Das Einbetten der Spulen zur Isolation in Kupfer soll die Gefahr eines Quenchs minimieren (WEISHAUPT et al., 2003). Mit dieser Technologie können Feldstärken bis 18 T erreicht werden (WEISHAUPT et al., 2003), wobei derzeit überwiegend Kernspintomographen mit supraleitenden Magneten zwischen 0,5 und 3,0 T im klinischen Einsatz sind (NITZ, 2000; SIEMENS, 2003).

2.3.2.2 Patientenliege

Die Patientenliege dient der Lagerung des Patienten während der Untersuchung. Mit diesem mobilen Tisch wird die zur Untersuchung anstehende Körperregion im Zentrum des Magnetfeldes positioniert. Er enthält Vorrichtungen zur Stabilisation und Fixation einzelner Körperteile, die während der Untersuchung nicht bewegt werden dürfen. Es stehen für diesen Zweck auch verschiedenartige Lagerungshilfen wie Kissen, Schaumstoffkeile, Sandsäcke und Spanngurte zur Verfügung. Es gibt Halterungen und Steckverbindungen für den Anschluss der Spulen, die auch im Tisch selbst eingebaut sein können (SIEMENS, 2000).

2.3.2.3 Gradientensystem

Ein Gradientensystem ist nötig, um ein empfangenes Signal einem speziellen Punkt im Körper des Patienten zuordnen zu können (BOCK, 2002).

Das statische und homogene Hauptmagnetfeld wird dazu von einem zusätzlichen Gradientenfeld überlagert. Gradientenspulen mit eigenen Verstärkern erzeugen dieses zweite Magnetfeld, das die Homogenität des Hauptmagnetfeldes modifiziert. Das Gesamtmagnetfeld wird zu einem Gradientenfeld. Die Feldstärke steigt somit entlang einer Längsachse an. Es gibt für jede der drei Raumachsen eine Gradientenspule wodurch der Gradient in jeder beliebigen Raumachse verlaufen kann. Der Feldgradient entspricht dem Summenvektor der drei Gradientenspulen und des Hauptmagnetfeldes. Der hohe Stromfluss durch die Gradientenspulen verursacht beim An- und Ausschalten das bei einer MR-Untersuchung laut

hörbare hämmernde Geräusch (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; NITZ, 2000; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.2.4 Hochfrequenzsystem

Das Hochfrequenzsystem besteht aus einem Hochfrequenzsender und einem Hochfrequenzempfänger mit den dazugehörigen Sende- und Empfangsspulen (BOCK, 2002). Das empfangene MR-Signal ist sehr schwach, weshalb es mit Verstärkern aufbereitet werden muss. Störstrahlung aus der Umgebung wird durch eine Hochfrequenzabschirmung um den gesamten Kernspintomographen abgehalten (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; BOCK, 2002; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.2.5 Sende- und Empfangsspulen

Elektromagnetische Wellen, sogenannte HF-Impulse, regen die Protonen an und die daraus im Gewebe resultierenden Signale werden mit geeigneten Antennen gemessen. Die HF-Impulse werden von einem Hochfrequenzsender erzeugt und von einer Sendespule in den Körper eingestrahlt (SCHILD, 1990). Die Frequenzen der elektromagnetischen Wellen liegen abhängig von der Magnetfeldstärke im Bereich von Kurzwellen- und Ultrakurzwellensendern (WEISHAUPT et al., 2003). Die Sendespule kann zugleich auch als Empfangsspule konzipiert sein oder es wird eine eigene Empfangsspule verwendet (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; BOCK, 2002). Diese Spulen können im Kernspintomographen integriert sein oder werden um die zu untersuchende Körperregion am Patienten angebracht. Abhängig von der Größe, dem Umfang und den anatomischen Gegebenheiten der untersuchten Region kommen unterschiedliche Spulenarten, -formen und -größen zum Einsatz. Die Wahl der Spule ist zum Erreichen der bestmöglichen Bildqualität wichtig. Die Spule sollte dabei möglichst nahe am zu untersuchenden Organ angebracht sein (WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.3 Grundlagen der Entstehung eines MR-Bildes

2.3.3.1 Bildkontrast und Bildentstehung

Drei Parameter bestimmen die Helligkeit und damit den Bildkontrast eines Gewebes: T1, T2 und die Protonendichte eines Gewebes.

Diese Parameter können mit verschiedenen Messsequenzen unterschiedlich betont werden. Wird der Bildkontrast überwiegend von der T1-Zeit bestimmt, nennt man diese Bilder T1-gewichtete Bilder (T1w). Bilder, deren Kontrast vor allem von der T2-Zeit bestimmt wird, bezeichnet man als T2-gewichtete Bilder (T2w). Wird der Einfluss von T1 und T2 minimiert, dann wird die Protonendichte eines Gewebes, das heißt die Anzahl anregbarer Spins, betont. So erzeugte Bilder werden protonendichtegewichtete Bilder genannt (PDw) (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 1997; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BERRY, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Um ein MR-Bild zu erhalten wird die untersuchte Körperschicht wiederholt mit HF-Impulsen angeregt und die resultierenden Signale des Gewebes werden gemessen.

Die Zeitdauer zwischen zwei gleichgerichteten, aufeinanderfolgenden Anregungen wird Repetitionszeit (TR) genannt. Das Intervall zwischen Anregung und Messung wird Echozeit (TE) genannt (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 1997; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BERRY, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Durch die Wahl der Repetitions- und Echozeit wird der Bildkontrast beeinflusst. Untersuchungssequenzen mit kurzer TR und kurzer TE liefern T1-gewichtete Bilder. Die Wahl einer langen TR in Verbindung mit einer langen TE führt zu T2-gewichteten Bildern. Eine lange TR bei kurzer TE unterdrückt sowohl T1- als auch T2-Effekte und erzeugt protonendichtegewichtete Bilder (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 2003; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BERRY, 2002; SIEMEN, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Tabelle 4: Einfluss der Repetitions- und Echozeit auf die Wichtung eines MR-Bildes

	TR	TE
T1-Wichtung	kurz	kurz
T2-Wichtung	lang	lang
PD-Wichtung	lang	kurz

Tabelle 5: Zeitliche Dimensionen kurzer und langer Echo- bzw. Repetitionszeiten

	kurz	lang
TR	100-600 ms	>1500 ms
TE	5-30 ms	> 60 ms

Gewebe mit einer kurzen longitudinalen Relaxationszeit erscheinen auf T1-gewichteten Bildern hell, da sie aufgrund ihrer schnellen Erholung ein starkes Signal geben.

Gewebe mit einer langen longitudinalen Relaxationszeit erscheinen auf T1-gewichteten Bildern dunkel, da sie sich langsam erholen und deshalb ein schwaches Signal geben (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 1997; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BERRY, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Gewebe mit einer kurzen transversalen Relaxationszeit verlieren rasch ihr Signal und erscheinen auf T2-gewichteten Bildern dunkel.

Gewebe mit einer langen transversalen Relaxationzeit verlieren ihr Signal langsamer und stellen sich auf T2-gewichteten Bildern hell dar (SCHILD, 1990; ASSHEUER und SAGER, 1997; NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; BERRY, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Tabelle 6: Relative Relaxationszeiten von Wasser und Fett sowie ihre Darstellung auf MR-Bildern

Gewebe	T1-Zeit	T2-Zeit	auf T1-gewichteten Bildern	auf T2-gewichteten Bildern
Wasser	lang	lang	dunkel	hell
Fett	kurz	kurz	hell	hell

2.3.3.2 Digitaler Bildaufbau

Das digitale MR-Bild einer Körperscheibe wird ebenso wie ein CT-Bild gitterförmig in eine Matrix aus vielen kleinen Einzelquadraten unterteilt. Diese kleinen Bildelemente werden

Pixel genannt. Das Raster einer Matrix ist aus Reihen und Spalten aufgebaut. Die Größe und Rasterung der Matrix sowie die Größe des Bildfeldes bestimmen die Größe eines Pixels und damit die Auflösung des Bildes. Jedem Pixel wird ein Wert zugeordnet, der einer Signalintensität entspricht. Die Stärke des Signals wird als Helligkeitsstufe eines Grautones codiert. Ein Pixel repräsentiert eine Volumeneinheit der untersuchten Körperschicht, genannt Voxel, aus der dieses Signal stammt. Die Multiplikation der Fläche eines Pixels mit der Schichtdicke ergibt das Volumen eines Voxels. Die Ortsauflösung eines MR-Bildes steigt mit sinkender Voxelgröße (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; ASSHEUER und SAGER, 1997; THRALL, 2002; BRIX, 2002; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.3.3 Terminologie der Signalwerte

Das Signal eines Voxels entspricht einem Grauton. Die unterschiedlichen Signalintensitäten verschiedener Gewebe werden durch verschiedene Helligkeitsstufen dargestellt. Zur Beschreibung der Signalgebung von Objekten im MR-Bild bedient man sich eines Vergleichsobjektes. Die Signalintensität einer Gewebestruktur kann so in Relation zum Signal eines anderen Referenzgewebes angegeben werden. Das bedeutet, eine Struktur ist beispielsweise **isointens** zur grauen Gehirnschicht, wenn sie im Bild einen Grauwert mit der gleichen Helligkeitsstufe wie graue Gehirnschicht besitzt. Ebenso sind die Begriffe **hyperintens** und **hypointens** gebräuchlich für Gewebestrukturen die sich heller bzw. dunkler als das Bezugsgewebe darstellen (BERRY, 2002).

2.3.3.4 Schichtwahl und Ortskodierung

Um ein MR-Bild zu erzeugen muss der Kernspintomograph ein gemessenes Signal einem bestimmten Punkt im Körper zuordnen können (BOCK, 2002).

Die Präzessionsfrequenz der Protonen ist proportional zur Magnetfeldstärke und eine resonanzbedingte Anregung der Protonen erfolgt nur, wenn die Anregungsfrequenz gleich der Präzessionsfrequenz ist. Dem Hauptmagnetfeld wird deshalb entlang der Magnetfeldlängsachse (z-Achse) ein Gradientenfeld, das sogenannte Schichtwahlgradientenfeld, überlagert. Dies führt zu unterschiedlichen Präzessionsfrequenzen der Protonen entlang der z-Achse. Mit HF-Anregungsimpulsen eines definierten Frequenzbereichs können selektiv die Protonen einer bestimmten Schichtposition angeregt werden. Die Schichtdicke kann dabei über die Stärke des Gradienten bestimmt werden. Steile Gradienten ermöglichen dünne Schichten, geringe Gradientenstärken erzeugen dicke Tomogramme. Der Schichtgradient legt somit die Position und die Dicke einer Schicht fest. Nun muss eine weitere Ortskodierung innerhalb der Schicht erfolgen. Dazu wird zwischen der Anregung und Messung ein zweiter Gradient geschaltet, der sogenannte Frequenzcodiergradient (x-Achse), der senkrecht zum Schichtgradienten ausgerichtet ist. Diese Veränderung des Magnetfeldes verursacht unterschiedliche Präzessionsfrequenzen innerhalb der Schicht. Die gemessenen Kernspinsignale der angeregten Protonen besitzen dadurch unterschiedliche Frequenzen und können einer Spalte in der Matrix zugeordnet werden. Um das Signal nun noch einer Zeile zuordnen zu können, ist ein zusätzlicher Codierungsschritt nötig. Dies kann durch einen dritten Gradienten (y-Achse) erreicht werden, der jeweils senkrecht zu den beiden ersten Gradienten ausgerichtet ist. Dieser sogenannte Phasenkodiergradient wird nach der Anregung nur kurzfristig dem Hauptfeld überlagert. Die angeregten Protonen einer Schicht verändern dadurch ihre Präzessionsfrequenzen entlang der y-Achse. Nach dem Abschalten präzedieren wieder alle Protonen in der Schicht mit der ursprünglichen Präzessionsfrequenz. Jedoch besitzen die Protonen entlang der y-Achse jetzt unterschiedliche Phasenlagen. Die Protonen, die während der Schaltung des Phasenkodiergradienten schneller präzedierten, also

vorübergehend beschleunigt wurden, besitzen jetzt einen Phasenvorsprung. Das Signal kann so aufgrund der unterschiedlichen Phasenlage einer einzelnen Zeile zugeordnet werden. Jedes einzelne Voxel ist somit durch die Frequenz und die Phasenlage charakterisiert.

Das Signal aus einer angeregten Schicht enthält nun die Information für seinen Entstehungsort verschlüsselt in Frequenz und Phasenlage. Das gemessene Gesamtsignal wird dazu einer sogenannten Frequenzanalyse, einer Fourier-Transformation entlang der Frequenzrichtung unterzogen. Diese mathematische Operation bestimmt alle Einzelfrequenzen, die im Gesamtsignal enthalten sind. Gemessen wird die Summe aller Spins einer Frequenz. Die Phasenlage der einzelnen Spins kann als einzelne Unbekannte aus einer Messung nicht bestimmt werden. Durch viele Wiederholungen der Messung mit verschiedenen Phasenkodiergradienten kann die unterschiedliche Phasenaufteilung mit einer zweiten Fourier-Transformation entlang der Phasenrichtung ermittelt werden. Mit dieser doppelten Fourier-Transformation wird aus der Rohdatenmatrix die Bildmatrix berechnet. Für die Bewältigung dieser komplexen mathematischen Gleichungssysteme steht dem Kernspintomographen ein Computer zur Verfügung. Die Zeitspanne zwischen den einzelnen Wiederholungen der Messung (Repetitionen) wird Repetitionszeit (TR) genannt. Die Anzahl der einzelnen Codierungen bestimmt Größe der Bildmatrix und nimmt so Einfluss auf die Bildqualität und die Untersuchungsdauer (SCHILD, 1990; SIEMENS, 2000; BRIX, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Spezielle Untersuchungssequenzen bedienen sich einer dreidimensionalen Ortskodierung. Dabei wird nicht nur das Signal einer einzelnen Schicht gemessen, sondern das Signal des gesamten Untersuchungsvolumens. Dazu wird ein ganzes Volumen angeregt und die Information für die Ortskodierung entlang der z-Achse wird über einen zusätzlichen Phasencodierschritt verschlüsselt. Dieser Volumendatensatz kann dann für eine elektronische Rekonstruktion verschiedener Schichtebenen in beliebigen Raumrichtungen herangezogen werden. Weiterhin kann man aus diesem Datensatz die Informationen für die Darstellung sehr dünner Schichten errechnen. Die Nachteile dieses Verfahrens sind längere Bildaufnahmezeiten und noch aufwendigere mathematische Berechnungen. Denn es müssen drei Fourier-Transformationen, eine sogenannte dreidimensionale Fourier-Transformation, in x-, y- und z-Richtung, durchgeführt werden. Die gemessenen Daten befinden sich in einem mathematischen Datenraum, dem sogenannten k-Raum. Der k-Raum ist eine graphische Matrix digitalisierter MR-Daten. Dieser Datensatz wird durch die Fourier-Transformationen in die Bilddaten verwandelt (BRIX, 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al. 2003).

2.3.3.5 Signal-zu-Rausch-Verhältnis

In MR-Bildern sieht man nicht nur das reine Signal. Der Grauwert eines Pixels setzt sich zusammen aus der Signalintensität des zugehörigen Voxels und dem sogenannten „Rauschen“. Das „Bild-Rauschen“ überlagert das Signal. Es ist eine Schwankung der Signalintensität, die nicht zur Bildinformation beiträgt und sich im MR-Bild als regellos körniges Muster manifestiert. Dieser Verrauschungseffekt ist unvermeidbar und er hat unter anderem folgende physikalische Ursachen: elektromagnetisches Rauschen durch die Molekularbewegung geladener Teilchen, Inhomogenität des Magnetfeldes, elektrischer Widerstand der Empfängerspule und Messelektronik. Der Rauschanteil im Bild ist ein Kriterium für die Bildqualität und wird als das Verhältnis der Intensitäten von Signal zu Rauschen angegeben (SIEMENS, 2000; WEISHAUPT et al., 2003):

Signal-zu-Rausch-Verhältnis (S/R) oder „Signal To Noise Ratio“ (SNR):

$$S/R = \frac{\text{Mittelwert des Signals}}{\text{Standardabweichung im Hintergrund}}$$

Es wird der Mittelwert der Signalintensität eines homogen, signalreichen Gewebebezirkes ermittelt und in Relation zu der Standardabweichung des Signals des Hintergrundes gesetzt (SIEMENS, 2000).

Es ist das Ziel jeder kernspintomographischen Untersuchung Bilder mit einem hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu erzielen. Die Anzahl der Messungen des Signals aus einer bestimmten Schicht erhöht das S/R, das proportional zur Wurzel der Anzahl der Messungen ist. Jedoch verdoppelt die Anzahl der Messungen auch die Bildaufnahmezeit (WEISHAUPT et al., 2003). Daneben beeinflussen viele weitere Untersuchungsparameter das Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Dazu zählen die Schichtdicke, die Größe des Bild- oder Gesichtsfeldes („Field-of-View“ oder FOV), die Matrixgröße, Repetitionszeit, Echozeit, Pulswinkel, Magnetfeldstärke und die Wahl geeigneter Sende- und Empfangsspulen (SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

Tabelle 7: Einfluss von verschiedenen Bild- und Sequenzparametern auf das SNR nach WEISHAUPT et al. (2003).

Geänderter Parameter	Einfluss auf SNR
Größere Schichtdicke	Nimmt zu
Größeres Field-of-View	Nimmt zu
Erhöhung von TR	Nimmt zu
Erhöhung von TE	Nimmt ab
Größere Matrix	Nimmt ab
Erhöhung der Anzahl der Signalmessungen	Nimmt zu
Erhöhung der Magnetfeldstärke	Nimmt zu
Gebrauch von lokalen Spulen	Nimmt zu

Tabelle 8: Einfluss von Matrix, Schichtdicke und Field-of-View auf die räumliche Auflösung nach WEISHAUPT et al. (2003).

Geänderter Parameter	Einfluss auf die räumliche Auflösung
Größere Matrix	Nimmt zu
Größere Schichtdicke	Nimmt ab
Größeres Field-of-View	Nimmt ab

Tabelle 9: Einfluss von verschiedenen Sequenzparametern auf die Bildaufnahmezeit nach WEISHAUPT et al. (2003).

Geänderter Parameter	Einfluss auf die Bildaufnahmezeit
Größere Schichtdicke	Nimmt ab
Größeres Field-of-View	Kein direkter Effekt
Erhöhung von TR	Nimmt zu
Erhöhung von TE	Nimmt zu
Größere Matrix	Nimmt zu
Erhöhung der Anzahl der Signalmessungen	Nimmt zu

2.3.3.6 Bildgebungssequenzen

Eine MR-Untersuchungssequenz besteht aus vielen einzelnen Schritten. Sie beginnt mit der Anregung der Protonen. Dazu wird der Schichtwahlgradient eingeschaltet. Ihm folgt der Anregungsimpuls, der selektiv die Protonen einer bestimmten Schicht anregt. Dies wird über die Frequenz des Anregungsimpulses gesteuert. Die Anregung endet mit dem Ausschalten des Schichtwahlgradienten. Danach folgt die Phasencodierung durch Einschalten des Phasencodiergradienten. Im nächsten Schritt wird ein Echo mittels eines oder mehrerer HF-Impulse erzeugt. Vor der abschließenden Messung wird kurzfristig der Frequenzgradient eingeschaltet (SIEMENS, 2000; BRIX et al., 2002; SIEMENS 2003; WEISHAUPT et al., 2003). Diese Schritte werden mehrfach wiederholt. Sie stellen das Grundgerüst einer Vielzahl von unterschiedlichen Sequenzen dar, die geräte- und herstellerabhängig voneinander abweichen können. Hier soll nur das Prinzip der Basis-Pulssequenzen angesprochen werden.

Eine Spinechosequenz beginnt mit einer Anregung der Protonen durch einen 90° -Impuls, der ihren Spin in Phase bringt und ihre Magnetisierung in die Transversalebene kippt. Nach Abklingen des Impulses dephasieren die Protonenspins durch lokale statische sowie durch lokale veränderliche Magnetfeldinhomogenitäten, wie den Spin-Spin-Interaktionen. Es kommt zur transversalen Relaxation mit sehr schnellem Signalabfall, der mathematisch mit der sogenannten $T2^*$ -Kurve beschrieben wird. Um diesen schnellen und starken $T2^*$ -Signalabfall zu vermeiden, werden die Protonenspins durch einen 180° -Impuls rephasiert. Dieser Impuls wird zeitlich genau zwischen Anregung und Signalmessung (TE) gesendet, also zum Zeitpunkt TE/2. Die bis zu diesem Zeitpunkt auseinanderlaufenden Protonenspins werden durch den HF-Impuls um 180° gekippt und laufen danach für eine erneute halbe Echozeit (TE/2) weiter. Die schnelleren Spins kommen durch den 180° -Impuls hinter den langsameren Spins zu liegen. Nach der Zeit TE, also zum Messzeitpunkt des Signals, haben die schnelleren Spins die langsamen wieder eingeholt. Fast alle Spins besitzen nun wieder die gleiche Phasenlage. So steigt das Signal wieder an und es entsteht das sogenannte Echo. Eine vollständige Rephasierung kann nicht erreicht werden und so kommt es trotz des 180° -Impulses zum Signalabfall. Denn der Rephasierungsimpuls gleicht nur die stationären lokalen Inhomogenitäten des Magnetfeldes aus, nicht aber die variablen lokalen Spin-Spin-Interaktionen. Dieser langsamere, nur durch die variablen Spin-Spin-Interaktionen bedingte, Signalabfall nach einem 180° -Rephasierungsimpuls wird mathematisch durch die T2-Kurve charakterisiert. Die T2-Relaxationskurve darf nicht mit der steiler abfallenden $T2^*$ -Kurve verwechselt werden. Zum $T2^*$ -Signalzerfall tragen neben den lokalen variablen auch die stationären Feldinhomogenitäten bei, da in diesem Fall kein Rephasierungsimpuls gesendet wird (SCHILD, 1990; NITZ, 2000; BRIX et al., 2002; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT, 2003). Die lokalen variablen Feldinhomogenitäten werden von Spin-Spin-Interaktionen verursacht, die lokalen stationären Feldinhomogenitäten kommen durch sogenannte Suszeptibilitätseffekte zustande, die später noch eingehend erläutert werden (SCHILD, 1990; WEISHAUPT et al., 2003). Der Schichtwahlgradient wird parallel zum 90° -Anregungsimpuls sowie zum 180° Rephasierungsimpuls geschaltet. Der Phasencodiergradient wird zwischen Anregung und Rephasierung aktiviert und der Frequenzcodiergradient wird zur Echozeit dem Hauptfeld überlagert. Spinechosequenzen liefern eine sehr gute Bildqualität und sind wenig empfindlich gegenüber statischen Feldinhomogenitäten. Echo- und Repetitionszeit können variabel gewählt werden, wodurch T1-, T2- und PD-gewichtete Bilder erzeugt werden können. Die relativ lange Messzeit macht sie anfällig für Bewegungsartefakte (WEISHAUPT et al., 2003). In einer Spinecho-Sequenz wirkt sich der Rephasierungsimpuls als zeitraubender Faktor aus. In den schnelleren Gradientenechosequenzen (GRE) werden die Gradientenspulen anstelle des 180° -Impulses zur Erzeugung eines Echos verwendet, wodurch sehr kurze Repetitionszeiten erreichbar sind. Dazu wird vor der Messung ein negativ polarisierter Frequenzcodiergradient geschaltet, der eine Dephasierung der Protonen bewirkt. Ihm folgt ein Gradient positiver Polarisierung, der

die Protonen rephasiert. Dabei wird das Echo gemessen. Da hierbei kein 180° -Impuls verwendet wird, werden statische Feldinhomogenitäten nicht ausgeglichen und es kommt zu einem $T2^*$ -Signalabfall. Dabei wird besonders durch lange Echo- und Repetitionszeiten ein starker $T2^*$ -Bildkontrast erreicht (SIEMENS, 2003). Eine Reduktion von TR und TE führen auch bei Gradientenechosequenzen zu $T1$ -gewichteten Bildern (WEISHAUPT et al., 2003). $T2^*$ gewichtete Bilder betonen vor allem die Suszeptibilitätseffekte und sind deshalb gut geeignet für die Suche nach Blutabbauprodukten im Gewebe (NITZ, 2000).

2.3.4 Artefakte

Die in der Magnetresonanztomographie auftretenden Artefakte können in drei Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe besteht aus methodisch bedingten Artefakten, die nicht vermieden werden können. Dazu zählen Partialvolumeneffekte, die chemische Verschiebung, einige Fluss- und Bewegungsartefakte, Suszeptibilitätsartefakte, Abbruchartefakte sowie das „Magic-Angle-Artefakt“. Die zweite Gruppe besteht aus vermeidbaren Artefakten, die ihren Ursprung in einer unsachgemäßen Systembenutzung haben. Dazu gehören die Einfaltungsartefakte und einige Formen von Bewegungs- und Flussartefakten. Die dritte Artefaktgruppe wird von Systemfehlern oder mangelnder Systemkonfiguration verursacht. Dazu zählen Linienartefakte und Spikes. Artefakte können jedoch nicht immer eindeutig einer Gruppe zugeordnet werden (NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.1 Partial-Volumen-Effekte, Teilvolumenartefakte

Für die Teilvolumenartefakte, die als methodenbedingte Effekte der Schnittbilddiagnostik nicht von allen Autoren zu den Artefakten gerechnet werden, gilt prinzipiell das, was bereits bei der Computertomographie angesprochen wurde.

Wenn sich innerhalb eines Voxels Strukturen unterschiedlicher Signalintensität befinden, dann wird ein Mittelwert aller tatsächlich vorhandenen Signale dieses Voxels auf dem MR-Bild dargestellt. Dies ist der Fall an Gewebeübergängen und bei Objekten, die kleiner als die Schichtdicke sind. Eine Reduktion der Schichtdicke trägt dazu bei diese Effekte zu reduzieren (SIEMENS, 1995).

2.3.4.2 Chemische Verschiebung

Die Frequenzinformation dient der Ortskodierung eines Signals. Protonen besitzen in Wasser und in Fett aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Umgebung in geringem Maße unterschiedliche Resonanzfrequenzen. Deshalb werden das Fett- und das Wassersignal eines Voxels unterschiedlichen Raumelementen zugeordnet. So kommt es zu einer Verschiebung zwischen dem Fett- und dem Wasserbild in Richtung des Frequenzgradienten. Auf dem MR-Bild stellen sich Bezirke, wo das Fettsignal fälschlicherweise zusätzlich zugeordnet wird, hyperintens dar. Entsprechende Regionen, in denen nur das Wassersignal dargestellt wird, verlieren an Signal. Bei Niederfeldgeräten sind diese Artefakte weniger von Bedeutung als bei Hochfeldgeräten (NITZ, 2000; SIEMENS, 2003; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.3 Fluss- und Bewegungsartefakte

Bewegungen führen zu einer Phasenverschiebung der Spins. Da die Phasenlage einer Magnetisierung als Rauminformation verwendet wird, führen Bewegungen zu Artefakten, die sich entlang des Phasenkodiergradienten darstellen (NITZ, 2000; WEISHAUPT et al., 2003). Bewegungsartefakte entstehen durch Körperbewegung des Patienten, durch

Augenbewegungen, Atmung, Herzschlag, Darmperistaltik, Blutfluss oder Gefäßpulsation. Der periodisch pulsatile Blutfluss eines großen arteriellen Gefäßes führt beispielsweise zur mehrfachen Abbildung des Gefäßes entlang der Phasenkodierrichtung.

Um Bewegungsartefakte zu vermeiden muss der Patient still liegen und darf sich nicht bewegen, weshalb in der Tiermedizin meist eine Vollnarkose oder tiefe Sedation für eine kernspintomographische Untersuchung nötig ist (ASSHEUER und SAGER, 1997; FOLTIN, 2002).

Um Atembewegungsartefakte zu vermeiden, besteht die Möglichkeit nur während einer Atempause zu untersuchen. Dies kann in der Humanmedizin durch Instruktion und Kooperation des Patienten erreicht werden. In der Tiermedizin ist dies durch eine genaue Abstimmung zwischen den Beatmungszyklen eines Inhalationsnarkosegerätes mit steuerbarer Beatmung und den Untersuchungszyklen des MR-Tomographen möglich. Weiterhin gibt es technische Entwicklungen, die die Atembewegung mathematisch kompensieren können oder Untersuchungsprogramme, die nur bei bestimmten Zwerchfellstellungen das MR-Signal messen.

Zur Minimierung von Bewegungsartefakten des Herzens und zur Unterdrückung der Flussartefakte großer Gefäße stehen EKG-gesteuerte Untersuchungssequenzen zur Verfügung.

Fluss- und Bewegungsartefakte können auch durch eine sogenannte Vorsättigung reduziert werden. Spezielle Anregungsimpulse, die der eigentlichen Messung vorausgehen, sättigen die Umgebung der untersuchten Region magnetisch ab, so dass dort kein Signal und damit auch kein Artefakt entsteht.

Störende Darmperistaltik kann durch die Gabe von Spasmolytika wie Buscopan® reduziert werden.

Durch das Vertauschen von Phasen- und Frequenzcodierung können Bewegungsartefakte, die sich immer entlang der Phasenkodierung darstellen, in Körperregionen verlagert werden, die für die Beurteilung des Bildes nicht von Interesse sind (WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.4 Einfaltungsartefakte

Bei Einfaltungsartefakten werden anatomische Strukturen, die sich außerhalb des gewählten Bildausschnittes befinden, fälschlicherweise in das MRT-Bild hineingefaltet. Dieser Effekt entsteht entlang des Phasenkodiergradienten. Der Computer kalkuliert mit Phasenverschiebungen von -180° bis $+180^\circ$ innerhalb des Bildausschnittes. Wenn das untersuchte Objekt in Phasenkodierrichtung über das Bildfeld hinausragt, wiederholen sich dort die Phasen und es überschneiden sich die Phaseninformationen außerhalb und innerhalb des Untersuchungsausschnittes. Eine Phase von $+190^\circ$ außerhalb entspricht einer von -170° innerhalb des Bildfeldes. Signale einer Struktur außerhalb des Untersuchungsfeldes werden dann fälschlicherweise auf der gegenüberliegenden Seite innerhalb des Bildfeldes dargestellt.

Vermieden werden können Einfaltungsartefakte durch die Wahl eines größeren Bildfeldes und durch das Vertauschen von Frequenz- und Phasenkodierung entsprechend den anatomischen Gegebenheiten, da entlang des Frequenzkodiergradienten keine Einfaltungsartefakte auftreten. Die Wahl einer geeigneten Oberflächenspule verhindert eine Einfaltung, wenn die Objekte außerhalb des Empfangsbereichs der Spule liegen. Eine magnetische Vorsättigung der Umgebung verhindert Einfaltungsartefakte ebenso wie Bewegungsartefakte. Auch eine mathematische Unterdrückung mittels spezieller Algorithmen ist zum Teil möglich (NITZ, 2000; SIEMENS, 2000; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.5 Suszeptibilitätseffekte und -artefakte

Jeder Stoff wird von einem Magnetfeld beeinflusst und jeder Stoff beeinflusst seinerseits das Magnetfeld in seiner Umgebung. Für dieses Phänomen steht der Begriff Suszeptibilität. Das bedeutet, dass bestimmte Substanzen im Magnetfeld ihrer Umgebung lokale stationäre Feldinhomogenitäten verursachen. Dies kann in ausgeprägten Fällen zu einer starken Verzerrung des Magnetfeldes mit konsekutiver Bildverzerrung führen, was pathologische Befunde vortäuschen und Fehlinterpretationen zur Folge haben kann. Metallische Fremdkörper oder Implantate führen zu sehr starken Suszeptibilitätsartefakten, die deshalb auch Metallartefakte genannt werden (WEISHAUPT et al., 2003). Die bei Tieren häufig subkutan injizierten Identifikationschips sind dabei zu beachten (FOLTIN, 2002).

In weniger ausgeprägten Fällen führen lokale Feldinhomogenitäten zu einer rascheren Dephasierung der Protonenspins und somit zu einem beschleunigten Zerfall des MR-Signals mit Signalintensitätsabnahme. Diese Feldinhomogenitäten finden sich an Gewebeübergängen mit stark unterschiedlichen paramagnetischen Eigenschaften, wie zwischen Luft und Weichteilen oder Knochen und Weichteilen. Suszeptibilitätsartefakte sind in Spin- und Turbospinechosequenzen wenig ausgeprägt. In Gradientenechosequenzen stellen sie sich gut dar, was diagnostisch zur Suche nach kleinen Blutungen oder Kalkablagerungen genutzt werden kann (NITZ, 2000; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.6 Trunktionsartefakte

Trunktions-, Abbruch-, „Gibbs“- oder „Ringing-Artefakte“ zeigen sich als parallele Streifen in der Nähe von Gewebegrenzflächen mit unterschiedlichen Signalintensitäten. Dies kann zum Beispiel zwischen Muskel und Fett oder an der Grenze von zerebrospinalen Liquor zum Rückenmark, wo eine Syrinx oder eine Erweiterung des Rückenmarks vorgetäuscht sein kann, auftreten (NITZ, 2000; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.7 Magic-Angle-Artefakt

Sehnen und Bänder stellen sich in den meisten Sequenzen hypointens dar. Wenn ihre parallelen Faserstrukturen in einem Winkel von 55° zum Hauptmagnetfeld angeordnet sind, kann dies zu einer erhöhten Signalintensität führen, woraus Interpretationsfehler mit falsch positiven Befunden entstehen können (IMHOF et al. 2000; WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.8 Linienartefakte

Linienartefakte oder „Zipper-Like-Artefakte“ sind linien- oder bandförmige Strukturen mit gepunktetem Signal, die durch externe elektromagnetische Störstrahlung entstehen können. Nicht vollständig geschlossene Türen zum MR-Untersuchungsraum oder elektrische Geräte wie Anästhesiegeräte oder Pulsoximeter sind häufig die Ursache für diese Artefakte. Sie können aber auch durch technische Fehler und Defekte am Kernspintomographen verursacht werden (WEISHAUPT et al., 2003).

2.3.4.9 Spikes

Spikes stellen sich auf dem MR-Bild als ein Fischgräten- oder diagonale Kreuzmuster dar. Sie können durch technische Defekte am Kernspintomographen oder durch elektrostatische Entladungen verursacht werden. Diese Entladungen können beim Aneinanderreiben von Plastikteilen oder durch zu geringe Luftfeuchtigkeit im Untersuchungsraum entstehen. Beim Auftreten von Spikes sollte der Service des Herstellers in Anspruch genommen werden (NITZ, 2000).

2.3.5 Kontrastmittel

Kontrastmittel sind Substanzen, die die Signalintensitäten eines Gewebes verändern und damit die Signaldifferenz zweier Gewebe erhöhen. (FROEHLICH, 2003; BALZER, 2000). Sie verändern den Kontrast eines MR-Bildes wodurch die Erkennung von Läsionen erleichtert und damit die diagnostische Aussagekraft kernspintomographischer Untersuchungen verbessert werden kann (SCHILD, 1990; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; NIENDORF et al., 2002). Kontrastmittel werden nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt. Entsprechend der Art der Signalveränderung kann man auch in der Kernspintomographie Positiv- und Negativkontrastmittel unterscheiden. Positivkontrastmittel führen zu einer Signalzunahme, Negativkontrastmittel zu einer Signalabnahme.

Kontrastmittel können nach ihrer physikalischen Wirkungsweise eingeteilt werden. Eine Gruppe beeinflusst dabei die Eigenschaften eines Gewebes direkt, indem sie die Protonendichte eines Gewebes verändert. Die zweite Gruppe wirkt indirekt. Sie beeinflusst die lokalen Magnetfelder eines Gewebes entweder durch Suszeptibilitätseffekte oder durch eine Verkürzung der Relaxationszeiten.

2.3.5.1 *Direkt wirksame Kontrastmittel*

Eine Zu- oder Abnahme der Protonendichte innerhalb eines Gewebes erhöht bzw. reduziert das Signal. Oral oder rektal verabreichtes Bariumsulfat verdrängt Protonen im Gastrointestinaltrakt und bewirkt einen Signalverlust. Wasser zur Markierung des Darmlumens führt zu einem niedrigem T1- und hohem T2-Signal. Perfluorocarbone oder Kohlendioxid reduzieren die örtliche Protonenzahl und führen zu einem Signalverlust (FROEHLICH, 2003).

2.3.5.2 *Indirekt wirksame Kontrastmittel*

Die indirekt wirksamen Kontrastmittel können entsprechend ihrer Wirkungsweise weiter eingeteilt werden:

2.3.5.2.1 *Über Suszeptibilitätseffekte wirksame Kontrastmittel*

Bestimmte Kontrastmittel verursachen durch ihr hohes magnetisches Moment lokale Feldinhomogenitäten und beschleunigen dadurch die Dephasierung, verkürzen also die T2-Zeit. Dieser Effekt wird auch Suszeptibilität genannt und er bewirkt eine starke Signalabnahme auf T2-gewichteten Bildern. Diese Kontrastmittel können somit zu den Negativkontrastmitteln gezählt werden. Als Beispiel sind hier bestimmte Eisenoxidnanopartikel zu nennen, die in der Humanmedizin als leberspezifisches Kontrastmittel zum Einsatz kommen (FROEHLICH, 2003).

2.3.5.2.2 *Über eine Verkürzung der Relaxationszeit wirksame Kontrastmittel*

Die Kontrastmittel dieser wohl wichtigsten Gruppe beschleunigen die Relaxation der Protonen in ihrer Umgebung. Es sind Verbindungen paramagnetischer Substanzen, in der Regel Metallionen, wie Gadolinium- und Manganverbindungen oder Eisenlösungen (LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; BALZER, 2000; FROEHLICH, 2003). Die physikalische Erklärung ihre Wirkungsweise beruht auf der Tatsache, dass Elektronen ebenso wie Protonen und andere Elementarteilchen einen Spin besitzen. Bei Atomen mit vielen ungepaarten Elektronenspins entsteht in einem Magnetfeld durch ihre bewegte Ladung ein magnetischer Dipol (BALZER, 2000; FROEHLICH, 2003). Das magnetische Moment von Elektronen ist 680-mal stärker als das von Nukleonen (FROEHLICH, 2003). Gadolinium besitzt sieben ungepaarte Elektronen und ist eine der stärksten paramagnetischen Substanzen. Die sehr starken Wechselwirkungen zwischen den Dipolmomenten von Elektronen und Protonen führen zu einer Verkürzung der Protonenrelaxation und damit zu einer Veränderung

der Signalintensität des Gewebes. Das Kontrastmittel verbessert zum einen die Energieabgabe der Protonen an die Umgebung, wodurch die Spin-Gitter-Relaxation beschleunigt und T1 verkürzt wird. Zum anderen führt es über Spin-Spin-Effekte zu einer schnelleren Dephasierung der Protonenspins, was die T2-Relaxationszeit verkürzt (SCHILD, 1990; LAUBENBERGER und LAUBENBERGER, 1994; BALZER, 2000; FROEHLICH, 2003). Kontrastmittel verstärkt also zum einen die Signalintensität in der T1-Wichtung und stellt sich hell dar. Zum anderen senkt es das Signal in der T2-Wichtung und stellt sich dunkel dar. Da eine Signalabschwächung meist schlechter zu erkennen ist als eine Signalanhebung, wird nach Kontrastmittelgabe überwiegend die T1-gewichtete Darstellung gewählt (SCHILD, 1990).

2.3.5.3 Weitere Kontrastmittel

Kontrastmittel können auch nach pharmakokinetischen Gesichtspunkten eingeteilt werden. Entsprechend ihrer pharmakologischen Eigenschaften und ihrer Verteilung im Körper werden folgende Kontrastmittel unterschieden: extrazelluläre Kontrastmittel, intravaskuläre Kontrastmittel, Kontrastmittel für spezifische Zielorgane wie Leberzellen, Retikulo-endotheliales System, Lymphknoten oder Tumore. Antigen-spezifische Kontrastmittel aus Antikörpern mit paramagnetischem Signalgeber sind in tierexperimenteller Erprobung. Eine weitere Technologie basiert auf der Verwendung hyperpolarisierte KM-Gase zur Darstellung der Lunge. Als sogenannte Kompartimentfüller kommen neben den bereits beschriebenen Kontrastmitteln für den Gastrointestinaltrakt auch verdünnte Gadoliniumlösungen zum Einsatz. Sie können oral oder rektal appliziert werden. Gadoliniumhaltige Kontrastmittel, die für die MR-Arthrographie in den Gelenkraum injiziert werden, sind ebenfalls zu den Kompartimentfüllern zu zählen (FROEHLICH, 2003).

2.3.5.4 Toxizität

Die meisten Substanzen, die als Kontrastmittel Verwendung finden, sind toxische Metallionen. Sie dürfen nicht in freier Form in den Körper gelangen, sondern werden von starken Liganden in Komplexe gebunden (NIENDORF et al., 2002). Nur ein sehr kleiner Anteil kann dissoziieren, da das Gleichgewicht dieser Reaktion sehr stark auf der Seite des wasserlöslichen, nichttoxischen, undissoziierten Gadoliniumkomplexes gelegen ist. Die Chelatbildner sind als Ca/Na-Komplexe im Überschuss in der Kontrastmittellösung enthalten und komplexieren freiwerdendes Gadolinium. Die Toxizität von Gadolinium beruht auf seiner Ähnlichkeit mit Kalziumionen. Freies Gadolinium blockiert Kalziumkanäle und kann Zellatmung und Blutgerinnung beeinträchtigen (FROEHLICH, 2003).

2.3.5.5 Anwendung und Wirkstoffe

MR-Kontrastmittel besitzen ein sehr breites Indikationsspektrum und werden insbesondere bei der Darstellung des ZNS, des aktiven und passiven Bewegungsapparates, der Organe des Beckens, der weiblichen Brust, der Leber, sowie entzündlicher und neoplastischer Erkrankungen angewendet. In neuerer Zeit gewinnt die kontrastmittelgestützte MR-Angiographie zunehmend an Bedeutung (BALZER, 2000).

Die meisten der heute angewendeten MR-Kontrastmittel sind extrazelluläre Gadolinium (III)-Komplexverbindungen wie beispielsweise Gadodiamid, Gadopentetatsäure, Gadoteratsäure, Gadoteridol, Gadobenatsäure oder Gadobutrol (FROEHLICH, 2003).

2.3.5.6 Nebenwirkungen und Dosierung

Gadoliniumhaltige Kontrastmittel besitzen eine sehr geringe Inzidenz unerwünschter Nebenwirkungen beim Menschen: Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Schmerz

an der Injektionsstelle oder allergische Reaktionen und extrem selten anaphylaktoide Schockreaktionen (BALZER, 2000, FROEHLICH, 2003). Gadoliniumhaltige Kontrastmittel werden in einer Dosierung von 0,1-0,3 mmol/kg KG, bei Angiographien bis 0,5 mmol/kg KG, intravenös appliziert. Sie besitzen eine Verteilungshalbwertszeit von 2,5 min, sind nierengängig und werden vollständig über die passive glomeruläre Filtration renal mit einer Plasmahalbwertszeit von ca. 90 min ausgeschieden (FROEHLICH, 2003)

2.3.6 Praktische Durchführung einer MRT-Untersuchung

Um Bewegungsartefakte auszuschließen benötigen tiermedizinische Patienten für eine kernspintomographische Untersuchung in der Regel eine Allgemeinnarkose oder eine tiefe Sedation (ASSHEUER und SAGER, 1997; FOLTIN, 2002). Die Tiere werden zur Untersuchung auf den Patiententisch des Kernspintomographen gelegt. Die Position hängt dabei von der untersuchten Körperregion ab. Je nach System kann dabei die Anbringung von Spulen direkt am Patienten erforderlich sein. Dabei sind einige Dinge zu beachten: die Spule sollte möglichst dicht am Körper angebracht sein, das zu untersuchende Organ sollte möglichst in der Spulenmitte gelegen sein und die Spule sollte mittels Laser-Lichtvisier genau im Magnetfeldmittelpunkt positioniert werden (FOLTIN, 2002; WEISHAUPT et al., 2003). Der Untersucher fertigt am Bedienpult, ähnlich wie in der Computertomographie, zu Beginn der Untersuchung einen sogenannten Localizer an. Dabei handelt es sich in der Regel um drei senkrecht aufeinander stehende MR-Schnittbilder. Auf diesen ersten der anatomischen Übersicht dienenden Bildern werden die gewünschten Tomogramme genau eingestellt. Dazu werden auf der Bedienungsoberfläche aus den zur Verfügung stehenden Sequenzen geeignete Protokolle ausgewählt und die gewünschten Untersuchungsparameter, wie beispielsweise die Schichtdicke oder die Größe des Bildfeldes, eingestellt.

Eine der Basissequenzen eines MRT-Untersuchungsprotokolls am Handgelenk des Menschen ist eine T1w-SE-Sequenz (REISER et al., 2002). Dabei liefern koronar orientierte Sequenzen die wichtigste Bildebene bei der Untersuchung des Handgelenkes des Menschen (REISER et al., 2002). Die am Magnetom Open viva der Firma Siemens Medizintechnik in Erlangen für die Untersuchung eines menschlichen Handgelenks vorgesehenen Sequenzen sind überwiegend T1- und T2-gewichtet. Fast alle Sequenzen des Untersuchungsprotokolls „wrist“ besitzen eine Schichtdicke von 4 mm. Es sind transversale und coronare und sagittale Sequenzen voreingestellt.

Für die Darstellung von caninen Karpalgelenken bedienten sich NORDBERG und JOHNSON (1998) eines Hochfeldkernspintomographen mit einem supraleitenden Magneten und einer Feldstärke von 1,5 T. Sie verwendeten eine T1w-SE-Sequenz mit einer Schichtdicke von 3mm, einer TR von 600ms und einer TE von 18 ms in sagittaler und dorsaler Orientierung sowie eine T2*w-GE-Sequenz mit einer TR von 57 ms und einer TE von 10 ms. Mit dieser zweiten Sequenz fertigten sie ebenfalls sagittale und dorsale Bilder an.

2.3.7 Anwendungen der Kernspintomographie

Ähnlich wie in der Computertomographie wurde zu Beginn der Entwicklung der Kernspintomographie überwiegend das Gehirn untersucht. Das Anwendungsgebiet konnte ständig erweitert werden und inzwischen werden nahezu alle Organsysteme mittels Kernspintomographie untersucht. In der Humanmedizin führen die Untersuchungszahlen des Gehirns und der Wirbelsäule die Statistiken an. Gelenke stehen mit 20-25 % bereits an dritter Stelle aller MR-Untersuchungen (IMHOF et al., 2000).

Für das Anwendungsspektrum der Kernspintomographie in der Tiermedizin dürfte ähnliches gelten. Es liegen sehr viele Berichte über MR-Untersuchungen am ZNS von Hunden und Katzen vor, wie beispielsweise von HATHCOCK (1996), THOMAS et al. (1996), KRAFT et al. (1997), MELLEMA et al. (2002), GNIRS et al. (2003), OWEN et al. (2004) oder PENDERIS et al. (2004). So liefert die Kernspintomographie Bilder von Gehirntumoren, Gehirnfarkten oder entzündlichen Läsionen, die zusammen mit klinischen und labordiagnostischen Untersuchungen oft ätiologische Diagnosen ermöglichen. Im Bereich der Onkologie hilft die Magnetresonanztomographie dem Kliniker nicht nur in diagnostischer Hinsicht, sondern auch bei der Therapieplanung weiter. Sie erleichtert die Entscheidung, ob eine Chemotherapie, eine Bestrahlungstherapie, eine chirurgische Therapie oder eine kombinierte Therapie in Erwägung gezogen werden sollte und mittels Kontrolluntersuchungen kann der Therapieerfolg nichtinvasiv kontrolliert werden. MR-Bilder ermöglichen eine gezielte Biopsie pathologisch veränderter Strukturen. Regionäre, nicht tastbare Lymphknoten können bildlich dargestellt werden. Neben dem Gehirn stellen Erkrankungen der Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen oder Erkrankungen der Wirbelsäule und des Rückenmarkes häufige Indikationen für eine kernspintomographische Untersuchung dar (GAVIN, 2004).

Vergleichsweise geringer ist die Zahl der Darstellungen über orthopädische MR-Untersuchungen in der Tiermedizin. Das Kniegelenk des Hundes scheint dabei sehr häufig untersucht zu werden, wie Arbeiten beispielsweise von WIDMER et al. (1994), BAIRD et al. (1998), BANFIELD und MORRISON (2000), GONZALO-ORDEN et al. (2001), KAISER et al. (2001) oder FOLTIN et al. (2004) zeigen. Aber auch andere Gelenke werden mittels Kernspintomographie zusätzlich diagnostisch aufgearbeitet. FOLTIN (2002) untersuchte die Hüftgelenke von Hunden mit Koxarthrose, Hüftgelenkdysplasie und Morbus Perthes-Legg-Calvé und STADIE et al. (2004) belegten den diagnostischen Vorteil durch die Magnetresonanztomographie bei der Untersuchung des caninen Schultergelenkes. Nach GAVIN (2004) gelingt die Darstellung einer Tendovaginitis der Bizepssehne, einer Tendinitis der Supraspinatussehne oder anderer Sehnenverletzungen mit der Kernspintomographie ebenso wie die Diagnose eines vorderen Kreuzbandrisses oder einer Meniskusläsion. Weiterhin kann mittels Kernspintomographie die Darstellung peripherer Nervenscheidentumore bei Hunden mit chronischen Lahmheiten oder das Aufspüren versteckter Fremdkörper in der Tiefe gelingen (GAVIN, 2004).

2.4 Anatomie des Karpalgelenkes

2.4.1 Beschreibung der am Karpalgelenk beteiligten Knochen und Gelenkflächen

Das Karpalgelenk des Hundes besteht gewöhnlich aus 15 einzelnen Knochen (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS, 1994). Zusätzlich finden sich gelegentlich ein oder zwei weitere palmare Sesambeine, *Ossa palmaria*, zwischen den beiden Karpalgelenksreihen ausgebildet (ZIETSCHMANN, 1943; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; KÖNIG und LIEBICH, 2001; SCHNAPPER et al., 2002). SCHNAPPER et al. (2002) beschreiben am Karpus 33 Einzelgelenke mit insgesamt 68 Gelenkfacetten.

2.4.1.1 *Ossa antebrachii* (Unterarmknochen)

2.4.1.1.1 *Radius* (Speiche)

Der Radius des Hundes ist ein schlanker, röhrenförmiger, leicht kranial gebogener Knochen. Seine Extremitas proximalis ist zum Caput radii verdickt und durch ein Collum vom Schaft abgesetzt. Der Radiuskopf artikuliert proximal über die flache Fovea capitis mit dem Capitulum humeri. Die kaudal gelegene Circumferentia articularis radii dient der Ulna als proximale Kontaktfläche und bildet mit der Incisura radialis ulnae das proximale Radioulnargelenk. Lateral und medial am Caput radii befinden sich Bandhöcker, von denen der mediale als Tuberositas radii zugleich dem M. biceps brachii als Ansatzfläche dient. Das Corpus radii ist im Querschnitt oval. Die Facies caudalis des Schaftes ist am Ansatz der die beiden Unterarmknochen verbindenden Membrana interossea leicht angeraut. Die Extremitas distalis besitzt eine Facies articularis carpea und ist zur quergestellten Trochlea radii verbreitert. Auf ihrer Rückseite verläuft die Crista transversa. In ihre vordere Fläche sind drei Rinnen eingelassen. In der lateralen Rinne verläuft die Sehne des M. extensor digitorum (digitalis) communis. Im mittleren Sulcus liegt die Endsehne des M. extensor carpi radialis und die leicht schräg verlaufende mediale Sehnenrinne umgibt den M. abductor digiti I (pollicis) longus. Medial dieser zuletzt genannten Sehnenrinne am distalen Ende des Margo medialis erhebt sich der Processus styloideus radii als medialer Bandhöcker. Die Trochlea radii ist kaudolateral am distalen Ende des Margo lateralis zur Incisura ulnaris radii eingekerbt. Diese artikuliert mit der Circumferentia articularis ulnae und bildet das distale Radioulnargelenk. Die Facies articularis carpea steht distal mit dem Os carpi intermedioradiale sowie dem Os carpi ulnare in Kontakt (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002).

2.4.1.1.2 *Ulna* (Elle)

Die Ulna des Hundes ist ein dünner und distal sich stark verjüngender Knochen, an dessen proximalen Ende das kräftige Olekranon gelegen ist. Kranial ist in seine Basis die halbmondförmige Incisura trochlearis eingelassen. Das kaudoproximal darüber gelegene freie Ende ist kolbenförmig zum Tuber olecrani verdickt, der kranial zum hakenartig vorstehenden Processus anconaeus ausgezogen ist. Ihm sind zwei parallel verlaufende knöcherne Muskelleisten aufgelagert. Der Processus anconaeus dient der Incisura trochlearis proximal

als Dach. Ihr distal gelegener Boden wird vom Processus coronoideus lateralis und Processus coronoideus medialis gebildet. Die zwischen den Kronenfortsätzen gelegene Incisura radialis ulnae artikuliert mit der Circumferentia articularis radii und bildet das proximale Radioulnargelenk. Unterhalb des Olekranons verjüngt sich das im Querschnitt dreieckige Corpus ulnae. Es besitzt kranial den rauhen Margo interosseus und endet distal mit einer leichten Verdickung als Processus styloideus ulnae. Darin ist die Circumferentia articularis ulnae kraniomedial als Vertiefung eingelassen, die mit der Incisura ulnaris radii in Kontakt steht und das distale Radioulnargelenk bildet. Die distale Gelenkfläche des Processus styloideus ulnae artikuliert mit dem Os carpi accessorium und dem Os carpi ulnare (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002).

2.4.1.2 *Ossa carpi (Karpalknochen)*

2.4.1.2.1 *Os carpi intermedioradiale (Os scapholunatum, Kahn-Mondbein)*

Das Os carpi intermedioradiale, das von manchen Autoren auch Os carpi radiale genannt wird, ist in der **antebrachialen Reihe** medial, distal des Radius gelegen (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; CONSTANTINESCU, 2002; KÖNIG und LIEBICH, 2001; SCHNAPPER et al., 2002). Es ist der größte Karpalknochen und ist ein Verschmelzungsprodukt des Os carpi radiale, des Os carpi intermedium und Os carpi centrale. Es ist von einem medial knopfartig palmar gerichteten knöchernen Vorsprung gekennzeichnet (ZIETSCHMANN, 1943; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; KÖNIG und LIEBICH, 2001). Das Os carpi intermedioradiale artikuliert nach NICKEL et al., (1992) proximal über eine kondylenartige konvexe Gelenkfläche mit dem Radius, lateral mit dem Os carpi ulnare und distal mit den Ossa carpalia primum, secundum, tertium et quartum. SCHNAPPER und al. (2002) beschreiben zusätzliche Gelenkfacetten zwischen dem Os carpi intermedioradiale und dem Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus.

2.4.1.2.2 *Os carpi ulnare (Os triquetrum, Dreiecksbein)*

Lateral des Os carpi intermedioradiale, distal der Ulna und proximal des Os carpale quartum schließt sich das Os carpi ulnare an (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Es bildet neben den drei oben genannten direkten räumlichen Nachbarn noch mit dem Os carpi accessorium eine gelenkige Verbindung aus. Weiterhin artikuliert es über einen charakteristischen lateropalmar und distal gerichteten höckerartigen Fortsatz mit der Basis des Os metacarpale quintum (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994). SCHNAPPER et al. (2002) erwähnen auch eine zum Radius gewandte Gelenkfacette.

2.4.1.2.3 *Os carpi accessorium (Os pisiforme, Erbsenbein)*

Palmar und lateral in der antebrachialen Karpalgelenksreihe befindet sich das Os carpi accessorium (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Es artikuliert an seiner Basis breitflächig mit dem vor ihm gelegenen Os carpi ulnare. Eine deutlich kleinere, dorsolateral und proximal befindliche Gelenkfläche berührt den Processus styloideus ulnae (VOLLMERHAUS et al., 1994; NICKEL et al., 1992; SCHNAPPER et al., 2002). Sein

zylinderförmiger Fortsatz ist palmar gerichtet und am Ende höckerförmig aufgetrieben. Nach KÖNIG und LIEBICH (2001) artikuliert das Os carpi accessorium neben dem Os carpi ulnare und der Ulna auch mit dem Radius.

2.4.1.2.4 *Sesambein in der Sehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus*

Das in die Endsehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus eingelagerte Sesambein wird in der Literatur überwiegend zu den Knochen des Karpalgelenkes gezählt (SCHNAPPER et al. 2002). Es ist medial und distal am palmaren Fortsatz des Os carpi intermedioradiale gelegen (ZIETSCHMANN, 1943; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; SCHNAPPER et al., 2002).

2.4.1.2.5 *Os carpale primum (Os trapezium, großes Vieleckbein)*

In der **distalen Karpalgelenksreihe** sind vier einzelne Knochen, die Ossa carpalia primum, secundum, tertium et quartum, ausgebildet. Diese vier kleinen Knochen nehmen von medial nach lateral an Größe zu (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002).

Das Os carpale primum ist der kleinste Knochen der distalen Reihe. Mit einer seitlich leicht abgeflachten Gestalt kommt er zwischen der Basis des Os metacarpale primum, dem Os carpi intermedioradiale und dem Os carpale secundum zu liegen (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Nach NICKEL et al. (1992) und VOLLMERHAUS et al. (1994) steht er mit diesen drei oben genannten Knochen in gelenkiger Verbindung. SCHNAPPER et al. (2002) nennen eine weitere Artikulation mit dem Os metacarpale secundum.

2.4.1.2.6 *Os carpale secundum (Os trapezoideum, kleines Vieleckbein)*

Das Os carpale secundum liegt dem Os metacarpale secundum proximal auf. Es ist medial und lateral dem Os carpale primum respektive tertium benachbart. Proximal wird es vom Os carpi intermedioradiale überdacht. Mit allen diesen benachbarten Knochen steht es nach VOLLMERHAUS et al. (1994) sowie nach SCHNAPPER et al. (2002) in gelenkiger Verbindung.

2.4.1.2.7 *Os carpale tertium (Os capitatum, Kopfbein)*

Das Os carpale tertium wird medial vom Os carpale secundum und lateral vom Os carpale quartum flankiert (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Es wird vollständig vom Os carpi intermedioradiale überdacht und liegt proximal vom Os metacarpale tertium. Daneben besitzt es nach VOLLMERHAUS et al. (1994) noch eine Artikulation zum Os metacarpale quartum. SCHNAPPER et al. (2002) beschreiben noch eine zusätzliche Gelenkfläche mit zwei Gelenkfacetten zum Os metacarpale secundum.

2.4.1.2.8 *Os carpale quartum (Os hamatum, Hakenbein)*

Das Os carpale quartum ist in der distalen Karpalgelenksreihe lateral gelegen (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Es besitzt eine charakteristische fünfeckige Dorsalfläche. Als größter Knochen der distalen Reihe artikuliert es medial mit dem Os carpale tertium, proximal mit dem Os carpi intermedioradiale und dem Os carpi ulnare sowie distal mit dem Os metacarpale quartum und quintum. Nach SCHNAPPER et al.

(2002) existiert noch eine weitere Gelenkfacette zur Basis des Os metacarpale tertium. Lateropalmar wird es vom distal gerichteten Fortsatz des Os carpi ulnare abgestützt.

2.4.1.3 Ossa metacarpalia (Vordermittelfußknochen):

Die **fünf Metakarpalknochen, Ossa metacarpalia primum, secundum, tertium, quartum und quintum**, sind kurze, einander sehr ähnliche Röhrenknochen, die nebeneinander leicht bogenförmig in einer Reihe angeordnet sind (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Lediglich das medial gelegene Os metacarpale primum ist deutlich kürzer und dünner als die anderen Vordermittelfußknochen. Die nach NICKEL et al. (1992) im Querschnitt vierkantigen Ossa metacarpalia tertium et quartum sind als Hauptmittelfußknochen etwas länger als die im Querschnitt dreieckigen Nebenmittelfußknochen, Ossa metacarpalia secundum et quintum. Sie alle besitzen diaphysär ein röhrenförmiges, schlankes Corpus (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Die proximale Epiphyse ist zur Basis verbreitert. Dort finden sich dorsal an beiden Hauptmittelfußknochen Rauigkeiten. Lateral an der Basis des Os metacarpale quintum ist ein kräftiger Bandhöcker ausgebildet. Das distal gelegene Caput besteht aus einer quergestellten Gelenkwalze, die palmar einen knöchernen Sagittalkamm trägt (außer Os metacarpale primum) und beiderseits von Bandhöckern und Bandgruben flankiert wird. Jeder Metakarpalknochen steht mit seinem Nachbarn in gelenkiger Verbindung (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Die Artikulationen mit den proximal von ihnen gelegenen Karpalknochen der distalen Reihe sind bei der Beschreibung der Ossa carpalia primum bis quartum erläutert.

2.4.2 Gelenke und Bewegungsumfang

2.4.2.1 Articulatio radioulnaris proximalis et distalis

Das distale Radioulnargelenk kommuniziert mit dem Antebrachiokarpalgelenk über eine gemeinsame Gelenkhöhle und die Bewegung in beiden Radioulnargelenken muss nach VOLLMERHAUS et al. (1994) als funktionelle Einheit gesehen werden. Deshalb finden auch sie an dieser Stelle Erwähnung.

Die Gelenkfacetten der Circumferentia articularis radii und der Incisura radialis ulnae bilden die beim Hund nur passiv drehbare Articulatio radioulnaris proximalis (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al. 1994)

Die Articulatio radioulnaris distalis zwischen der Incisura ulnaris radii und der Circumferentia articularis ulnae ist wie das proximale Radioulnargelenk ein Drehgelenk (NICKEL et al., 1992; KÖNIG und LIEBICH, 2001). VOLLMERHAUS et al. (1994) nennt beide Radioulnargelenke Zapfengelenke. ROOS (1992) beschreibt eine passive Supinationsmöglichkeit von etwa 50° und eine Pronationsbewegung von ca. 20° in den Radioulnargelenken beim Hund.

2.4.2.2 Articulatio carpi

Das Karpalgelenk ist ein zusammengesetztes unvollkommenes Wechsel- oder Walzengelenk (KÖNIG und LIEBICH, 2001). Der maximale Hyperextensionswinkel des gesamten Karpalgelenkes zwischen Radius und Metakarpus bei gehaltenen Röntgenaufnahmen liegt

nach WERNITZ (1987) bei 20-38° mit Unterschieden bis 8° im Seitenvergleich. Funktionsaufnahmen in gehaltener Varus- und Valgusstellung zwischen Radius und Os metacarpale tertium ergeben bei gesunden Beagle-Hunden Werte zwischen 5-20° bzw. 17-30° (WERNITZ, 1987). Bei maximaler Beugung kann der Mittelfuß bis nahe zum Unterarm geführt werden. Der Beuge- und Streckumfang beträgt dabei bis zu 195° (KÖNIG und LIEBICH, 2001)

Das zusammengesetzte Karpalgelenk besteht aus folgenden Einzelgelenken:

2.4.2.2.1 *Articulatio antebrachioarpea, Unterarm-Vorderfußwurzelgelenk*

Diese oberste Gelenketape ist unterteilt in die Articulationes radiocarpeae et ulnocarpeae. Sie besteht aus Radius und Ulna im proximalen Abschnitt, sowie dem Os carpi intermedioradiale und dem Os carpi ulnare als distalen Anteil. Die elliptische Facies articularis carpea des Radius ist konkav ausgehöhlt. Somit lässt die überwiegend als Walzengelenk fungierende Articulatio antebrachioarpea in geringem Masse auch seitliche Bewegungen zu und wird deshalb von NICKEL et al. (1992) als freies Gelenk bezeichnet. KÖNIG und LIEBICH (2001) klassifizieren es als Ellipsoidgelenk. Der maximale Bewegungsumfang für die Beugung wird von NICKEL et al. (1992) mit etwa 95° angegeben. YALDEN (1970) beziffert die maximale Beugung auf 100° und gibt für die seitliche Bewegung eine Adduktion von 5° bzw. eine Abduktion von 15° an. Ein Standwinkel von ca. 10° in Hyperextension ist nach YALDEN (1970) als normal anzusehen. Eine kreiselnde Bewegungsmöglichkeit wird von NICKEL et al. (1992) angegeben, jedoch nicht weiter quantifiziert.

2.4.2.2.2 *Articulatio mediocarpea, Vorderfusswurzel-Mittelgelenk*

Diese mittlere Gelenketape verbindet die beiden dorsalen Knochen der antebrachialen Reihe, Os carpi intermedioradiale et ulnare, mit der der metacarpalen Reihe, Os carpale primum bis quartum (ZIETSCHMANN, 1943; KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; DYCE et al., 1996; KÖNIG und LIEBICH, 2001; CONSTANTINESCU, 2002; SCHNAPPER et al., 2002). Es ist funktionell ein als Walzengelenk ausgebildetes Wechselgelenk und liefert nur einen geringeren Beitrag von etwa 45° zum Gesamtbewegungsumfang des Karpalgelenkes (NICKEL et al. 1992).

2.4.2.2.3 *Articulatio ossis carpi accessorii*

Dieses straffe Gelenk verbindet über sechs einzelne Gelenkfacetten (SCHNAPPER et al., 2002) das Os carpi accessorium fest mit der Ulna und dem Os carpi ulnare (NICKEL et al., 1992).

2.4.2.2.4 *Articulationes intercarpeae, Vorderfußwurzel-Zwischengelenke*

Die Articulationes intercarpeae sind die zwischen den einzelnen Karpalknochen derselben Reihe ausgebildeten straffen Gelenke mit nur sehr geringer Bewegungsmöglichkeit (NICKEL et al., 1992; KÖNIG und LIEBICH, 2001). WERNITZ (1987) quantifiziert den Bewegungsumfang auf etwa 10°.

2.4.2.2.5 *Articulationes carpometacarpeae, Vorderfußwurzel-Mittelfußgelenke*

Zwischen den Karpalknochen der distalen Reihe, Ossa carpalia primum bis quartum, und den Metakarpalknochen, Ossa carpalia primum bis quintum, ist ein straffes Gelenk nahezu ohne Beweglichkeit ausgebildet (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994; KÖNIG und LIEBICH, 2001).

2.4.2.3 *Articulationes intermetacarpeae, Mittelfußknochen-Zwischengelenke*

Es besteht nur eine geringe Beweglichkeit zwischen den Mittelfußknochen im Sinne einer geringen Verschiebbarkeit der Basen der einzelnen Metakarpalknochen zueinander (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994).

2.4.3 Gelenkkapsel, Capsula articularis

Die Gelenkkapsel des Karpalgelenkes besteht aus zwei getrennten, miteinander nicht kommunizierenden Abteilungen (VOLLMERHAUS et al., 1994).

Die proximale Abteilung umfasst die Articulatio antebrachioarpea, die Articulatio radioulnaris distalis und die Articulatio ossis carpi accessorii.

Die Articulatio mediocarpea, die Articulationes carpometacarpeae und die Articulationes intermetacarpeae werden von der distalen Abteilung umschlossen, deren Gelenkhöhle sehr eng ist (KÖNIG und LIEBICH, 2001).

Zwei dorsal gelegene Aussackungen der oberen Gelenkhöhle reichen proximal unter die Endsehnen der Karpalgelenksstrecker (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994).

2.4.4 Bandapparat

Sehr viele einzelne Bänder und Faszienv Verstärkungen bilden am Karpalgelenk eine funktionelle Einheit im Sinne eines Bandapparates (KÖNIG und LIEBICH, 2001).

2.4.4.1 *Bänder des Antebrachiums*

Radius und Ulna sind über die Membrana interossea antebrachii über ihre ganze Schaftlänge miteinander verbunden. Eine zusätzliche Verbindung stellt das Lig. interosseum antebrachii dar, das nach NICKEL et al. (1992) lateral der Membrana interossea und proximal der Unterarmmitte verläuft. VOLLMERHAUS et al. (1994) beschreiben es als bandartige Verstärkung der Membrana interossea antebrachii in etwa halber Höhe des Unterarms. Zwischen Trochlea radii und Processus styloideus ulnae verläuft ein nach HENSCHEL (1983) knorpelhartes und festes Band, das Lig. radioulnare distale. Es besitzt zusammen mit dem weiter unten beschriebenen Lig. radiocarpeum dorsale eine Anheftungsstelle an einem knöchernen sagittal verlaufenden Kamm zwischen dem Sulcus für den M. extensor carpi ulnaris und dem lateral davon gelegenen Sulcus für den M. extensor digitalis communis an der Kranialfläche der Trochlea radii. Das Band verläuft von dort lateral zum Processus styloideus ulnae.

2.4.4.2 *Bänder des Karpalgelenkes*

2.4.4.2.1 *Ligg. collateralia, Seitenbänder*

Das Lig. collaterale carpi laterale zieht vom Processus styloideus ulnae zum Os carpi ulnare. Das Lig. collaterale carpi mediale verläuft vom Processus styloideus radii zum Os carpi intermedioradiale. So überbrücken die Kollateralbänder beim Hund in der Regel nur das proximale Antebrachiokarpalgelenk (ZIETSCHMANN, 1943; NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994; KÖNIG und LIEBICH, 2001).

Nur manchmal ziehen Anteile des medialen Kollateralbandes weiter distal zum Os metacarpale primum (VOLLMERHAUS et al., 1994). Die Beschreibungen von EVANS (1993) für das mediale Kollateralband differieren leicht von den Beschreibungen anderer Autoren. Er beschreibt medial ein Lig. collaterale radiale breve, das aus einem geraden

Schenkel vom medialen Styloid zu Os carpi intermedioradiale und einem schrägen Schenkel vom Processus styloideus ulnae palmaromedial zum Os carpi intermedioradiale besteht. Die Sehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus liegt zwischen beiden Anteilen. Dieser kurze Schenkel dürfte dem lateralen Schenkel des weiter unten von anderen deutschsprachigen Autoren beschriebenen Lig. radiocarpeum palmare entsprechen.

2.4.4.2.2 *Ligg. antebrachioarpea, Unterarm-Fußwurzelbänder*

Dorsal gelegene Unterarm-Fußwurzelbänder:

Das **Lig. radiocarpeum dorsale** ist zusammen mit dem oben beschriebenen **Lig. radioulnare** an der der Kranialfläche der Trochlea radii verankert. Es verläuft von dem bereits oben beschriebenen knöchernen Längskamm zwischen den beiden lateralen Sehnenrinnen distal und lateral zur proximalen Dorsalfläche des Os carpi ulnare (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Palmar gelegene Unterarm-Fußwurzelbänder:

An der Palmarfläche des Antebrachiokarpgelenkes befindet sich eine kräftige plattenförmige Verdickung der Gelenkkapsel fibrosa, das Lig. carpi palmare profundum. Dessen derbe Fasern entspringen an der Crista transversa radii und enden an allen Karpal- und Metakarpalknochen. Innerhalb dieser Platte verlaufen das Lig. radiocarpeum palmare, das Lig. ulnocarpeum palmare und das Lig. carpi radiatum (NICKEL et al., 1992). Diese einzelnen Anteile sind nur schwer zu unterscheiden.

Das **Lig. radiocarpeum palmare** verläuft zwischen der Crista transversa radii und dem Os carpi intermedioradiale.

Das **Ligamentum ulnocarpeum palmare** verbindet den Processus styloideus ulnae mit dem Os carpi intermedioradiale (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Der genaue Verlauf des **Lig. carpi radiatum** wird von NICKEL (1992); EVANS (1994) und VOLLMERHAUS (1994) nicht angegeben.

KOCH und BERG (1992) bezeichnen das Lig. carpi radiatum als Verstärkung der Gelenkkapsel fibroelastika. Sie geben seinen Verlauf vom Os carpi radiale zum Os carpale secundum und tertium an. Für das Lig. radiocarpeum geben sie den gleichen Verlauf an wie NICKEL et al. (1992) und VOLLMERHAUS et al. (1994). Das Lig. ulnocarpeum palmare verläuft nach KOCH und BERG (1992) vom Os carpi ulnare zum Os carpale tertium und quartum.

EVANS (1993) nennt die palmare plattenartige Verstärkung der Gelenkkapsel fibrosa Fibrocartilago carpometacarpeum palmare. Sie heftet an allen beteiligten Knochen außer am Os carpi accessorium an und dient den meisten kurzen Zehen- und Zwischenzehnmuskeln als Ursprung. Ihre palmar glatte Struktur begründet die palmare Knochenoberfläche und bildet in der Tiefe des Karpalgelenkstunnels eine Gleitfläche (EVANS, 1993). Nach Zeichnungen von ZIETSCHMANN (1943) und EVANS (1993) verläuft ein Lig. carpometacarpeum palmare vom Os carpi intermedioradiale über das Os carpale tertium zum Os metacarpale secundum.

Zusammenfassend besteht eine weitgehender Konsens über die Existenz einer palmaren gelenkkapselassoziierten Faserplatte, die alle Gelenkspalten palmar überbrückt. Sie wird als Lig. carpi palmare profundum oder Fibrocartilago carpometacarpeum palmare bezeichnet. Bestandteile davon sind das Lig. radiocarpeum und ulnocarpeum palmare, über deren Verlauf palmar des Antebrachiokarpgelenkes sich die meisten Autoren einig sind. Das Lig. carpi radiatum und das Lig. carpometacarpeum palmare sind ebenfalls Bestandteile dieser palmaren gelenkkapselassoziierten Faserplatte. Über den genauen Verlauf einzelner Bandzüge ihrer Binnenstruktur und deren Bezeichnungen besteht nicht immer Einigkeit. Da die Fibrocartilago carpometacarpea distal bis zu den Metakarpalia reicht, könnten ihre distalen Anteile wohl auch zu den Ligg. carpometacarpea palmaria gerechnet werden.

2.4.4.2.3 *Ligg. ossis carpi accessorii, Bänder des Erbsenbeins*

Das Os carpi accessorium dient als Ansatz für die Beugemuskeln des Karpalgelenkes. Es wird beim Hund von drei Bändern in seiner Lage gehalten. Zwei dieser Bänder sind zweiseitenlig.

Das Lig. accessorioulnare zieht von der Basis des Os carpi accessorium an seiner Medialseite proximal, strahlt in das Lig. ulnocarpeum palmare ein und ist damit indirekt am Proc. styloideus ulnae angeheftet

Direkt distal davon verbindet der mediopalmare Anteil des zweiseitenkligen Lig. accessoriocarpoulnare in medialer Verlaufsrichtung das Erbsenbein mit dem Lig. ulnocarpeum palmare.

Der laterodorsale Anteil des Lig. accessoriocarpoulnare verkehrt zwischen der Basis des Os carpi accessorium und dem Os carpi ulnare an der Außenseite kaudal des lateralen Seitenbandes (KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Das Lig. accessoriometacarpeum ist zweiseitenlig. Es verbindet den Höcker des palmar gerichteten Fortsatzes des Os carpi accessorium als Lig. accessoriometacarpeum mediale (IV) mit der palmaren Fläche der Basis des Os metacarpale quartum und als Lig. accessoriometacarpeum laterale (V) mit der des Os metacarpale quintum (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994).

2.4.4.2.4 *Ligg. intercarpea, Fußwurzel- oder Interkarpalbänder*

Die Ligg. intercarpea verbinden einzelne Gelenkspalten innerhalb des Karpus. Nach ihrer Lage können sie in dorsale, palmare und innere Interkarpalbänder unterteilt werden. Sie überbrücken die Vorderfußwurzel-Mittelgelenke und die Vorderfußwurzel-Zwischengelenke (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Die dorsalen Fußwurzelbänder, Ligamenta intercarpea dorsalia können in folgende Einzelbänder unterteilt werden:

Die Art. intercarpea der proximalen Karpalgelenksreihe wird von einem querverlaufenden Band überbrückt, welches die Dorsalfläche des Os carpi intermedioradiale mit der des Os carpi ulnare verbindet (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994). Vom Os carpi intermedioradiale verlaufen drei distal divergierende Bandzüge über die Artt. mediocarpea dorsal hinweg und sind jeweils am Os carpale secundum, tertium und quartum verankert. Das Os carpi ulnare und das Os carpale quartum werden dorsal von einem kurzen Band zusammengehalten, das die zwischen den beiden gelegene Art. mediocarpea in Längsrichtung der Gliedmassenachse überbrückt (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994). Die zwei interkarpalen Gelenkspalten der distalen Karpalgelenksreihe zwischen den Ossa carpalia secundum, tertium et quartum werden an der Dorsalfläche von zwei Bändern überspannt. Das kurze quer verlaufende Lig. intercarpeum palmare, palmares Fußwurzelband, zieht an der Beugeseite vom Os carpi intermedioradiale zum Os carpi ulnare. Es verläuft distal und parallel zum Lig. accessoriocarpoulnare (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Die Ligg. intercarpea interossea, innere Fußwurzelbänder, sind kräftige, kurze Fasern, die als Innenbänder die einander zugekehrten Flächen benachbarter Karpalknochen miteinander (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994; KÖNIG und LIEBICH, 2001).

2.4.4.2.5 *Ligg. carpometacarpea, Fußwurzel-Mittelfußbänder*

Die Ligg. carpometacarpea werden nach ihrer Lage in dorsale und palmare Fußwurzelbänder eingeteilt (KOCH und BERG, 1992; NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994):

Die Ligg. carpometacarpea dorsalia, die dorsalen Fußwurzel-Mittelfußbänder, überbrücken die Art. carpometacarpeae und bestehen aus drei Einzelbändern. Zwei dieser Bänder sind gemeinsam an der Dorsalfläche des Os carpale tertium angeheftet und ziehen divergierend distal an die Basis des Os metacarpale tertium und quartum. Das Os carpale quartum und die Basis des Os metacarpale quintum werden dorsal von einem dritten Band zusammengehalten (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Ein Lig. carpometacarpeum palmare verläuft Zeichnungen von ZIETSCHMANN (1943) und EVANS (1993) zu Folge vom Os carpi intermedioradiale über das Os carpale tertium zum Os metacarpale secundum.

Da die Fibrocartilago carpometacarpeum palmare respektive das Lig. carpi palmare profundum alle Gelenkspalten palmar überbrückt, dürften deren distalen Anteile wohl auch den karpometakarpalen Bändern zuzuordnen zu sein. Diese Bandplatte setzt palmar mit Ausnahme des Os carpi accessorium an allen Karpal- und Metakarpalknochen an.

2.4.4.2.6 Ligg. metacarpea, Mittelfußbänder

Die jeweils benachbarten Metakarpalknochen sind an ihrer Basis über die Artt. intermetacarpeae noch recht beweglich über einzeln nicht näher beschriebene Bandmassen, die Ligg. metacarpea, miteinander verbunden (NICKEL et al., 1992; EVANS, 1993; VOLLMERHAUS et al., 1994).

2.4.5 Muskulatur am Karpalgelenk

2.4.5.1 Muskeln des Vorderfußwurzelgelenkes

Die Muskeln des Karpalgelenkes werden nach ihrer Funktion in Beuger und Strecker unterteilt:

Der **M. extensor carpi radialis**, äußerer Speichenmuskel, entspringt an der Crista supracondylaris lateralis des Humerus. Sein einheitlicher an der Kranialfäche des Radius gelegener Muskelbauch teilt sich am Übergang vom mittleren zum distalen Schaftdrittel in zwei Endsehnen auf, die die phylogenetische Verschmelzung eines M. extensor carpi radialis longus und M. extensor carpi radialis brevis erkennen lassen. In engem Kontakt durchlaufen beide die mittlere Sehnenrinne der Trochlea radii und überqueren die Streckseite des Karpus, um dorsal an der Basis der Ossa metacarpalia secundum und tertium ihren Ansatz zu finden. Beide Endsehnen des M. extensor carpi radialis werden nach HERMANSON und EVANS (1993) oft und nach SEIFERLE und FREWEIN (1992) bei etwa 50% der untersuchten Hunde in einer gemeinsamen Sehnnenscheide eingeschlossen. Bandartige querverlaufende Faserzüge als Verstärkung der Faszie halten die Sehnen in situ. Der lateralen oder beiden Endsehnen können auf Höhe der proximalen Karpalknochen ein Schleimbeutel unterlagert sein (KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Vom N. radialis innerviert ist der M. extensor carpi radialis der wichtigste Karpalgelenksstrecker (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. extensor carpi ulnaris**, äußerer Ellbogenmuskel, hat seinen Ursprung am Epicondylus lateralis humeri direkt kaudal des lateralen Kollateralbandes des Ellbogengelenkes. Sein Muskelbauch ist an der Lateralfäche der Ulna gelegen und geht zwischen dem mittleren und distalen Drittel des Unterarms in die Endsehne über. Diese verläuft lateral am Karpus und endet proximal und lateral an der Basis des Os metacarpale quintum. Zwei schwache, von der Endsehne abgespaltete, Faserzüge verlaufen in dorsaler

sowie in palmarer Richtung und strahlen in das Retinaculum extensorum respektive flexorum ein. Der palmare Abzweig zieht dabei an der Lateralfläche des Os carpi accessorium über einen Schleimbeutel hinweg auf die Beugeseite des Karpalgelenkes ins Retinaculum flexorum (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Der M. extensor carpi ulnaris wird vom N. radialis innerviert. Aufgrund seines Ansatzes kaudal vom Drehpunkt des Gelenkes ist der M. extensor carpi ulnaris beim Hund funktionell ein Beugers und Abduktor des Karpalgelenkes (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. flexor carpi radialis**, innerer Speichenmuskel, entspringt am Epicondylus medialis humeri und liegt mit seinem Muskelbauch direkt kaudal der medialen Kontur des Radius. Bereits in der Mitte des Unterarmes geht er in seine von einer Sehnenscheide umschlossene flache Endsehne über. Diese zieht durch den Karpaltunnel, Sulcus carpi, über die Beugeseite des Karpalgelenkes hinweg, spaltet sich in zwei Äste auf und inseriert palmar an der Basis der Ossa metacarpalia secundum und tertium. Der N. medianus innerviert den als Beuger des Karpalgelenkes fungierenden M. flexor carpi radialis (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. flexor carpi ulnaris**, innerer Ellbogenmuskel, besteht aus zwei Anteilen: Das Caput ulnare entspringt mediokaudal am Olekranon, das Caput humerale am Epikondylus medialis humeri. Beide Muskelbäuche liegen kaudolateral am Unterarm und setzen jeweils isoliert proximal am palmaren Fortsatz des Os carpi accessorium an (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Das Caput humerale kommt beim Ansatz kaudal vom Caput ulnare zu liegen. Proximal vom Os carpi accessorium ist zwischen beide Endsehnen des M. flexor carpi ulnaris ein Schleimbeutel eingelagert, der mit einem weiteren subfaszialen Schleimbeutel kaudal am palmaren Höcker des Os carpi accessorium in Verbindung stehen kann. Innerviert durch den N. ulnaris wirkt der M. flexor carpi radialis überwiegend als Beuger und nur in geringem Maße auch als Supinator des Karpalgelenkes (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993).

2.4.5.2 Muskeln der Vorderzehen

Diese Muskeln kommen hier zur Erwähnung, da sehr viele von ihnen über das Karpalgelenk hinwegziehen. Sie können nach ihrem Verlauf in lange und kurze Zehenmuskeln sowie ihrer Funktion nach in Flexoren, Extensoren, Adduktoren und Abduktoren der Zehen unterteilt werden. Die Abduktion und Adduktion einzelner Zehen hat beim Hund funktionell gesehen nahezu keine Bedeutung. Diese Muskeln sind schwach entwickelt und die Zehen des Hundes sind fest und wenig aktiv ad- oder abduzierbar miteinander verbunden (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

2.4.5.2.1 Lange Zehenmuskeln

Die langen Zehenmuskeln sind mehrgelenkige Muskeln. Ihre Muskelbäuche sind am Unterarm gelegen und ihre Endsehnen ziehen über den Karpus distal zu den Phalangen.

Die **langen Zehenstrecker** liegen kraniallateral am Unterarm und ziehen dorsal über den Karpus hinweg zu den Metakarpalknochen und den Phalangen (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. extensor digitorum (digitalis) communis**, gemeinsamer Zehenstrecker, mit seinem Ursprung am Epikondylus lateralis humeri ist kranial lateral am Unterarm zwischen M. extensor carpi radialis und M. extensor digitorum (digitalis) lateralis gelegen. In etwa der Mitte des Unterarms teilt er sich in vier eng benachbarte Muskelbäuche und deren Endsehnen auf, die an der kranial lateralen Fläche des Radius in einer gemeinsamen Sehnenscheide vereint sind. Über den M. abductor digiti I (pollicis) longus hinweg, die laterale Sehnenscheide der Trochlea radii passierend, überquert er die Dorsalfläche des Karpalgelenkes zwischen Os carpale tertium und Os carpale quartum. Das Retinaculum extensorum hält ihn dabei in seiner Lage. An der Basis des Metakarpus divergieren die vier Endsehnen, verlaufen über die Dorsalfläche des Metakarpus und der Zehen distal und finden an den Krallenbeinen der zweiten bis vierten Zehe ihren Ansatz (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. extensor digitorum (digitalis) lateralis**, seitlicher Zehenstrecker, besteht aus zwei eng miteinander verbundenen Muskelbäuchen, die kaudal des gemeinsamen Zehenstreckers und kranial des M. extensor carpi ulnaris kranial lateral am Unterarm lokalisiert sind (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Ihren gemeinsamen Ursprung nehmen sie am lateralen Kollateralband des Ellbogens und am seitlichen Bandhöcker des Radius. Der Übergang in ihre Endsehnen vollzieht sich bereits am proximalen Unterarmdrittel. Dabei liegen beide eng benachbarten Endsehnen in ihrem Verlauf dorsolateral über den Karpus hinweg nach HERMANSON und EVANS (1993) gewöhnlich, nach SEIFERLE und FREWEIN (1992) bei etwa der Hälfte der untersuchten Hunde in einer gemeinsamen Sehnenscheide. Die laterale der beiden Sehnen ist kräftiger und zieht dorsal über den fünften Metakarpalknochen und verbindet sich im Bereich des Ansatzes an der Phalanx proximalis der fünften Zehe mit dem entsprechenden Ast des M. extensor digitorum (digitalis) communis. Die mediale schwächere Sehne gabelt sich distal vom Karpus, zieht unter den gemeinsamen Strecksehnen hindurch, verbindet sich mit ihnen und den entsprechenden Unterstützungsästen der Mm. interossei und inseriert schließlich an den proximalen Phalangen der dritten und vierten Zehe (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der filigrane **M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis)**, besonderer Strecker der ersten und zweiten Zehe, entspringt zusammen mit dem M. abductor digiti I (pollicis) longus auf etwa halber Höhe kranial lateral am Ulnaschaft. In der Tiefe gelegen verläuft er lateral vom M. abductor digiti I (pollicis) longus in der Rinne zwischen Radius und Ulna distal und wird dabei vom M. extensor carpi ulnaris und den beiden langen Zehenstreckern, M. extensor digitorum (digitalis) communis et lateralis, bedeckt. Seine Sehne wird im Verlauf über die Streckseite des Karpus von der Sehnenscheide des M. extensor digitorum (digitalis) communis eingeschlossen. Dabei zieht sie unter dem gemeinsamen Zehenstrecker hinweg medial und spaltet sich dorsal des zweiten Metakarpalknochens in zwei einzelne Endsehnen auf. Der mediale Abzweig findet distal am Os metacarpale primum Anheftung. Der laterale Ast verschmilzt mit dem für die zweite Zehe bestimmten Schenkel des gemeinsamen Zehenstreckers. In einigen Fällen existiert eine weitere Abspaltung der Endsehne für den dritten Strahl (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. abductor digiti I (pollicis) longus**, langer Auswärtszieher des Daumens, entspringt etwa in der Unterarmmitte großflächig lateral an Radius, Ulna und Membrana interossea. Tief in der Rinne zwischen Radius und Ulna verläuft er distal und biegt unter den langen Zehenstreckern hindurch medial ab. Im weiteren Verlauf überquert er die Endsehne des M. extensor carpi radialis, verjüngt sich zunehmend bis zur Endsehne, zieht, gehüllt in eine Sehnenscheide, durch die mediale Sehnenscheide der Trochlea radii und unterkreuzt das mediale Kollateralband des Antebrachiokarpalgelenkes bevor er medial am Schaft des Os

metacarpale primum inseriert. Ein kleines kugeliges Sesambein ist medial vom Os carpi intermedioradiale in seine Endsehne eingelagert. In vielen Fällen existiert ein zusätzlicher Schleimbeutel zwischen M. abductor digiti I (pollicis) longus und dem M. extensor carpi radialis. Die Innervation des M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis) und des M. abductor digiti I (pollicis) longus erfolgt durch Äste des N. radialis (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Die **langen Zehenbeuger** liegen kaudomedial am Unterarm und ziehen palmar über den Karpus hinweg zu den Phalangen.

Der **M. flexor digitorum (digitalis) superficialis**, oberflächlicher Zehenbeuger, ist oberflächlich mediokaudal am Unterarm gelegen und hat seinen Ursprung am Epicondylus medialis humeri. Er geht proximal vom Vorderfußwurzelgelenk in seine Endsehne, die **oberflächliche Beugesehne**, über. Diese verläuft medial vom Os carpi accessorium palmar über die Beugeseite des Karpalgelenkes hinweg. Dabei kann zwischen Erbsenbein und oberflächlicher Beugesehne nach FREWEIN und SEIFERLE (1992) ein Schleimbeutel eingelagert sein, eine Sehnenscheide ist nicht ausgebildet. Im oberen Drittel des Metakarpus teilt sich die oberflächliche Beugesehne in vier einzelne Äste auf, die jeweils proximal an der Palmarseite der Phalanx media ihren Ansatz finden. An den Insertionsstellen bilden die einzelnen Schenkel röhrenartige Manschetten, die den Endsehnen des M. flexor digitorum (digitalis) profundus Durchtritt gewähren. Vom Zehengrundgelenk an ist jeder Endsehnenast bis zu seinem Ansatz von einer eigenen Sehnenscheide umschlossen und jeweils drei Ringbänder im Bereich des Zehengrundgelenkes, der Phalanx proximalis und der Phalanx media halten die einzelnen Sehnenschenkel in ihrer Lage (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Der N. ulnaris innerviert den oberflächlichen Zehenbeuger (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. flexor digitorum (digitalis) profundus**, tiefer Zehenbeuger, besteht aus drei einzelnen Anteilen, einem Caput humerale, radiale und ulnare. Die drei Muskelbäuche liegen mediopalmar am Unterarm in der Tiefe, überwiegend bedeckt vom oberflächlichen Zehenbeuger und sie verschmelzen proximal vom Karpus zu einer gemeinsamen Sehne, der **tiefen Beugesehne** (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der kräftige Humeruskopf, Caput humerale, entspringt am Epicondylus medialis humeri, der Radiuskopf, Caput radiale, entspringt als schwächster der drei Anteile proximal am kaudalen und medialen Rand des Radius und der Ulnakopf, Caput ulnae, hat seinen Ursprung an der kaudalen Kontur der Ulna, proximal am Olekranon bis zum unteren Schaftviertel. Oberhalb des Karpalgelenkes verschmelzen die drei Anteile zu einer einzigen abgeplatteten, kaudal leicht konkav ausgebildeten Hauptsehne, die palmar zwischen Lig. carpi radiatum und Retinaculum flexorum medial vom Os carpi accessorium durch den Karpalgelenkstunnel zieht. Dabei ist sie durch einen Schleimbeutel vor direkten Kontakt zum Lig. carpi radiatum geschützt (FREWEIN, 1994). Unterhalb des Karpalgelenkes gibt sie einen Seitenast an die erste Zehe ab und teilt sich danach in vier weitere Schenkel, die jeweils ans Tuberculum flexorium des Krallenbeins der Phalanx secundum bis quintum ziehen. Auf Höhe der Zehengrundgelenke treten die einzelnen Endsehnenäste der tiefen Beugesehne durch röhrenartige Manschetten der oberflächlichen Beugesehne hindurch. Im Bereich der zweiten bis vierten Zehe umhüllt eine gemeinsame digitale Sehnenscheide die jeweiligen Anteile der oberflächlichen und tiefen Beugesehne. Der zur ersten Zehe ziehende Anteil der tiefen Beugesehne besitzt eine eigene Sehnenscheide. Die drei bei der Darstellung des M. flexor digitorum (digitalis) superficialis bereits beschriebenen Ringbänder halten auch die tiefen Beugesehnenzweige der Stützzehen in ihrer Lage (SEIFERLE und FREWEIN, 1992;

FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Der N. ulnaris und der N. medianus innervieren den tiefen Zehenbeuger (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **M. interflexorius distalis**, unterer Zwischenbeugemuskel, liegt zwischen oberflächlichem und tiefem Zehenbeuger (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Er entspringt auf Höhe des distalen Unterarmviertels kaudal aus dem lateralen Bauch des Caput humerale des M. flexor digitorum (digitalis) profundus und zieht zwischen den Zehenbeugern distal. Er ist im Querschnitt rundlich und bekommt auf Höhe des Karpalgelenkes bei seinem Durchtritt durch das Retinaculum extensorum zusammen mit dem tiefen Zehenbeuger einen sehnenartigen Charakter. Nach Aufspaltung in (zwei bis) drei Schenkel verschmilzt er proximal der Zehengrundgelenke mit den Ästen des oberflächlichen Zehenbeugers für die zweite, dritte und vierte Zehe (GRAU, 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993). Die Innervation des M. interflexorius erfolgt durch den N. medianus (FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993).

2.4.5.2.2 Kurze Zehenmuskeln

Aufgrund ihrer topographischen Nähe zum Karpus werden auch sie an dieser Stelle erwähnt. Die kurzen Zehenmuskeln liegen im Bereich des Metakarpus und der Zehen und werden in gemeinsame und besondere kurze Zehenmuskeln eingeteilt. Ihre Innervation erfolgt durch den N. ulnaris und den N. medianus (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; HERMANSON und EVANS, 1993).

Die **gemeinsamen kurzen Zehenmuskeln** dienen der Bewegung mehrerer Strahlen.

Vier **Mm. interossei**, Zwischenknochenmuskeln, entspringen jeweils proximal an der Basis der Ossa metacarpalia secundum bis quintum und liegen unter den Beugesehnen mit ihren Muskelbäuchen den Vordermittelfußknochen direkt palmar auf. Jeder einzelne M. interosseus teilt sich in zwei Muskelbäuche, deren Endsehnen jeweils an die palmaren paarigen Sesambeine der Zehengrundgelenke ziehen. Zu den dorsal gelegenen Endsehnen des gemeinsamen Zehnstreckers entlässt jeder Schenkel der Mm. interossei einen dünnen Unterstützungsast. Dieser windet sich beiderseits um die proximalen Phalangen secundum bis quintum von palmar aus dorsal (GRAU, 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

An der Aufteilung der tiefen Beugesehne in ihre Endschenkel entspringen aponeurotisch drei sehr dünne **Mm. lumbricales**, wurmförmige Muskeln (GRAU, 1943; ZIETSCHMANN 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993). Diese verlaufen zusammen mit den für die dritte bis fünfte Zehe bestimmten Sehnen der tiefen Beugesehne und inserieren zwischen den paarigen, palmaren Sesambeinen am quer verlaufenden Lig. palmare oder verlieren sich in diesem Bereich.

Der **M. flexor digitalis brevis**, kurzer Zehenbeuger, entspringt distal vom Karpalgelenk lateral aus der oberflächlichen Beugesehne, verläuft parallel dazu und setzt am proximalen Ringband der fünften Zehe an. (GRAU, 1943; ZIETSCHMANN, 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Die **besonderen kurzen Zehenmuskeln** dienen der Bewegung einzelner Zehen.

Die **drei Sondermuskeln der ersten Zehe** liegen einander benachbart palmar und medial am Karpus und im Bereich der Phalanx proximalis der ersten Zehe. Ihr Faserverlauf ist distal und leicht medial gerichtet. Ihre Funktion ist jeweils ihrem Namen zu entnehmen.

Der **M. flexor digiti I (pollicis) brevis**, kurzer Beuger der ersten Zehe, hat seinen Ursprung am Lig. carpi radiatum (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994). Nach HERMANSON und EVANS (1993) entspringt er am Retinaculum flexorum. Sein Ansatz ist an der Phalanx proximalis oder am medial gelegenen Sesambein. Er wird medial vom Abduktor und lateral vom Adduktor der ersten Zehe flankiert.

Der **M. abductor digiti I (pollicis) brevis**, kurzer Abzieher der ersten Zehe, ist beim Hund ein filigraner Muskel, der an einer Bindegewebsbrücke zwischen dem Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus und der oberflächlichen Beugesehne entspringt und medial an der Phalanx proximalis sowie am Zehengrundgelenk der ersten Zehe inseriert (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993; FREWEIN, 1994). Er ist von den drei Sondermuskeln der ersten Zehe am weitesten medial und proximal gelegen.

Der **M. adductor digiti I (pollicis)**, Heranzieher der ersten Zehe, entspringt als kräftigster der drei Sondermuskeln der ersten Zehe am Lig. carpi radiatum (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994). HERMANSON und EVANS (1993) geben das Retinaculum flexorum als Ursprungsort an. Er inseriert lateral an der Phalanx proximalis und ist direkt lateral des M. flexor digiti I (pollicis) brevis und medial des M. interosseus der zweiten Zehe gelegen (GRAU, 1943; ZIETSCHMANN, 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994) HERMANSON und EVANS, 1993).

Der **Sondermuskel für die zweite Zehe**, der **M. adductor digiti II**, entspringt nach SEIFERLE und FREWEIN (1992) sowie nach FREWEIN (1994) zwischen dem M. interosseus II und dem M. adductor digiti V palmar am Lig. carpi radiatum. Nach HERMANSON und EVANS (1993) ist das Retinaculum flexorum sein Ursprungsort. Er verläuft distal leicht medial gerichtet zwischen den Mm. interossei II und III und inseriert medial an der Phalanx proximalis der zweiten Zehe (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Die **Sondermuskeln für die fünfte Zehe** sind der M. flexor, M. adductor und der M. abductor digiti V.

Der kurze **M. flexor digiti V** erstreckt sich vom medialen Schenkel des Lig. accessorio-metacarpeum distal und lateral über den M. interosseus IV hinweg und vereinigt sich mit der Sehne des M. abductor digiti V. Beide setzen dann gemeinsam an der Phalanx proximalis und dem lateralen Sesambein der fünften Zehe an (GRAU, 1943; ZIETSCHMANN 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

Der kräftige **M. adductor digiti V** hat seinen Ursprung nach FREWEIN (1994) am Lig. carpi radiatum lateral vom M. adductor digiti II. Nach KOCH und BERG (1992) entspringt er am Lig. carpi palmare profundum und nach HERMANSON und EVANS (1993) am Retinaculum flexorum. Er verläuft leicht lateral gerichtet über die Mm. interossei III und IV hinweg distal und findet medial an Os metacarpale V sowie an der Phalanx proximalis der fünften Zehe seinen Ansatz.

Der **M. abductor digiti V** liegt lateropalmar subkutan am Karpus und ist der stärkste der drei Sondermuskeln der fünften Zehe. Er hat seinen Ursprung am Os carpi accessorium und verjüngt sich distal in seine Endsehne die mit der des M. flexor digiti V verschmilzt um gemeinsam an der Phalanx proximalis und dem lateralen Sesambein der fünften Zehe zu inserieren (GRAU, 1943; ZIETSCHMANN, 1943; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1992; HERMANSON und EVANS, 1993).

2.4.6 Hilfseinrichtungen der Muskeln

Zu den Hilfseinrichtungen der Muskeln gehören Faszien, Sehnenscheiden und Schleimbeutel (SEIFERLE und FREWEIN, 1992).

2.4.6.1 Faszien

Faszien oder Muskelbinden sind straffe Bindegewebshäute aus kollagenen und elastischen Fasern. Sie umschließen einzelne Muskeln und Muskelgruppen, dienen ihnen als Ansatz oder können als Haltebänder fungieren. Die gesamte Körperoberfläche ist von Faszien umhüllt. Die äußeren Körperfaszien werden in oberflächliche und tiefe Körperfaszien unterteilt (SEIFERLE und FREWEIN, 1992). Die Faszien der Schultergliedmaße gehen aus der Hals- und Rumpffaszie hervor. Distal an den Gliedmaßen verschmelzen dabei die oberflächliche und tiefe Faszie beim Fleischfresser. Im Bereich des Unterarmes ist eine sehr kräftige Fascia antebrachii ausgebildet und fest mit dem Periost am medialen Rand des Radius und dem kaudalen Rand der Ulna verwachsen. Sie bildet auf diese Weise Muskellogen die zum Teil durch Septen weiter unterteilt sind. Dorsal und palmar am Karpus halten Faszienv Verstärkungen, sogenannte Retinacula, die Sehnen in ihrer Lage. Sie verhindern ein seitliches Abgleiten bei voller Bewegungsmöglichkeit in Längsrichtung. Dorsal am Karpus ist das Retinaculum extensorum als eine Verstärkung der Fascia antebrachii ausgebildet (SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994). NICKEL et al. (1992) bezeichnen das Retinaculum extensorum als eine bindegewebige Fibrosaverstärkung der Gelenkkapsel, die in die Sehnenscheidenfibrosa der Extensoren einstrahlt. Die Fascia palmaris und dorsalis manus bildet die distale Fortsetzung der Unterarmfaszie. Das Retinaculum flexorum als Verstärkung der Fascia palmaris zieht vom Os carpi accessorium über den Sulcus carpi zur medialen Kante des Karpus und bildet den Karpaltunnel, Canalis carpi (NICKEL et al., 1992; SEIFERLE und FREWEIN, 1992; FREWEIN, 1994). Nach VOLLMERHAUS et al. (1994) ziehen alle Beugesehnen durch den Karpaltunnel. Laut FREWEIN (1994) trennt das Retinaculum flexorum tiefe und oberflächliche Beugesehne, so dass die oberflächliche Beugesehne außerhalb vom Canalis carpi gelegen ist.

2.4.6.2 Schleimbeutel

Schleimbeutel oder Bursae synoviales sind synoviagefüllte, kissenartige Schutzvorrichtungen, die den Sehnen an besonders druckbelasteten Stellen unterlagert sind. Schleimbeutel sind im Aufbau mit einer äußeren Membrana fibrosa und einer inneren Membrana synovialis der Gelenkkapsel sehr ähnlich. Einige konstante Schleimbeutel sind schon bei der Geburt vorhanden, andere werden aufgrund mechanischer Beanspruchung erworben. Hierbei sind besonders exponierte und mechanischen Druckbelastungen ausgesetzte Körperstellen prädisponiert. Je nach Lage unterscheidet man submuskulöse, subtendinöse, subligamentöse und subkutane Schleimbeutel. Subkutane Schleimbeutel können auch unter der Fascia superficialis, gelegen sein. Subfasziale Schleimbeutel liegen unter der tiefen Faszie (SEIFERLE und FREWEIN, 1992).

2.4.6.3 Sehnenscheiden

Sehnenscheiden, Vaginae synoviales tendinum, sind schlauchartige Umhüllungen von Sehnen an besonders druckbelasteten Stellen. Sie gleichen im Wandaufbau und in ihrer Funktion als Gleitschutz der Sehne den Schleimbeuteln. Eine Sehnenscheide ist gefüllt mit Synovia und umhüllt die gesamte Sehne ringsherum. Die Membrana synovialis unterteilt sich in ein der Sehne direkt aufliegendes Viszeralblatt und ein äußeres Parietalblatt. Zwischen beiden ist das gekröseartige Mesotendineum ausgebildet, das als Verbindung zwischen Sehnenscheide und

Sehne Blutgefäße und Nerven enthält. Das Mesotendineum kann bis auf spangenförmige Reste, sogenannte Vincula tendinum, zurückgebildet sein.

Tabelle 10: Sehnenscheiden und Schleimbeutel am Karpus, tabellarisch nach NICKEL et al. (1992), SEIFERLE und FREWEIN, (1992); KOCH und BERG, (1992); FREWEIN (1994); VOLLMERHAUS et al. (1994); HERMANSON und EVANS, (1993).

Sehnenscheiden am Karpus		
Muskel	Endsehnen und Sehnenscheide	Lokalisation am Karpus
M. extensor carpi radialis	zwei Endsehnen, bei etwa der Hälfte der untersuchten Hunde in einer gemeinsamen Sehnenscheide	dorsal, mittlere Sehnenrinne der Trochlea radii
M. flexor carpi radialis	zwei Endsehnen in gemeinsamer Sehnenscheide	Karpaltunnel
M. extensor digitorum (digitalis) communis	vier eng benachbarte Muskelbäuche und deren Endsehnen in einer gemeinsamen Sehnenscheide	dorsal, laterale Sehnenrinne der Trochlea radii
M. extensor digitorum (digitalis) lateralis	zwei eng benachbarten Endsehnen, bei etwa der Hälfte der untersuchten Hunde in einer gemeinsamen Sehnenscheide	dorsolateral
M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis)	von der Sehnenscheide des M. extensor digitalis communis eingeschlossen	dorsal
M. abductor digiti I (pollicis) longus	eigene Sehnenscheide, kleines kugeliges Sesambein in der Endsehne	dorsal, mediale Sehnenrinne der Trochlea radii
angeborene Schleimbeutel am Karpus		
Muskel	Sehne	Lage und Lokalisation am Karpus
M. flexor digitorum (digitalis) profundus	tiefe Beugesehne	subtendinös, im Karpalgelenkstunnel zwischen tiefer Beugesehne und Lig. carpi radiatum
M. extensor carpi ulnaris	palmarer Abzweig der Endsehne	subtendinös, an der Lateralfäche des Os carpi accessorium
M. flexor carpi ulnaris	Endsehnen des Caput humerale und ulnare	subtendinös, am Os carpi accessorium, zwischen den Ansatzsehnen des M. flexor carpi ulnaris
fakultativ erworbene Schleimbeutel am Karpus		
Lage	Lokalisation	
subkutan	Proc. styloideus ulnae	
subkutan	Os carpi accessorium	
subfaszial	palmar des Os carpi accessorium (evtl. in Verbindung mit dem subtendinösen angeborenen Schleimbeutel zwischen den Ansatzsehnen des M. flexor carpi ulnaris am Os carpi accessorium)	
subtendinös	zwischen den Endsehnen des M. abductor digiti I (pollicis) longus und M. extensor carpi radialis	
subtendinös	zwischen Os carpi accessorium und oberflächlicher Beugesehne des M. flexor digitorum (digitalis) superficialis	
subtendinös	unter der lateralen oder unter beiden Endsehnen des M. extensor carpi ulnaris auf Höhe der proximalen Karpalreihe	

2.4.7 Blutgefäße am Karpus

2.4.7.1 Arterien am Karpus

Die aus der A. subclavia stammende A. axillaris versorgt die Schultergliedmaße mit arteriellem Blut. Sie zieht aus der Apertura thoracis zwischen Brustwand und Vordergliedmaße zur Schultergelenksbeuge. Nach Abgabe einiger Äste für die proximalen Gliedmaßenanteile setzt sie ihren Verlauf medial vom Humerus als A. brachialis fort. Aus ihr entspringen alle weiteren arteriellen Gefäße für die distalen Gliedmaßenanteile (ZIETSCHMANN, 1943; WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994)

2.4.7.1.1 A. antebrachialis superficialis cranialis

Die A. antebrachialis superficialis cranialis ist die Fortsetzung der A. brachialis superficialis, die ihrerseits der A. brachialis entstammt. Proximal am Unterarm teilt sie sich in einen Ramus medialis und lateralis. Beide Äste verlaufen oberflächlich, kranial vom Radius, jeweils zusammen mit dem Ramus medialis bzw. lateralis des Ramus superficialis des Nervus radialis und flankieren dabei die V. cephalica seitlich.

Der kräftige Ramus lateralis verläuft über die Dorsalfläche des Karpus und teilt sich am Metakarpus in die Aa. digitales dorsales communes II bis IV. Der schwächere Ramus medialis wird nach dorsomedialer Überquerung des Karpus zur A. digitalis dorsalis communis (WILKENS und MÜNSTER, 1984; KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.1.2 Aa. interossee

Die der A. brachialis entstammende A. interossea communis teilt sich in die kranial und kaudal vom Spatium interosseum am Unterarm verlaufende, kräftige A. interossea caudalis und schwache A. interossea cranialis (ZIETSCHMANN, 1943; WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994). Oberhalb der Trochlea radii verbindet der Ramus interosseus durch das Spatium interosseum beide Gefäße. Die A. interossea cranialis zieht dann als Ramus carpeus dorsalis lateral über die Streckseite des Karpus und verzweigt sich im Rete carpi dorsale. In einigen Fällen kann die A. interossea cranialis fehlen. Dann versorgt der Ramus interosseus den Ramus carpeus dorsalis aus der A. interossea caudalis (WILKENS und MÜNSTER, 1984; KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

Die A. interossea caudalis wird in der Karpalbeuge zum Ramus carpeus palmaris, der sich distal vom Karpus in einen Ramus profundus und einen Ramus palmaris aufteilt, welche wiederum an der Bildung des Arcus palmaris profundus bzw. superficialis beteiligt sind (WILKENS und MÜNSTER, 1984; KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.1.3 A. mediana

Der Hauptzweig der A. brachialis verläuft als A. mediana kaudomedial vom Radius unter dem Bauch des M. flexor carpi ulnaris distal und zieht palmar zwischen den Sehnen des oberflächlichen und tiefen Zehenbeugers über die Karpalbeuge zum Metakarpus. Dabei wird sie von der V. mediana und dem N. medianus begleitet (ZIETSCHMANN, 1943; WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994). Distal vom Karpus teilt sie sich in die Aa. digitales palmares communes I bis IV und kommuniziert mit dem Arcus palmaris superficialis (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.1.4 *A. ulnaris*

Die *A. ulnaris* entspringt aus der *A. interossea caudalis*, die ihrerseits wiederum aus der *A. brachialis* stammt. Sie begleitet den *N. ulnaris* kaudal der Ulna in der Ulnarisrinne (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993). Distal am Unterarm entlässt sie den *Ramus dorsalis*, der sich lateral um die Ulna auf die Dorsalfläche des Karpus schlägt und dorsolateral des *Os metacarpale quintum* als *A. digitalis dorsalis V abaxialis* zur fünften Zehe zieht. Oberhalb des Karpus entspringen weiterhin der *Ramus carpeus palmaris* sowie der *Ramus carpeus dorsalis*, die ihrerseits wiederum in das *Rete carpi palmaris* bzw. *dorsalis* einmünden (WILKENS und MÜNSTER, 1984; KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.1.5 *A. radialis*

Die *A. radialis* zweigt am proximalen Unterarm medial aus der *A. mediana* ab und verläuft an der kaudomedialen Kante des Radius, kranio-medial von der *A. mediana*. Oberhalb vom *Proc. styloideus radii* entlässt sie den *Ramus carpeus dorsalis*, der sich im *Rete carpi dorsale* verzweigt. Distal davon direkt oberhalb der Karpalbeuge gibt sie den *Ramus carpeus palmaris* fürs *Rete carpi palmare* ab. Sie begleitet das *Retinaculum flexorum* in ihrem Verlauf palmar über den Karpus und spaltet sich am Metakarpus in einen *Ramus palmaris profundus* und *superficialis* auf, die in den *Arcus palmaris profundus* respektive *superficialis* einmünden (ZIETSCHMANN, 1943; WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.1.6 *Arcus palmaris*

Der *Ramus palmaris profundus* der *A. radialis* und der *Ramus profundus* des *Ramus palmaris* der *A. interossea caudalis* bilden palmar in der Tiefe an der Basis der Metakarpalia querverlaufende Anastomosen, den *Arcus palmaris profundus*. Ihm entspringen die palmar zwischen den Metakarpalknochen verlaufenden *Aa. metacarpeae palmares I bis IV*.

Der *Arcus palmaris superficialis* ist eine weiter oberflächlich verlaufende anastomosierende Verbindung des *Ramus palmaris superficialis* der *A. radialis*, des *Ramus superficialis* des *Ramus palmaris* der *A. interossea caudalis* und der *A. mediana*, aus dem die *Aa. digitales palmares communes I bis IV* und die *A. digitalis palmaris V abaxialis* entspringen (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.1.7 *Rete carpi dorsale*

Ein dorsal am Karpus verlaufendes arterielles Netzwerk, das *Rete carpi dorsale* wird von der *A. ulnaris*, von der *A. interossea caudalis* über den *Ramus interosseus*, sowie vom *Ramus carpeus dorsalis* der *A. radialis* gespeist. Die *Aa. metacarpeae dorsales I bis IV* nehmen ihren Ursprung aus diesem Gefäßnetz. Proximale und distale *Rami perforantes* verbinden die *palmares* und die *dorsalen Metakarpalarterien* zwischen benachbarten Metakarpalknochen hindurch (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2 *Venen am Karpus*

Der Verlauf der Venen der Vordergliedmaße wird aus didaktischen Gründen, entgegen der Flussrichtung des Blutes, proximo-distal beschrieben. Dabei steht neben der besseren Übersicht die Analogie zum arteriellen Gefäßverlauf im Vordergrund (SCHMALTZ, 1898). KOCH und BERG (1993) unterteilen das Venensystem der Vordergliedmasse des Hundes in ein dorsales und *palmares* und ein tiefes und oberflächliches System und beschreiben das Venensystem in Richtung des venösen Blutflusses.

WILKENS und MÜNSTER (1984), EVANS, (1993) sowie FREWEIN et al. (1994) unterteilen das Venensystem der Vordergliedmasse des Hundes lediglich in ein tiefes und oberflächliches Netzwerk.

Das in der Tiefe gelegene venöse Gefäßsystem wird von gleichnamigen Arterien begleitet und besitzt multiple Anastomosen zum nicht arteriell begleiteten oberflächlichen Venennetz, welches der zusätzlichen venösen Drainage der Vordergliedmaße dient (WILKENS und MÜNSTER, 1984; FREWEIN et al., 1994).

Das **oberflächliche Venensystem** hat seinen Ursprung in der V. cephalica, die kranial vom Schultergelenk aus der V. jugularis externa entspringt (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

Obwohl die Venen des **tiefen Venensystems** weitgehend von gleichnamigen Arterien begleitet werden, werden sie an dieser Stelle nochmals einzeln beschrieben, da Unterschiede im Verlauf bestehen, insbesondere aufgrund der stärkeren venösen Anastomosierung.

Die Venen des tiefen Venensystems der distalen Vordergliedmaße stammen aus der V. axillaris, die ihrerseits aus der V. subclavia hervorgeht. Die V. axillaris wird von der V. brachialis, die zusammen mit der gleichnamigen Arterie medial am Oberarm verläuft, fortgesetzt. Distal vom Ellbogen entspringt aus ihr die V. interossea communis, die sich nach Abgabe der V. ulnaris in die Vv. interossee cranialis und caudalis aufteilt. Danach setzt die V. brachialis ihren Weg kaudomedial am Unterarm als V. mediana fort.

2.4.7.2.1 *V. cephalica*

Die Vena cephalica zieht kranial vom Humerus distal und besitzt Anastomosen zum tiefen Venensystem: auf Unterarmmitte zur V. axillaris und in der Ellbogenbeuge zur V. brachialis sowie zur V. collateralis radialis. Die V. cephalica zieht im weiteren Verlauf kranial am Unterarm distal. Sie liegt subkutan medial vom M. extensor carpi radialis und wird beiderseits von der doppelt ausgebildeten A. antebrachialis superficialis sowie vom zweigeteilten Ramus superficialis des N. radialis begleitet. Die V. cephalica kann in Einzelfällen ebenfalls doppelt angelegt sein. Auf halber Höhe des Unterarmes kommuniziert sie über einen Ramus anastomoticus mit der V. interossea cranialis. Am distalen Drittel des Unterarmes windet sich die V. cephalica, nach Abgabe der V. cephalica accessoria, über die mediale Seite palmar, zieht über die Beugeseite des Karpus und endet am Metakarpus im Arcus palmaris superficialis distalis.

Auf der kranialen Fläche des Unterarmes verläuft die V. cephalica accessoria in distaler Verlaufsrichtung über die Dorsalfläche des Karpus und ist dabei medial von der A. antebrachialis superficialis cranialis gelegen. Dort speist sie mit einigen Ästen das Rete carpi dorsale, entlässt direkt distal des Karpus die V. digitalis dorsalis V abaxialis und teilt sich schließlich in die Vv. digitales dorsales communes II bis IV. Noch vor dem Erreichen des Antebrachiokarpalgelenkes entlässt die V. cephalica accessoria kranial der Trochlea radii einen medial abzweigenden Ast, der den medialen Ramus der A. antebrachialis superficialis cranialis begleitet und schließlich zu V. digitalis dorsalis communis I wird (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.2 *Vv. interossee*

Die V. interossea communis ist ein Zweig der V. brachialis medial am proximalen Unterarm, die sich nach Abgabe der V. ulnaris in die kranial und kaudal des Spatium interosseum verlaufende V. interossea cranialis und V. interossea caudalis aufteilt. Distal am Unterarm sind beide durch einen Ramus interosseus miteinander verbunden.

Die V. interossea cranialis mündet schließlich mit dem Ramus carpeus dorsalis im Rete carpi dorsale (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

Die V. interossea caudalis besitzt distal am Radius querverlaufende Anastomosen zu den Vv. cephalica, radialis und ulnaris. Proximal am Karpus entsendet sie den Ramus carpeus palmaris und setzt ihren Weg als Ramus palmaris medial vom Os carpi accessorium über der Beugeseite des Karpus fort. Dabei verbindet sie sich mit der V. ulnaris und teilt sich am Übergang vom Karpus zum Metakarpus in einen Ramus profundus und einen Ramus superficialis auf, die sich weiter im Arcus palmaris profundus respektive Arcus palmaris superficialis verzweigen (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.3 *V. mediana*

Aus der V. mediana zweigen die V. profunda antebrachii und die V. radialis ab. Danach teilt sie sich in zwei Äste auf, die die gleichnamige Arterie und den N. medianus begleiten. Sie ziehen medial der langen Zehenbeuger gemeinsam über die Karpalgelenksbeuge und münden am Metakarpus in den Arcus palmaris superficialis (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.4 *V. ulnaris*

Die V. ulnaris zweigt aus der V. interossea communis ab und verläuft in der Ulnarissrinne (ZIETSCHMANN, 1943; WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993, KOCH und BERG, 1993, FREWEIN et al., 1994). Sie mündet in den Ramus palmaris der V. interossea caudalis. Die V. ulnaris gibt direkt proximal des Karpus einen Ramus dorsalis ab, der sich dorsolateral am Metakarpus mit der V. digitalis dorsalis V abaxialis verbindet, sowie auf Höhe des Karpus den Ramus carpeus dorsalis, der sich im Rete carpi dorsale verzweigt (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.5 *V. radialis*

Die aus der V. mediana stammende V. radialis verläuft kaudomedial vom Radius und medial der V. mediana. Sie kann doppelt angelegt sein und entlässt nach Abgabe von Muskelästen mediopalmar am Karpus einen Ramus carpeus palmaris und einen Ramus carpeus dorsalis, die sich im Rete carpi palmare respektive Rete carpi dorsale verzweigen.

Unterhalb vom Karpalgelenk teilt sich die V. radialis in einen Ramus palmaris profundus, der in den Arcus palmaris profundus mündet und einen Ramus palmaris superficialis, der mit der V. cephalica und dem Ramus superficialis des Ramus palmaris der V. interossea caudalis zusammen den Arcus palmaris superficialis versorgt, in dem auch die V. mediana endet (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.6 *Arcus palmaris profundus*

Der Arcus palmaris profundus ist eine venöse Verbindung palmar an der Basis der Metakarpalknochen zwischen dem Ramus palmaris profundus der V. radialis und dem Ramus profundus des Ramus palmaris der V. interossea caudalis. Aus diesem querverlaufenden Gefäß entspringen die Vv. metacarpeae palmares I bis IV, die die Metakarpalknochen palmar distal begleiten (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.7 *Arcus palmaris superficialis*

Der Arcus palmaris superficialis ist eine oberflächliche venöse Anastomose, die palmar am Metakarpus quer zwischen den oberflächlichen und tiefen Beugeschichten verläuft. Er besteht aus einem proximalen und distalen Anteil. Der Arcus palmaris superficialis proximalis erhält auf halber Höhe des Metakarpus seine Blutversorgung vom Ramus palmaris superficialis der V. radialis, der V. cephalica, dem Ramus superficialis des Ramus palmaris der V. interossea

caudalis und der V. mediana. Der weiter distal, oberhalb der Zehengrundgelenke angeordnete Arcus palmaris superficialis distalis wird, abgesehen von der V. mediana, in gleicher Weise mit Zufluss versorgt.

Aus dem Arcus palmaris superficialis entspringen Gefäße für die weitere Versorgung der Zehen (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.7.2.8 *Rete carpi dorsale*

Das Rete carpi dorsale ist ein sich auf der Streckseite des Karpus verzweigendes Venennetz, das von den Rami carpei dorsales der V. radialis, der V. cephalica, der V. cephalica accessoria, der V. ulnaris und der V. interossea cranialis gebildet wird. Ihm entspringen die zwischen den Karpalknochen verlaufenden Vv. metacarpeae dors. II bis IV (WILKENS und MÜNSTER, 1984; EVANS, 1993; FREWEIN et al., 1994).

2.4.8 Nerven am Karpus

Anteile von drei Nerven aus dem Plexus brachialis verlaufen mit ihren Ästen über die Karpalgelenksregion zur Gliedmaßenspitze. Es sind Äste des N. radialis, des N. medianus und des N. ulnaris (KÖNIG und LIEBICH, 2002).

2.4.8.1 *N. radialis*

Der N. radialis innerviert neben Hautbezirken lateral am Ober- und Unterarm die Strecker des Ellbogen- und des Karpalgelenkes sowie die Strecker der Zehengelenke und den M. extensor carpi ulnaris und ist somit ein gemischter Nerv (BÖHME, 1992; KITCHELL und EVANS, 1993; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1993; KÖNIG und LIEBICH, 2002). Der N. radialis enthält Nervenfasern aus den Ventralästen der sechsten bis achten Halsnerven sowie der ersten und zweiten Brustnerven (SHARPE et al. 1991). Nach KOCH und BERG (1993) stammen seine Fasern nur aus dem siebten und achten Halsnerv, sowie aus dem ersten Brustnerv. Der größte Anteil stammt nach KÖNIG und LIEBICH (2002) aus dem achten Halsnerv. Nach Abgabe einiger proximaler Muskeläste, u.a. für den M. triceps, teilt er sich in einen Ramus profundus, der die Karpalgelenks- und Zehenstrecker innerviert, und einen Ramus superficialis auf. Dieser verläuft unterhalb des Ellbogengelenkes oberflächlich an der kranialen Fläche des Unterarmes und spaltet sich weiter in einen Ramus medialis und einen Ramus lateralis auf. Diese beiden Anteile verlaufen medial und lateral der V. cephalica distal und geben den N. cutaneus antebrachii lateralis ab. Am distalen Unterarm sind sie durch einen Ramus communicans verbunden. Beide Äste verlaufen weitgehend parallel und oberflächlich über die Dorsalfläche des Karpalgelenkes und verzweigen sich am proximalen Metakarpus. Der mediale Ast wird zum N. digitalis dorsalis communis I und der laterale teilt sich in die Nn. digitales dorsales communes II bis IV, die sich knapp oberhalb des Zehengrundgelenkes wiederum in die Nn. digitales proprii axiales et abaxiales aufteilen und die Phalangen jeweils beiderseits flankieren. Am Metakarpus sind zusätzliche Rami communicantes zwischen den dorsalen Zehennerven ausgebildet (SHARPE et al. 1991; BÖHME, 1992; KITCHELL und EVANS, 1993; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1993)

2.4.8.2 *N. medianus*

Der N. medianus enthält überwiegend Fasern aus dem achten Halsnerven. Zusätzliche Fasern aus dem Plexus brachialis und weiter distal vom N. musculocutaneus stammen aus dem ersten und zweiten Thorakalnerven, sowie aus dem sechsten und siebten Zervikalnerven. Der N. medianus verläuft medial vom Humerus am Oberarm zwischen dem N. musculocutaneus und dem N. ulnaris zusammen mit der A. brachialis. Distal vom Ellbogengelenk innerviert er u.a. Teile der Zehenbeuger und den M. flexor carpi radialis. Die Hautbezirke an der kaudalen Fläche des Unterarms sowie an der palmaren und dorsolateralen Fläche des Mittelfußes und

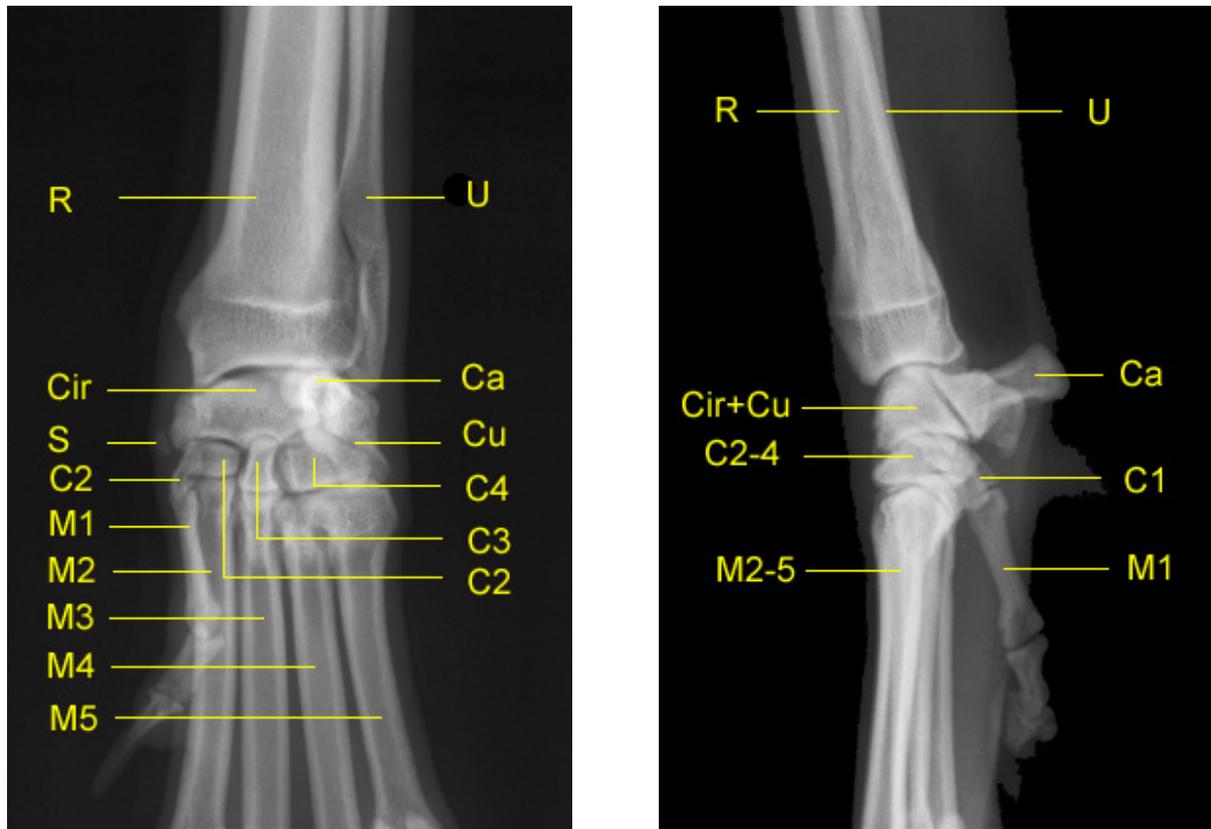
der Zehen versorgt er sensibel. Nach Abspaltung des N. interosseus antebrachii verläuft er medial am Unterarm um sich im distalen Teil auf die kaudomediale Fläche des Unterarmes zu begeben. Dabei begleitet er die A. mediana und zieht zusammen mit ihr durch den Karpalgelenkstunnel. Proximal am Metakarpus teilt er sich in die N. digitales palmares communes II bis IV und danach weiter in die N. digitales palmares proprii axiales et abaxiales, die die erste bis dritte Zehe beiderseits und die vierte Zehe axial flankieren. Ein Ramus communicans verbindet am proximalen Metakarpus die Nn. digitales palmares communes II und III (SHARPE et al. 1991, BÖHME, 1992; KITCHELL und EVANS, 1993; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1993).

2.4.8.3 N. ulnaris

Der N. ulnaris setzt sich aus Fasern der Ventraläste des achten Halsnerven sowie des ersten und gelegentlich auch des zweiten Thorakalnerven zusammen (SHARPE et al., 1991). Im Zusammenspiel mit dem N. medianus, in dessen Nachbarschaft er medial am Oberarm verläuft, versorgt er mit seinen Rami musculares Anteile der Zehen- und Karpalgelenksbeuger. Als N. cutaneus antebrachii caudalis innerviert er die Haut kaudal am Unterarm. Er zieht medial über den Epicondylus medialis humeri auf die Streckseite des Ellbogengelenkes. Zwischen dem M. extensor und flexor carpi ulnaris verläuft er kaudal am Unterarm. Proximal vom Karpus teilt er sich in einen Ramus dorsalis und einen Ramus palmaris auf. Der Ramus dorsalis windet sich lateral am Karpalgelenk auf die Dorsalfläche des Karpus und wird zum N. digitalis dorsalis V abaxialis. Der Ramus palmaris spaltet sich in einen Ramus profundus und einen Ramus superficialis. Beide Äste ziehen medial vom Os carpi accessorium über die Beugeseite des Karpus. Der Ramus profundus zieht unterhalb vom Karpus medial und entlässt dabei die Nn. metacarpei palmares. Diese verbinden sich distal am Metakarpus mit den Nn. digitales palmares communes I-IV (Äste des N. medianus). Der Ramus superficialis teilt sich in den N. digitalis palmaris V abaxialis und den N. digitalis palmaris communis IV. Dabei innerviert der N. ulnaris die Mm. interossei, alle gemeinsamen und besonderen Zehenmuskeln sowie Hautbezirke palmar und lateral an Metakarpus und Zehen. Im Zusammenspiel mit dem N. medianus innerviert der N. ulnaris das Ellbogengelenk, das Karpalgelenk und die Zehengelenke (SHARPE et al. 1991; BÖHME, 1992; KITCHELL und EVANS, 1993; FREWEIN, 1994; KOCH und BERG, 1993).

2.4.9 Röntgenanatomie des Karpalgelenkes

Abbildung 6: Röntgenaufnahmen eines caninen Karpalgelenkes in kranio-kaudaler und medio-lateraler Projektion.



C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
R	Radius
S	Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus
U	Ulna

Die Standardprojektionen für das Karpalgelenk werden im kranio-kaudalen und medio-lateralen Strahlengang angefertigt und gegebenenfalls um eine medio-laterale Ansicht in Supination der Pfote ergänzt (WAIBL et al., 2003).

Dabei sind in der lateralen Ansicht das Os carpi accessorium und die gelenknahen Anteile von Radius und Ulna gut zu beurteilen. Die Lateralaufnahme in Supination der Pfote ermöglicht besonders die Darstellung des Os carpi ulnare, der gelenknahen Anteile von Radius und Ulna sowie des Os metacarpale V (WAIBL et al., 2003). Die kranio-kaudale Projektion ist wichtig für die Beurteilung von Os carpi intermedioradiale, Os carpale primum bis quartum und Os metacarpale primum bis quintum (WAIBL et al., 2003).

2.5 Untersuchung des Karpalgelenkes

2.5.1 Klinische Untersuchung

Bei der speziellen orthopädischen Untersuchung des Karpalgelenkes sollte bereits während der Adspektion des Tieres dem Standwinkel des Karpus Beachtung geschenkt werden. Hier sind Abweichungen der Gliedmaßenachse, wie Valgus- oder Varusfehlstellungen, ebenso zu beachten wie eine unphysiologische Hyperextension (JOHNSON und HULSE, 2002). Am stehenden Tier können bereits die prominenten Knochenpunkte der Procc. styloidei radii et ulnae palpirt werden sowie das Os carpi accessorium mit dem dort inserierenden M. flexor carpi ulnaris. Das Karpalgelenk wird vor allem dorsal palpirt. Eine vermehrte Füllung des Karpalgelenkes kann dorsolateral und dorsomedial ertastet werden (BRUNNBERG, 1999). Am liegenden Tier empfehlen BRINKER et al. (1993) und BRUNNBERG (1999) das Karpalgelenk zu beugen und zu strecken. Um die nach BRUNNBERG (1999) immer schmerzhaft Hyperflexion zu verhindern sollte der Untersucher zwei Finger in die Karpalbeuge legen. Die Intensität der Beugung und Streckung ist schrittweise zu verstärken. Die Seitenstabilität des Karpalgelenkes sollte durch Abduktion und Adduktion geprüft werden. Um eine Hyperextensionsverletzung sicher zu diagnostizieren sollte der Unterarm und der Mittelfuß mit je einer Hand kräftig fixiert und der Karpus maximal überstreckt werden. Wenn diese Manipulationen dem Hund Schmerzen zu bereiten scheinen, sind Röntgenaufnahmen des Karpalgelenkes anzufertigen. (BRUNNBERG, 1999).

2.5.2 Röntgenuntersuchung des Karpalgelenkes

Nach KÖSTLIN et al., (1986) kann eine Instabilität im Karpalbereich mit der klinischen Untersuchung zwar festgestellt, jedoch häufig nicht näher lokalisiert werden. Dazu muss eine aufwendige Röntgenuntersuchung erfolgen. Diese beinhaltet Aufnahmen mit dorso-palmaren (DP) und medio-lateralen (ML) Strahlengang sowie sogenannte Streß- oder Funktionsaufnahmen in gehaltener Fehlstellung (SLOCUM und DEVINE, 1982; KÖSTLIN et al., 1986; BRINKER et al. 1993, OWENS und BIERY, 1999; MORGAN et al., 1998; DENNIS et al., 2001; JOHNSON und HULSE 2002, PIRAS 2004). Dabei können im dorso-palmaren Strahlengang die mediale und laterale Seitenstabilität und in der medio-lateralen Projektionsrichtung die palmare Stabilität überprüft werden (PIRAS, 2004). SLOCUM und DEVINE (1982), OWENS und BIERY (1999), DENNIS et al. (2001), JOHNSON und HULSE (2002) sowie PIRAS (2004) empfehlen eine zusätzliche Aufnahme am stehenden Tier bei belasteter Gliedmasse im seitlichen Strahlengang. BRINKER et al. (1993), OWENS und BIERY (1999) sowie JOHNSON und HULSE (2002) raten zu zusätzlichen Schrägaufnahmen, um feine Frakturlinien und kleine knöcherne Band- und Sehnenrisse darzustellen. Dazu sind dorso-laterale palmaro-mediale 45° oblique (DLPMO) und dorso-mediale palmaro-laterale 45° oblique (DMPLO) Projektionen geeignet (PIRAS, 2004). Der Vergleich mit der kontralateralen Gliedmaße wird von DENNIS et al. (2001) als hilfreich

empfohlen. Dieser Ansicht sind auch KÖSTLIN et al. (1986). Sie weisen aber ausdrücklich auf eine erschwerte Interpretation bei beidseitig symmetrischen, pathologischen Veränderungen hin. Eine medio-laterale Projektion bei gebeugtem Karpus wird von OWENS und BIERY (1999) sowie von DENNIS et al. (2001) empfohlen. PIRAS (2004) hält diese Aufnahmetechnik für besonders geeignet zur Beurteilung der kranialen Kante der Facies articularis carpea, der Dorsalfläche des Os carpi intermedioradiale und der Gelenkfläche des Os carpi accessorium. Um knöcherne Ausrisse des Lig. radiocarpeum dorsale darzustellen empfiehlt PIRAS (2004) Schrägaufnahmen bei gebeugtem Karpalgelenk im dorso-lateralen palmaro-medialen 45° obliquen (DLPMO) und dorso-medialen palmaro-lateralen 45° obliquen (DMPLO) Strahlengang sowie zusätzliche proximo-distale Tangentialaufnahmen (skyline-view) der Trochlea radii in verschiedenen Winkeln.

2.6 Erkrankungen des Karpalgelenkes

Erkrankungen des Karpalgelenkes können in nichttraumatische und traumatische Erkrankungen unterteilt werden.

Tumore, entzündliche Erkrankungen infektiöser oder immunmeditierter Genese, primäre oder sekundär genetisch bedingte, degenerative Veränderungen sowie alimentär verursachte Pathologien sind den nichttraumatischen Erkrankungen zuzurechnen.

Frakturen, Luxationen, Subluxationen, Hyperextensionsverletzungen, Abschleißverletzungen, Schuss-, Schnitt- und Stichverletzungen, Band-, Sehnen- und Muskelrupturen sowie Verletzungen von Nerven und Blutgefäßen sind zu den traumatischen Erkrankungen zu zählen.

2.6.1 Frakturen

Häufige Frakturen sind distale Radius- und Ulnafrakturen, wie die des Proc. styloideus radii, der Trochlea radii oder des Proc styloideus ulnae. Am Karpus selbst treten meist Frakturen oder knöcherne Absprengungen des Os carpi intermedioradiale und des Os carpi accessorium auf. Die Frakturformen des Os carpi accessorium werden in fünf verschiedene Formen eingeteilt. Dabei handelt es sich nach JOHNSON et al. (1989) um knöcherne Bandausrisse. Der Ausriss des Lig. accessoriocarpoulnare dorsodistal an der Gelenkfläche des Os carpi accessorium entspricht dem Typ I. Der Ausriss des Lig. ulnocarpeum palmare dorsoproximal an der Gelenkfläche des Os carpi accessorium entspricht dem Typ II. Diese beiden Typen sind somit Gelenkfrakturen. Bei den Frakturen des Typs III und IV sind die palmarodistale bzw. die palmaroproximale Kante des Os carpi accessorium betroffen. Hier handelt es sich um Avulsionsfrakturen des Lig. accessoriometacarpeum respektive des M. flexor carpi ulnaris. Eine Splitter- oder Trümmerfraktur wird als Typ V bezeichnet (JOHNSON, 1987; JOHNSON et al., 1989). Frakturen des Os carpi ulnare und der Ossa carpalia hingegen sind selten (BRINKER et al., 1993). Frakturen am Mittelfuß kommen an der Basis, am Schaft und am Caput vor. Bei Frakturen der Basis sind der zweite und der fünfte Strahl am häufigsten betroffen (BRINKER et al., 1993).

2.6.2 Luxationen und Subluxationen

Bei Luxationen und Subluxationen in der Art. antebrachioarpea ist häufig das mediale Seitenband verletzt, was eine mediale Instabilität verursacht (BRINKER et al., 1993). Es treten aber auch laterale Instabilitäten durch eine Verletzung des lateralen Kollateralbandes auf (KÖSTLIN et al., 1986). SLOCUM und DEVINE (1982) beschreiben eine typische palmare Subluxation in der Art. antebrachioarpea.

(Sub-) Luxationen in der Art. mediocarpea (BRINKER et al., 1993) sowie isolierte Luxationen des Os carpi intermedioradiale (PUNZET, 1974) und der Art. accessorioulnare

(LENEHAN et al., 1989) sind ebenfalls bekannt. GUILLIARD und MAYO (2001) beschreiben zwei Fälle einer isolierten Subluxation/Luxation des Os carpale secundum. Subluxationen mit medialer Instabilität in der Art. mediocarpea sind häufiger als Luxationen und müssen von einer Hyperextensionsverletzung differenziert werden (BRINKER et al., 1993).

2.6.3 Hyperextensionsverletzungen

Hyperextensionsverletzungen treten meist nach einem Sprung oder einem Sturz aus größerer Höhe auf. Es kommen aber auch immunbedingte Gelenkerkrankungen in einigen Fällen als Ursache in Frage. Klinisch zeigt sich der „Niederbruch“ durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Durchtrittigkeit über den physiologischen Standwinkel von 10-12° hinaus. Mittels Funktionsaufnahmen kann die instabile Gelenketape bestimmt werden (SLOCUM und DEVINE, 1982; KÖSTLIN et al., 1986; BRINKER et al., 1993). Sehr selten zeigt sich die Instabilität in der Art. antebrachioarpea (BRINKER et al., 1993). KÖSTLIN et al. (1986) bezeichnen die Hyperextension in der Art. carpometacarpeae als distalen, die in der Art. mediocarpea als proximalen Niederbruch. Der häufigere distale Niederbruch entsteht durch eine Ruptur der Ligg. intercarpea et/sive carpometacarpea palmaria und einer (Sub-)Luxation der Ossa carpalia bzw. der Ossa metacarpalia. Das Os carpi accessorium verbleibt dabei in seiner wagrechten Lage (KÖSTLIN et al., 1986). Beim selteneren proximalen Niederbruch kommt es durch eine Verletzung des Lig. accessoriometacarpeum zum Hochstand des Os carpi accessorium. Beim proximalen Niederbruch können das Lig. radiocarpeum palmare, das Lig. ulnocarpeum palmare und das Lig. carpi radiatum zusätzlich verletzt sein sowie eine (Sub-) Luxation der Ossa carpi bestehen (KÖSTLIN et al., 1986).

Diese klinisch und röntgenologisch erfassbare Instabilitäten, (Sub-) Luxationen oder Hyperextensionen entstehen durch Bandverletzungen, sogenannte Zerrungen oder Distorsionen. Bei Überschreitung der physiologischen Belastungsgrenze kommt es zu Zerreißen und Überdehnungen der Kollagenfaserbündel. Dies führt zu einer Elongation des Bandes. Dabei werden drei Schweregrade unterschieden. Bei einer Distorsion ersten Grades sind nur wenige Kollagenfasern betroffen. Das Band bleibt makroskopisch weitgehend intakt. Die Distorsion zweiten und dritten Grades besteht aus einer partiellen bzw. vollständigen Ruptur des Bandes (BRINKER et al., 1993).

Eine andere Form der Hyperextension im Sinne einer vergrößerten Mobilität oder einer Laxität im Karpus bei Welpen. beschreiben SHIRES et al. (1985). Diese Veränderungen sind atraumatisch und heilen spontan. Die Autoren machen einen reduzierten Muskeltonus für diese Veränderungen verantwortlich.

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Material

Die Untersuchung wurde an 24 Karpalgelenkspräparaten von 12 adulten, großwüchsigen Hunden durchgeführt, die euthanasiert wurden oder verstarben. Dazu wurde post mortem die gesamte distale Gliedmaße im Ellbogengelenk abgesetzt und die Amputationsstelle mit Klebeband fest verschlossen um Lufteinschlüsse zu verhindern und die durchtrennten Muskelstümpfe unterhalb des Ellbogengelenks in anatomisch korrekter Position zu fixieren. Es wurden jeweils beide Vordergliedmaßen eines Tieres abgetrennt. Vor der radiologischen Untersuchung wurden die Gelenke einer gründlichen Adspektion und Palpation unterzogen. Lediglich klinisch normal erscheinende Gelenke ohne abnorme Beweglichkeit oder eingeschränkten Bewegungsumfang, frei von offensichtlichen pathologischen Veränderungen wurden verwendet. Vereinzelt wurden kleine Perforationsstellen der Haut nach Venenpunktion oberhalb des Karpalgelenkes am distalen Unterarm toleriert. Die Untersuchung der Gelenke erfolgte nach Möglichkeit unmittelbar nach dem Tode der Tiere. Einige der Präparate wurden jedoch tiefgefroren und zu einem späteren Zeitpunkt aufgetaut und untersucht. Nach der Untersuchung wurden die Präparate tiefgefroren.

3.1.2 Röntgenologische Untersuchung

3.1.2.1 *Verwendete Geräte*

Vor der computertomographischen Untersuchung der Gelenke wurden Röntgenaufnahmen angefertigt. Die Röntgenuntersuchung wurde mit einem Röntgengerät vom Typ Siregraph D₂ der Firma Siemens durchgeführt. Dieses Gerät besitzt eine Röhrenstromstärke von 1000 mA bei 70 kV und einer Leistung von 70 kW. Der Hochspannungserzeuger Polymat 70 besitzt eine maximale Röhrenspannung von 150 kV bei einem maximalen Milliamperesekundenprodukt von 800. Die Aufnahmen wurden mittels digitaler Speicherfolienradiographie angefertigt. Es kamen dabei Röntgenkassetten der Firma AGFA vom Typ ADCC HR mit wiederverwendbarer Speicherfolie vom Typ ADCC MD plate MD40 (Code 15) zum Einsatz. Die gewonnenen Daten wurden digital im DICOM-Format oder im JPG-Format parallel auf Festplatte und Compact Disk (CD) archiviert.

3.1.2.2 *Lagerung und Durchführung*

Die Röntgenaufnahmen der Karpalgelenke wurden im kranio-kaudalen und medio-lateralen Strahlengang, sowie in kaudo-medial kranio-lateral 45° obliquer Projektion angefertigt. Zusätzlich wurden gehaltene Funktionsaufnahmen in Adduktion, Abduktion und Hyperextension des Karpalgelenkes erstellt. Dabei wurde eine Röhrenspannung von 63 kV gewählt bei einem Produkt aus Röhrenstrom und Belichtungszeit von 5 mAs. Ein Streustrahlenraster wurde nicht verwendet. Der Film-Fokus-Abstand betrug 115 cm.

3.1.3 Computertomographische Untersuchung

3.1.3.1 Verwendete Geräte

Zur computertomographischen Untersuchung der 24 Karpalgelenke von 12 Hunden wurde ein einzeliger Spiral-CT der dritten Generation der Firma Siemens vom Typ SOMATOM AR.SP. verwendet.

Tabelle 11: Einige ausgewählte Gerätedaten

Röhrenspannungen	110 kV, 130 kV
Röhrenstrombereich	63 mA, 83 mA, 103 mA
Anzahl der Projektionen pro Sekunde	500
Anzahl der Meßpunkte/Projektionen	1024
Schichtdicken	1, 2, 3, 5, 10 mm
Neigungsbereich Schicht/Vertikale	22°
Messfeld	45 cm
Gantryöffnung	60 cm
Gantryneigung	:22°
Strahlenfächer	54,4°
Fokus-Detektor-Abstand	890 mm
Fokus-Drehzentrum-Abstand	510 mm

3.1.3.2 Vorversuche am CT

In Vorversuchen wurden die geeigneten Lagerungstechniken und Einstellungsparameter gesucht. Die Lagerung des Gelenkes in vollständig gestreckter Stellung konnte am zuverlässigsten standardisiert und reproduziert werden. Um die geeigneten Einstellungsparameter zu finden wurden beide Karpalgelenke eines Hundes mit den Schichtdicken 1 mm, 2 mm und 3 mm untersucht und Bilder jeweils mit allen neun im Gerät verfügbaren Rekonstruktionsalgorithmen rekonstruiert. Diese Bilder wurden auf die Differenzierbarkeit und den Kontrast einzelner Weichteilstrukturen beurteilt. Der vollständige transversale Datensatz der Karpalgelenke wurde multiplanar rekonstruiert. Es wurden sagittale, dorsale und vereinzelt schräge Bilder angefertigt. Dabei wurde die Qualität des Rekonstruktionsergebnisses aus den Datensätzen, die mit verschiedenen Schichtdicken erstellt wurden, visuell verglichen. Dabei zeigte sich in den Transversalschnitten bei steigender Schichtdicke ein geringer Vorteil im Kontrastaufklärungsvermögen. Diesem geringen Vorteil stand ein deutlicher Nachteil in der Ortsauflösung von dickeren Schichten gegenüber. Dieser Nachteil zeigte sich besonders bei der multiplanaren Rekonstruktion. Die schlechten Rekonstruktionsergebnisse der dicken Schichten führte letztendlich zur Wahl der 1 mm-Schichtdicke. Beim Vergleich der Rekonstruktionsalgorithmen zeigte sich die beste Differenzierbarkeit der Weichteile bei der Verwendung eines 60ziger Kernes und die beste Beurteilbarkeit der knöchernen Strukturen bei der Wahl eines 80ziger Kernes. Der Einfluss der verschiedenen Einstellungen der Röhrenspannung und des Röhrenstromes auf die Bildqualität wurde ebenfalls untersucht. Dabei zeigten sich kaum erkennbare Unterschiede zwischen einerseits 110 kV und 130 kV sowie zwischen 63 mA, 83 mA und 103 mA. Die jeweils höheren Werte für Spannung und Stromstärke führten nur zu einer minimalen Verbesserung der Bildqualität. Die Wahl sehr hoher Werte für Spannung und Stromstärke

wirkte sich nachteilig auf die Untersuchungszeit aus, da die starke Erhitzung der Röhre zu unverhältnismäßig langen Kühlzeiten führte und ein klinischer Einsatz somit nicht mehr in Frage käme. Weiterhin führt die Verwendung hoher Spannungen und hoher Stromstärken bei geringen Schichtdicken zu einer starken Belastung der Röhre und der Detektoren, was einen frühen Verschleiß des Computertomographen verursacht.

3.1.3.3 Lagerung und Durchführung

Die Ergebnisse dieser Vorversuche führten letztendlich zum folgenden Vorgehen:

Die Karpalgelenke eines Tieres wurden nebeneinander auf gleicher Höhe in neutraler Streckstellung von möglichst 180° horizontal auf dem Patiententisch gelagert. Mit Hilfe des Lichtvisiers wurden die Präparate exakt in der Längsachse des Tisches ausgerichtet. Dieses Vorgehen erleichterte eine genaue Positionierung senkrecht zur Gantry und ermöglichte weitgehend reproduzierbare Schichtneigungswinkel von 0°. Danach wurde ein seitliches Topogramm angefertigt und darauf der Untersuchungsbereich markiert. Dieser begann proximal an der distalen Radiusepiphyse im Bereich der Trochlea radii und endet im proximalen Viertel des Metakarpus.

3.1.3.4 Einstellungen am CT

Folgende Parameter wurden für die Untersuchung gewählt:

Es wurde eine Schichtdicke von einem Millimeter bei einem Tischvorschub von einem Millimeter pro Umdrehung verwendet. Es wurde eine Röhrenspannung von 130 kV bei einem Röhrenstrom von 63 mA gewählt. Der Schichtneigungswinkel betrug 0°. Als Rekonstruktionsalgorithmus wurden parallel jeweils ein mittlerer 60ziger und ein harter 80ziger Kern verwendet. Zur Betrachtung und Auswertung der Bilder wurden verschiedene Einstellungen der Fensterbreite und der Fensterlage getestet. Für das Knochenfenster haben sich ein Fensterzentrum von etwa 500 HE und eine Fensterbreite von etwa 1500 HE als günstig erwiesen. Angemessene Fensterwerte zur Beurteilung der Weichteilbilder zu finden war schwieriger. Da alle Weichteile eine sehr ähnliche Dichte aufwiesen, verursachten geringe Veränderungen der Fensterwerte große Kontrastunterschiede. Hier konnten keine fest definierbaren Werte gefunden werden. Es musste im Einzelfall eine jeweils geeignete Einstellung gewählt werden. Die Werte schwankten dabei je nach Untersuchungsobjekt und Qualität des Monitors beim Fensterzentrum zwischen 60 HE und 110 HE und bei der Fensterbreite etwa zwischen 200 HE und 300 HE.

3.1.4 Magnetresonanztomographische Untersuchung

3.1.4.1 Verwendete Geräte

Die magnetresonanztomographischen Untersuchungen von 24 Karpalgelenken von 12 Hunden wurden an einem Kernspintomographen der Firma Siemens Medizintechnik (Erlangen, Deutschland) vom Typ Magnetom Open viva durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein offenes Niederfeldsystem. Das vertikal orientierte Magnetfeld mit einer Feldstärke von 0,2 T wird von einem Resistivmagneten erzeugt. Die Sendespulen sind in das Gerät integriert, die Empfangsspulen müssen direkt am Patienten angebracht werden.

Tabelle 12: Einige ausgewählte Gerätedaten

Betriebsfeldstärke	0,2 T
Gradientenstärke	15 mT/m
Änderungsrate des Magnetfeldes	< 20 mT/ms bei einer Pulsrampendauer von $\geq 0,9$ ms (von 0 auf 15 mT/m)
SNR der Mehrzweckspule (11 cm Ø) (bei TR: 600 ms, TE: 30 ms, SD: 10 mm, Matrix: 256x256, FOV 200mm, Pixelbandbreite 65 Hz, Akquisition: 1)	≥ 82
Spannung	380, 400, 420, 440, 480 V + 6 % -10%
Frequenz	50 Hz, 60 Hz ± 1 %

3.1.4.2 Verwendete Sequenzen

Die Namen und Art der Sequenzen sind abhängig vom Hersteller des Kernspintomographen. Die Bezeichnungen stammten aus der Software NUMARIS VB 33A des Kernspintomographen vom Typ Magnetom Open viva der Firma Siemens Medizintechnik (Erlangen, Deutschland). In Vorversuchen wurden alle Sequenzen aus dem Handgelenksprotokoll für den Menschen am Karpalgelenk des Hundes getestet. Neben den Originalwerten wurden auch leicht abgeänderte Parameter angewendet. Schichtdicke und Größe des Bildfeldes wurden reduziert und auf die Größe des caninen Karpalgelenkes angepasst. Die erzeugten Bilder wurden visuell auf Kontrast, Schärfe und Rauschen beurteilt. Folgende Sequenzen lieferten eine gute Bildqualität und wurden deshalb ausgewählt:

Localizer: scout.uhc, FOV: 280 mm, TR : 40 ms, TE: 10 ms, FA: 40°, SD: 15 mm
T1-w-SE: se_26b39.uhc, FOV: 140 mm, TR: 640 ms, TE: 26 ms, FA: 90°, SD: 3 mm
T2-w-SE: se_80rb23.uhc, FOV: 180 mm, TR: 1495 ms, TE: 80 ms, FA: 80°, SD: 3 mm
T2-w-TSE: tse7_117b33.uhc: FOV: 140 mm, TR: 3835 ms, TE: 117 ms, SD: 3 mm
T1-w FLASH 3D: t1_fl3d_te35_130fov: FOV 140 mm, TR: 70 ms, TE: 35 ms, SD: 3 mm
T1-w FLASH 3D: t1_fl3d_te35_130fov: FOV 140 mm, TR: 70 ms, TE: 35 ms, SD: 2 mm
T1-w FLASH 3D: t1_fl3d_te35_130fov: FOV 140 mm, TR: 70 ms, TE: 35 ms, SD: 1 mm
Die Bilder wurden jeweils in sagittaler, transversaler und dorsaler Orientierung angefertigt.

3.1.4.3 Lagerung und Durchführung

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde eine ringförmige kleine Mehrzweckspule mit 11 cm Durchmesser verwendet. Beide Karpalgelenke eines Hundes wurden parallel und gestreckt, nebeneinander liegend, zentral auf dem Patiententisch gelagert. Dann wurde die Spule um die Karpalgelenke herum gelegt und fixiert. Da das MR-Signal außerhalb des Spulenrandes schlecht detektiert wurde, war es wichtig, den Karpus genau in der Spulenmitte zu positionieren, um eine gute und homogene Bildqualität zu erreichen. Der bewegliche Lagerungstisch wurde dann in das Magnetfeld geschoben, so dass der Spulenmittelpunkt genau im Zentrum des Magnetfeldes zu liegen kam. Dazu wurde ein Laser-Lichtvisier eingesetzt.

3.1.5 Anatomische Untersuchungen

Die klinisch, röntgenologisch, computer- sowie magnetresonanztomographisch untersuchten Karpalgelenke von fünf Hunden wurden mit drei verschiedenen anatomischen Präparationsverfahren weiter untersucht: manuelle Präparation, Kryoschnitte und Scheibenplastination. Die Präparate wurden fotografiert oder eingescannt und die digitalen anatomischen Präparatbilder dienten als Vergleichsobjekte für die Auswertung der CT- und MR-Bilder.

3.1.5.1 Manuelle Präparation

Die vier Karpalgelenke von zwei Hunden wurden nach den bildgebenden Untersuchungen enthäutet und anatomisch präpariert. Dabei wurden die anatomischen Strukturen Schicht für Schicht abgetragen und das verbleibende Gelenk jeweils aus acht Winkeln fotografiert. Dieser Vorgang wurde mehrfach wiederholt bis nur noch die knöchernen Strukturen übrig blieben. Die Knochen wurden mehrere Tage im Wasserbad gekocht, einige Wochen zur Entfettung in Benzin eingelegt und zuletzt mit Wasserstoffperoxyd gebleicht. Die Einzelknochen wurden hinterher in anatomisch korrekter Anordnung zu einem knöchernen Gelenkmodell zusammengeklebt.

3.1.5.2 Kryoschnitte

Die vier Karpalgelenke von zwei weiteren Hunden wurden nach den bildgebenden Untersuchungen geschoren und in einer gestreckten Stellung von etwa 180° bei -20 °C tiefgefroren. Dann wurden die Präparate am Unterarm fixiert und mit einer Metzgerbandsäge wurden dünne Scheiben schichtweise abgetragen. Es wurden dabei etwa 3 mm dicke Schnitte des gesamten Karpus vom proximalen Drittel des Metakarpus bis oberhalb der Trochlea radii angefertigt. Nach jedem Sägevorgang wurde der verbleibende Stumpf mit auf -20 °C gekühltem Alkohol gesäubert und digital fotografiert.

3.1.5.3 Scheibenplastination

Die beiden im Ellbogengelenk abgesetzten Vordergliedmaßen eines Hundes wurden nach der klinischen, röntgenologischen, computer- und magnetresonanztomographischen Untersuchung vollständig geschoren und in Streckstellung von 180° im Karpalgelenk bei minus 20 °C eingefroren. Die tiefgefrorenen Präparate wurden etwa im distalen Drittel des Unterarmes und in der Mitte des Metakarpus mit einer Bandsäge durchtrennt. Die auf diese Weise zurechtgesägten Karpalgelenksblöcke wurden in Polyethylenfolie eingewickelt und in eine Styroporbox gelegt. Dort wurden die Karpalgelenke präzise ausgerichtet, mit Polyurethan eingeschäumt und auf diese Weise für den späteren Sägevorgang fixiert. Der Schaum erzeugte bei der Aushärtung Wärme und taute die Präparate an, weshalb die Styroporbox mit den Gelenken erneut für 24 Stunden tiefgefroren werden musste. Dann wurden die Karpalgelenke mitsamt der Box in 3 mm dicke Scheiben geschnitten. Dazu wurde eine Metzgerbandsäge verwendet, die mit einem speziellen Bimetallblatt beschichtet war. Die Sägeschnitte wurden zwischen je zwei Lochplatten aus Kunststoff eingespannt und mit Wasser von Blut und Sägespänen gereinigt. Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Sägeschnitte für 24 Stunden in vierprozentigem gepufferten Formalin fixiert und danach mit fließendem Wasser von Formalin gereinigt bis am Präparat kein Formalingeruch mehr wahrgenommen werden konnte. In ein nasses Tuch eingewickelt, wurden die Scheiben innerhalb von zwölf Stunden auf 5 °C herabgekühlt und anschließend in -35 °C kaltes Aceton zur Entwässerung eingelegt. Das Aceton wurde wöchentlich ausgetauscht bis lediglich noch ein Wassergehalt von maximal fünf Prozent im Aceton mittels einer Acetonspindel messbar

war. Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Präparate entfettet. Dazu wurden sie bei Raumtemperatur wiederholt in Aceton eingelegt bis nach etwa vier Wochen keine Gelbfärbung im Lösungsmittel mehr zu erkennen war. Danach wurden die Schnitte für zehn Tage im Intermedium Dichlormethan eingelegt. Im folgenden Arbeitsschritt wurden die Sägeschnitte aus den gelöcherten Kunststoffscheiben in eine Flachkammerschalung verbracht, mit einem Gemisch aus dem Kunststoff E12 sowie dem Härter E2 aufgefüllt und dann in einen Vakuumschrank gelegt. Dort herrscht zu Beginn ein Druck von 760 Torr, der über einen Zeitraum von acht Stunden langsam auf 0 Torr reduziert wurde. Die kontinuierliche Drucksenkung führte zu einem langsamen Verdampfen des Acetons und des Dichlormethans aus den Präparaten, wodurch die Scheiben ihre Transparenz erlangten. Nach der Entnahme der Präparate aus dem Vakuumschrank begann der Kunststoff, etwa zehn Stunden nach seiner Anmischung, langsam zu polymerisieren. Dieser Vorgang war nach etwa fünf Tagen abgeschlossen. In einem Wärmeschrank wurden die Präparate danach für zwölf Stunden bei 60 °C ausgehärtet. Nach der Entnahme aus dem Ofen lösten sich die Kunststoffscheiben nach einer Abkühlzeit von etwa einem Tag von selbst aus der Schalung. Zum Schutz vor Kratzern wurden die Scheiben mit Adhäsivfolie beklebt und mit einer Kreissäge in geeigneter Form zugesägt. Mittels eines hochauflösenden Farbscanners wurden digitale Bilder der dünnen, plastinierten Scheiben erstellt.

3.1.5.4 Vergleich zwischen Kryoschnitten und Plastinaten

Die Bilder der Gefrierschnitte wurden mit den Bildern der Plastinate verglichen. Dabei zeigte sich eine sehr gute, zwischen beiden Verfahren übereinstimmende, Darstellung der anatomischen Strukturen, wie die Abbildungen 7a und 7b auf der folgenden Seite zeigen. Die leichte artifizielle Schrumpfung des Gewebes in den Plastinaten, die durch Dehydrationsvorgänge bei der Konservierung mit dem Kunststoff zustande kam, erleichterte häufig die Differenzierung der Gewebegrenzen. Die Transparenz der Plastinate ermöglichte es, Strukturen, die nicht direkt an der Oberfläche gelegen waren, auch innerhalb der Plastinatscheibe zu erkennen. Diese Transparenz der Scheiben vermittelte dem Betrachter einen dreidimensionalen Eindruck. Dies erleichterte rein subjektiv die Korrelation mit den MR- und CT-Tomogrammen und vergewärtigte und verbesserte das Verständnis der Partialvolumeneffekte. Aus diesen Gründen kommen in dieser Arbeit die Bilder der Plastinate zur Darstellung.

Abbildung 7a und 7b: Vergleich zwischen Kryoschnitt und Plastinat

Abbildung 7a: Kryoschnitt, transversal durch die distale Karpalgelenksreihe

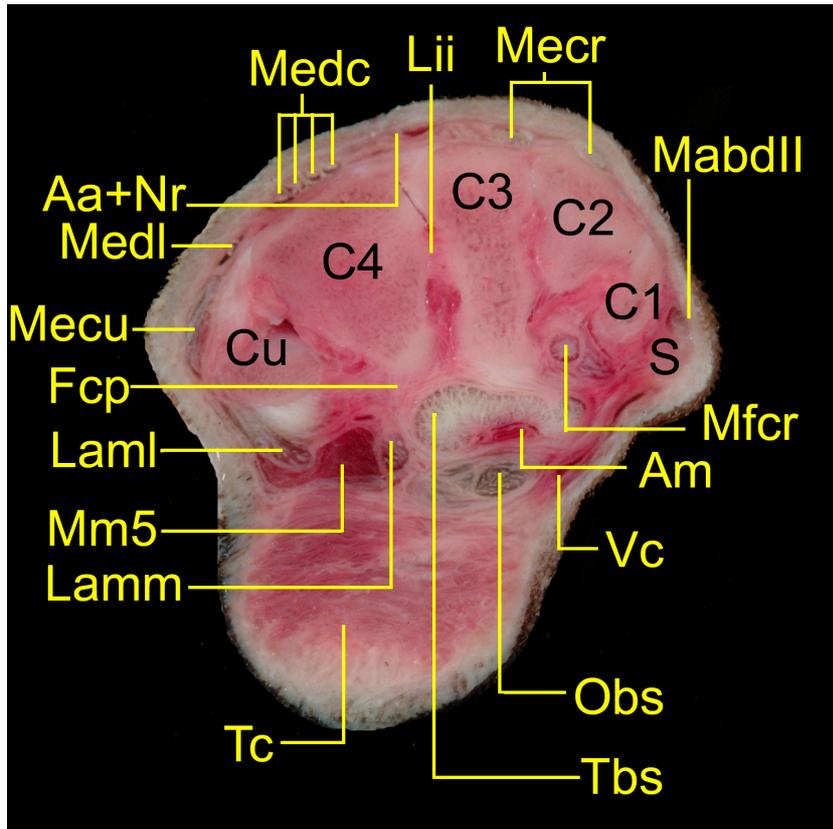
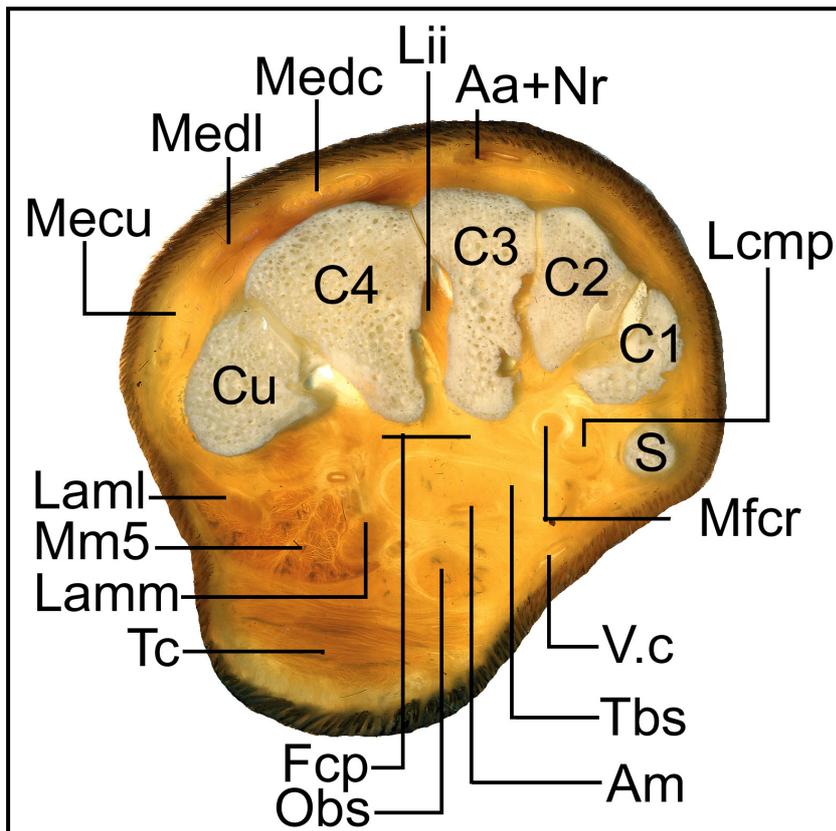


Abbildung 7b: Plastinat, Transversalschnitt durch die distale Karpalgelenksreihe



Abkürzungsverzeichnis für Abbildung 7a+b:

Aa+Nr	Arteria antebrachialis cranialis superficialis und Äste des Nervus radialis
Am	Arteria mediana
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
MabdII	Musculus abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

3.1.5.5 Vergleich zwischen den verschiedenen Sequenzen

Die T1- und T2-gewichteten Bilder wurden verglichen. Die beste anatomische Bildauflösung bei geringem Rauschanteil konnte mit T1-gewichteten Sequenzen erreicht werden. Dabei zeigte sich in den T1-gewichteten Bildern mit sinkender Schichtdicke (von 3 mm bis 1 mm) eine bessere Ortsauflösung. Nachteile geringer Schichtdicken waren ein schlechterer Kontrast sowie ein höherer Rauschanteil im Bild.

Die beste Bildqualität lieferte die T1-gewichtete Spinechosequenz. T1-gewichtete Spinechosequenzen gehören zu den Basissequenzen eines MRT-Untersuchungsprotokolls am Handgelenk des Menschen (REISER et al., 2002). Deshalb kommen in dieser Arbeit, neben den anatomischen Plastinaten, T1-gewichtete Bilder zur Darstellung, die mit der Sequenz „se_26b39.uhc“ mit einer Repetitionszeit von 640 ms, einer Echozeit von 26 ms und einer Schichtdicke von 3 mm erzeugt wurden.

3.2 Darstellung und Auswertung der Bilder

Die MR- und CT-Bilder wurden den Bildern der anatomischen Präparate gegenübergestellt. Es wurden die anatomischen Strukturen identifiziert und zwischen den Bildern korreliert. Die Betrachtung der MR- und CT-Bilder erfolgte mit der Bildbetrachtungssoftware IMPAX der Firma AGFA. Dabei kam ein spezielles Navigationssystem zum Einsatz, das die topographische Lage eines jeden Schnittbildes einer Ebene in die Bilder der beiden anderen Ebenen projizierte. Da für jedes Karpalgelenk Bilder in allen drei Ebenen (transversal, sagittal und dorsal) angefertigt wurden, konnten die anatomischen Strukturen über die Korrelation der

drei Ebenen zuverlässig identifiziert werden. Die Software ermöglichte eine sehr schnelle Darstellung der einzelnen Bilder auf dem Monitor. So konnte jede zu identifizierende Struktur zügig proximal und distal, kranial und kaudal bzw. dorsal und palmar sowie medial und lateral verfolgt werden. Die Software ermöglichte auf zwei Monitoren die gleichzeitige Darstellung von bis zu acht einzelnen Studien eines Gelenkes. Die einzelnen Studien wurden aneinander gekoppelt. Dadurch konnte bei einer schnellen filmartigen Betrachtung aufeinanderfolgender Bilder zeitgleich die Lageveränderung des Einzelbildes innerhalb des Gelenkes in den anderen beiden Ebenen nachvollzogen werden.

Die anatomischen Strukturen wurden auf diese Weise identifiziert und auf die Qualität ihrer Darstellung hin beurteilt.

3.3 Grundsätze zur Darstellung einzelner Gewebe im MR-Bild

Knöchernen Kortikalis, Kompakta und knöchernen Trabekel sowie Bänder, Sehnen und Faszien stellten sich sowohl T1-gewichtet als auch T2-gewichtet stark hypointens bis signalfrei und somit schwarz dar. Die Gelenkspalten mit der darin enthaltenen Synovia zeigten in T1-gewichteten Bildern ein leicht hyperintenses, in T2-gewichteten Bildern ein stark hyperintenses Signal. Der Gelenkknorpel selbst konnte mit den verwendeten Sequenzen nicht dargestellt werden oder nicht ausreichend von der Gelenkflüssigkeit unterschieden werden. Fetthaltige Strukturen stellten sich in T1- und T2-gewichteten Bildern signalreich, also hell dar. Muskelgewebe stellte sich mit intermediärem Signal in einem mittleren Grauton dar und war dabei in T2-gewichteten Bildern dunkler als in T1-gewichteten. Endsehnen und Binnensehnen innerhalb der Muskelbäuche zeigten sich signalarm bis signalfrei, also sehr dunkel bis schwarz.

3.4 Beschreibung der MR-Schnittbildanatomie des caninen Karpagelenkes

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die morphologische Darstellung der normalanatomischen Gegebenheiten auf T1-gewichteten Bildern in transversaler, sagittaler und dorsaler Orientierung gestreckt gelagert untersuchter, caniner Karpalgelenke adulter und großwüchsiger Hunde.

3.4.1 Knöcherne Strukturen

Grundsätzlich ermöglichten transversale Bilder eine gute Differenzierung einzelner Knochen innerhalb einer Reihe. Der Übergang einer Karpalgelenksreihe in die nächste und deren Abgrenzung voneinander war auf transversalen Bildern weniger gut ersichtlich. Sagittale Bilder erlaubten es, einzelne Reihen gut voneinander zu differenzieren, besaßen aber Defizite bei der Abgrenzung einzelner Knochen innerhalb einer Reihe. Dorsalbilder ermöglichten sowohl die Differenzierung einzelner Knochen innerhalb einer Reihe, als auch die Abgrenzung zu den proximal und distal gelegenen Reihen.

3.4.1.1 Radius

Die Trochlea radii besaß im Transversalschnitt eine dorsoventral abgeplattete, querovale Form. Es zeigten sich drei Sehnenrinnen an der Kranialfläche der Trochlea. Die mittlere und laterale Rinne waren gut erkennbar. Die kraniomediale Rinne war aufgrund ihres schrägen Verlaufes im transversalen Schnittbild nur als platte Fläche am distalen Ende des Margo

medialis zu erkennen. Lateral an der Trochlea radii und leicht kaudal gerichtet fand sich die Incisura ulnaris radii, die sich als Rinne gut im Transversalschnitt darstellte. Die Kaudalfläche der Trochlea radii zeigte sich konvex im Transversalbild. Medial an der Trochlea radii zeigte sich der Proc. styloideus radii als kleiner, medial gerichteter Höcker. Die knöcherne Kompakta stellte sich als dünne, signalarme, sehr dunkle Linie an der Oberfläche der Trochlea radii dar. Innerhalb der Trochlea fand sich ein feinretikuläres bis körniges, hell-dunkles Muster mittlerer Signalintensität. Dieses Muster stellte sich im Bereich der Residuen der distalen Radiusepiphyse in geringem Maße signalärmer dar. Distal und zentral in der Trochlea radii zeigte sich der subchondrale Knochen der Facies articularis carpea als ein zur Umgebung deutlich hypointenser Bezirk, der den distal folgenden antebrachiokarpalen Gelenkspalt ankündigte.

Sagittale Schnittbilder der Trochlea radii zeigten besonders deutlich die hypointensen, linearen Residuen der distalen Radiusepiphysenfuge sowie die konkave, distale, radiale Gelenkfläche, die Facies articularis carpea. Die kranialen Sehnenrinnen, der Proc. styloideus radii und die Incisura ulnaris radii stellten sich auf den sagittalen Bildern kaum dar.

Dorsal orientierte Bilder der Trochlea radii zeigten ebenfalls die linear hypointensen Residuen der distalen Radiusepiphysenfuge sowie die, auch in der zweiten Ebene konkave Facies articularis carpea. In dorsalen Bildern konnte die mediale Sehnenrinne am besten, die mittlere und laterale dagegen fast nicht erkannt werden. Der kleine knöcherne Vorsprung des Proc. styloideus radii stellte sich in dorsalen Bildern medial, proximal und kaudal der medialen Sehnenrinne gut dar.

3.4.1.2 Ulna

Die Ulna zeigte in der distalen Metaphyse im Querschnitt eine runde Form, die distal zunehmend ovaler wurde. Der Proc. styloideus ulnae besaß einen medial konkaven, bohnenförmigen Querschnitt. Die Kortikalis der Ulna erschien hypointens, das Knochenmark zeigte, wie das des Radius, ein feinkörniges, hell-dunkel granuliertes Muster. Die Reste der distalen Ulnaepiphysenfuge waren meist nicht sicher zu erkennen. Die Circumferentia articularis radii stellte sich in den transversalen Bildern sehr gut dar. Sagittale und dorsale Bilder verdeutlichten besonders die leicht geschwungene Form der Ulna im distalen Bereich sowie die distale Oberfläche des Proc. styloideus ulnae, besaßen aber Nachteile in der Darstellung der Circumferentia articularis radii.

3.4.1.3 Os carpi intermedioradiale

Das Os carpi intermedioradiale war distal vom Radius und medial in der proximalen Karpalgelenksreihe zu finden. Es zeigte eine hypointense, feine, kortikale, lineare Umrandung sowie medullär ein feinkörnig, hell-dunkel granuliertes, in der Summe intermediäres Binnensignal. Es stellte sich im Transversalschnitt als eine unregelmäßig rechteckige Struktur mit abgerundeten Ecken und mit einem deutlich sichtbaren, kräftigen, mediopalmar gerichteten Höcker dar. Dabei konnte transversal die kraniale, kaudale, mediale und laterale Oberfläche gut betrachtet werden. Auf sagittalen Bildern zeigte sich das Os carpi intermedioradiale ebenfalls unregelmäßig rechteckig und man konnte gut seine proximal konvexe und distal konkave Gelenkfläche, sowie die kraniale und kaudale Fläche erkennen. Dorsale Bilder verschafften dem Betrachter einen guten Eindruck der topographischen Lage des Os carpi intermedioradiale. Es zeigte sich unregelmäßig quadratisch geformt im Verbund mit seinen benachbarten Knochen.

3.4.1.4 *Os carpi ulnare*

Das Os carpi ulnare war medial des Os carpi intermedioradiale und distal der Ulna in der antebrachiokarpalen Reihe zu finden. Es zeigte sich in proximalen Transversalschnitten rechteckig und nahm distal eine stärker abgerundete Form an. Dabei ragte es lateropalmar bis weit in die distale Karpalgelenksreihe vor und zeigte sich auch noch lateral vom Os carpale quartum. In sagittalen Bildern konnte die Form seines palmarodistalen Fortsatzes sowie die Gelenkfläche zum Os carpi accessorium gut erkannt werden. Große Anteile des Os carpi ulnare zeigten auf sagittalen Bildern eine unscharfe Kontur und wechselndes Signal. Dorsale Bilder stellten die dorsalen Anteile des Os carpi ulnare mit seinen Kontaktflächen zur Ulna, zum Os carpi intermedioradiale und zum Os carpale quartum sehr gut dar. Der weit palmarodistale Anteil zeigte sich ausreichend, während der proximale palmare Bereich mit seiner Kontaktzone zum Os carpi accessorium im Dorsalschnittbild nicht isoliert zu erkennen war. Das Knochenmark des Os carpi ulnare stellte sich genau wie bei allen anderen am Karpalgelenk beteiligten Knochen feinkörnig, hell-dunkel granuliert mit intermediärem Signal dar. Die lineare Kortikalis war deutlich hypointens und gut abgesetzt.

3.4.1.5 *Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus*

Das kleine Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus stellte sich in allen drei Ebenen sehr oft, aber nicht immer zuverlässig dar. Es besaß in jeder Orientierung einen durchwegs rundlichen oder ovalen Querschnitt der zum Os carpi intermedioradiale hin meist leicht abgeplattet war. Es zeigte sich mit einer dünnen, kreisförmigen, hypointensen Kortikalis sowie einem hyperintensiven, helleren Mark und entsprach somit im Signal den übrigen Karpalknochen. Es war jedoch nicht immer zuverlässig abzugrenzen.

3.4.1.6 *Os carpale primum*

Das Os carpale primum war fast immer zu erkennen, aber meist nicht klar von seiner Umgebung abzugrenzen. Um es in einem Transversalschnitt durch die distale Karpalgelenksreihe aufzufinden hat es sich bewährt, von lateral beginnend mit dem Os carpi ulnare die Ossa carpalia in medialer Richtung vom vierten zum ersten rückwärts durchzuzählen. Medial vom gut abgrenzbaren Os carpale secundum war das kleine Os carpale primum zumindest in Anschnitten zu erkennen. Dabei war es im Transversalbild leicht mit der Basis des Os metacarpale primum zu verwechseln. In Sagittal- und Dorsalschnittbildern war seine Lage direkt proximal der Basis des Os metacarpale primum ersichtlich. Aber auch in diesen Ebenen zeigte es sich oft unregelmäßig konturiert und war nicht immer sicher vom Os carpale secundum sowie vom Os carpi intermedioradiale und vom Os metacarpale primum abzugrenzen.

3.4.1.7 *Os carpale secundum*

Das Os carpale secundum konnte in transversalen Bildern zwischen Os carpale primum und tertium immer gut erkannt werden. Es besaß einen dreieckigen transversalen Querschnitt mit palmarer Spitze und dorsaler Basis. Die Kontur zu seinen Nachbarn war nicht immer scharf und klar. Der proximodistale Übergang vom großen Os carpi intermedioradiale zum Os carpale secundum ergab bei der Differenzierung und Zuordnung weniger Schwierigkeiten als der Übergang vom Os carpale secundum zum im Transversalschnitt sehr ähnlichen Os metacarpale secundum. Diese Schwierigkeit ergab sich in sagittalen und dorsalen Schnitten nicht. Hier fand sich das Os carpale secundum stets direkt proximal der Basis des Os metacarpale secundum und konnte klar identifiziert werden. In Sagittalschnitten zeigte sich seine proximale Gelenkfläche deutlich konvex. Die distale Oberfläche stellte sich eher plan

dar. Das Os carpalum secundum war auf sagittalen Bildern meist von seinen beiden Nachbarn, dem Os carpalum primum und secundum, nicht sicher abzugrenzen. Diese Abgrenzung ermöglichten dorsale Bilder. Die palmaromediale Kontur des Os carpalum secundum war aber auch in dorsalen Bildern meist unscharf. Seine Gelenkflächen stellten sich proximal konvex und distal plan dar. Die hypointense Kortikalis des Os carpalum secundum zeigte eine unregelmäßige Stärke. Das Mark gab stets ein intermediäres Signal.

3.4.1.8 *Os carpalum tertium*

Das Os carpalum tertium zeigte sich in Transversalbildern der distalen Karpalgelenksreihe stets als schmaler, mediolateral abgeplatteter, seitlich leicht taillierter Knochen, der medial durch das Os carpalum secundum und lateral durch das Os carpalum quartum flankiert wurde. Seine Kranial- und Kaudalfläche stellten sich plan bis konvex dar. Stets konnte es zuverlässig von seinen beiden Nachbarn innerhalb der distalen Reihe abgegrenzt werden. Die im Transversalbild unscharfe distale und proximale Trennlinie zeigte sich sehr deutlich in Sagittal- und Dorsalbildern. In sagittal orientierten Bildern stellten sich seine Gelenkflächen proximal deutlich konvex und distal deutlich konkav dar. Die Gelenkflächen zu seinen seitlichen Nachbarn, dem Os carpalum secundum und dem Os carpalum quartum, waren auf sagittalen Bildern nicht ersichtlich. Seine Gelenkflächen erschienen in dorsalen Bildern proximal und distal in geringem Maße konvex, lateral eher gerade konfiguriert. Die Kortikalis war hypointens unregelmäßig, das Mark gab ein intermediäres Signal.

3.4.1.9 *Os carpalum quartum*

Das Os carpalum quartum nahm im Transversalschnittbild mit seiner dreieckigen Form die größte Fläche aller Karpalknochen der distalen Reihe ein. Dadurch konnte es stets sicher identifiziert werden und diente als Anhaltspunkt, um die benachbarten Karpalknochen der distalen Reihe abzuzählen. In proximalen Transversalschnitten der distalen Karpalreihe war dem Os carpalum quartum stets der distale Anteil des Os carpi ulnare lateral benachbart. In distalen Transversalschnitten zeigte sich an seiner Lateralfläche der proximal ragende laterale Höcker der Basis des Os metacarpale quintum. Beide knöchernen Strukturen konnten nicht auf allen Schnittbildern klar vom Os carpalum quartum abgegrenzt werden. Im Sagittalschnittbild zeigten sich seine deutlich konvexe und palmar abfallende proximale Gelenkfläche sowie seine nur in geringem Maße konkave distale Oberfläche. Die Gelenkflächen zu seinen medial und lateral gelegenen Nachbarn, die sagittal nicht ersichtlich waren, konnten auf dorsalen Bildern gut erkannt werden. Dabei zeigten kaudale Dorsalbilder vom Os carpalum quartum eine eher dreieckige Form, kraniale eine unregelmäßig vier- bis fünfeckige Form. Die distale Fläche stellte sich durchwegs plan dar. Die proximale Gelenkfläche zeigte sich im kaudalen Anteil ebenfalls plan, fiel aber im kranialen Bereich durch eine zwischen Os carpi intermedioradiale und ulnare hineinragende Spitze auf. Die unregelmäßige dunkle Kortikalis erschien im Bereich der palmaren Spitze meist in allen drei Ebenen etwas dicker. Das Knochenmark des Os carpalum quartum zeigte eine körniges, intermediäres Signal.

3.4.1.10 *Ossa metacarpalia primum, secundum, tertium, quartum und quintum*

Die Ossa metacarpalia primum, secundum, tertium, quartum und quintum zeigten sich distal des Karpus röhrenförmig nebeneinander in einem leichten Bogen angeordnet. Ihre hypointense Kortikalis im Bereich der Basis stellte sich unregelmäßig dick dar. Weiter distal im Schaftbereich zeigte sich die Kompakta kräftig, regelmäßig, klar abgesetzt und deutlich hypointens. Ihr Knochenmark gab in der proximalen Basis ein intermediäres Signal, das dem

der Karpalknochen ähnlich war. Das diaphysäre Mark zeigte sich dazu im Vergleich in geringem Maße hyperintens.

Das Os metacarpale primum war in transversalen Bildern distal des Karpometakarpalgelenkes medial am Karpus immer gut zu erkennen und besaß stets einen deutlich geringeren Durchmesser als die lateral benachbarten übrigen Metakarpalia. Seine unregelmäßig mediolateral abgeflachte ovale Basis lag medial der restlichen Metakarpalknochen. Sein ovaler Schaft separierte und verjüngte sich in den distal folgenden Transversalbildern und kam dabei deutlich kaudomedial der übrigen Metakarpalknochen zu liegen. Sagittale und dorsale Bilder zeigten oft seinen gesamten Schaft mit der proximalen Basis und dem distalen Caput. Auch die Ossa metacarpalia secundum, tertium, quartum und quintum waren distal des Karpus immer gut sichtbar. Der karpometakarpale Übergang war in Transversalschnitten nicht immer klar zu erkennen. Die Metakarpalknochen konnten auf Höhe ihrer Basis jedoch gut an ihrer typischen Form erkannt werden, denn das Os metacarpale tertium und quartum besaßen einen T-förmigen Querschnitt im Transversalbild. Der Querschnitt der Basis des Os metacarpale secundum zeigte eine unregelmäßige Keilform mit dorsaler Basis, der des Os metacarpale quintum stellte sich queroval und medial abgeplattet dar. Im proximalen Schaft zeigten sie einen quadratisch bis abgerundet ovalen Querschnitt. Sagittale und dorsale Bilder lieferten einen guten Überblick über die Konfiguration der Art. carpometacarpea. Sagittal konnte man die proximal plan geformten Gelenkflächen des Os metacarpale primum und secundum sowie die konvex geformten proximalen Gelenkflächen der übrigen Metakarpalknochen erkennen. Dorsalbilder zeigten, dass die Basis des Os metacarpale secundum und der laterale Fortsatz der Basis des Os metacarpale quintum etwas weiter proximal reichten als die Basen der übrigen Metakarpalknochen. Unterhalb der Basis konnte man eine leichte Taillierung der Metakarpalia erkennen.

3.4.2 Gelenke

Die Articulationes antebrachioarpea, mediocarpea und carpometacarpeae konnten besonders gut in sagittal und dorsal orientierten Bildern beurteilt werden. Transversale und sagittale Bilder erlaubten die beste Darstellung der Articulatio ossis carpi accessorii. Transversale und dorsale Bilder ermöglichten den besten Überblick über die Articulationes intercarpeae und intermetacarpeae.

3.4.3 Bänder

3.4.3.1 *Lig. radioulnare distale*

Das Lig. radioulnare distale war am besten in transversalen Bildern auf dem letzten distalen Schnitt durch die Trochlea radii direkt oberhalb des antebrachiokarpalen Gelenkspaltes erkennbar. Es lag zwischen dem lateralen knöchernen Sagittalkamm der Trochlea radii und dem Proc. styloideus ulnae direkt unter der Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers. Es zeigte sich als hypointense, geradlinig verlaufende Struktur, war jedoch nicht immer zu identifizieren. In dorsalen Bildern konnten gelegentlich Teile des Bandes in der Nische kranial zwischen Proc. styloideus ulnae und Trochlea radii gesehen werden. Im Sagittalschnitt war das Band kaum abgrenzbar. Oft konnte es nicht sicher vom Lig. radiocarpeum dorsale abgegrenzt werden. Proximal vom Lig. radioulnare distale war in transversal orientierten Bildern zwischen der Incisura ulnaris radii und der Circumferentia articularis ulnae um das distale Radioulnargelenk herum eine sehr kurze hypointense Struktur erkennbar, die die Trochlea radii und den Proc. styloideus ulnae verband. Direkt oberhalb der Incisura ulnaris radii und der Circumferentia articularis ulnae waren die subchondralen Knochenlamellen von Radius und Ulna deutlich dünner ausgebildet. Die bandartigen Strukturen kranial und kaudal

des distalen Radioulnargelenkes schienen sich proximal und distal des Gelenkes zu verbinden. Im kranialen Bereich des distalen Radioulnargelenkes war diese hypointense Struktur am kräftigsten ausgeprägt. Der distale Anteil lag dabei direkt oberhalb des Antebrachiokarpalgelenkes und war nicht sicher vom Lig. radioulnare distale zu trennen. Dabei könnte es sich möglicherweise um proximale Anteile des Lig. radioulnare distale oder um verstärkte Fasern der Gelenkkapselfibrosa des distalen Radioulnargelenkes handeln. Eine direkte Kommunikation mit dem Antebrachiokarpalgelenk war nicht offensichtlich erkennbar. In transversalen Bildern waren diese Strukturen des distalen Radioulnargelenkes lediglich in Anschnitten als hypointense Strukturen zwischen Trochlea radii und Proc. styloideus ulnae erkennbar. Sagittale Bilder ließen die distale Verbindung zwischen Radius und Ulna nicht klar erkennen.

3.4.3.2 Ligg. collateralia, Seitenbänder

3.4.3.2.1 Lig. collaterale carpi laterale

Das laterale Kollateralband war im Transversalbild direkt distal des Proc. styloideus ulnae und lateral des proximolateralen Anteils des Os carpi ulnare und kraniolateral der Basis des Os carpi accessorium als hypointense, längliche, schlanke Struktur meist nur auf einem bis zwei Schnittbildern zu erkennen. Es ließ sich im Transversalschnitt schlecht vom Lig. accessoriocarpoulnare differenzieren. Im Sagittalschnitt war das laterale Kollateralband oft nicht erkennbar. Wenn es sich darstellte war die Abgrenzung kaudal zum Lig. accessoriocarpoulnare gelegentlich möglich. In den Dorsalschnitten stellte sich das laterale Seitenband distal des Proc. styloideus ulnae als hypointense, in Gliedmaßenlängsachse verlaufende Struktur dar. Die Sehne des seitlichen Zehenstreckers verlief dabei parallel und lateral vom Lig. collaterale laterale. Das Band war im gesamten Verlauf bis zum Os carpi intermedioradiale meist auf einem einzigen Schnitt zu erkennen. Es ergaben sich auch in dorsal orientieren Bildern Schwierigkeiten bei der Abgrenzung vom Lig. accessoriocarpoulnare.

3.4.3.2.2 Lig. collaterale carpi mediale

Das mediale Kollateralband war meist direkt distal des Proc. styloideus radii zu erkennen. Es zeigte einen palmar gerichteten Verlauf zur Lateralfläche des palmaromedial gerichteten Höckers des Os carpi intermedioradiale. Medial des Antebrachiokarpalgelenkes stellte sich in Transversalschnitten eine große, signalarme, schlecht konturierte Struktur dar. Sie bestand aus der stark hypointensen Kortikalis des medialen Proc. styloideus radii und des Os carpi intermedioradiale, aus dem medialen Seitenband sowie aus der Endsehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus. Diese Strukturen konnten nur gelegentlich und nur auf einzelnen Schnittbildern in wenigen Anschnitten sicher auseinandergehalten werden. Auch in Dorsalbildern konnte das mediale Seitenband nur gelegentlich klar identifiziert werden. Meist ergaben sich auch in dieser Ebene Probleme bei der Abgrenzung von der Endsehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus und von der knöchernen Kortikalis. Sagittal orientierte Bilder erwiesen sich ebenfalls als wenig zuverlässig in der Darstellung des medialen Seitenbandes. Es stellte sich nur gelegentlich und oft unscharf dar.

3.4.3.3 Ligg. antebrachioarpea

3.4.3.3.1 Lig. radiocarpeum dorsale

Das in transversalen Bildern nicht immer sicher abgrenzbare Lig. antebrachioarpeum dorsale war meist direkt unterhalb des Lig. radioulnare distale erkennbar. Am besten stellte sich der

distale Anteil im Bereich des Os carpi ulnare dar. Der proximale radiale Anteil konfluierte oft mit den Lig. antebrachio-carpeum dorsale. In Sagittal- und Transversalschnitten waren manchmal hypointense Bandanschnitte zu erkennen, die oft nicht sicher zugeordnet werden konnten.

3.4.3.4 *Lig. carpi palmare profundum*

3.4.3.4.1 *Lig. radiocarpeum palmare*

Das Lig. radiocarpeum palmare war im Transversalschnitt als hypointense, dorsoventral abgeplattete Struktur direkt kaudal der distalen Radiuskante erkennbar und distal bis zum Os carpi intermedioradiale zu verfolgen. Das Band war direkt kranial bzw. dorsal der tiefen Beugesehne gelegen und schlecht zur Umgebung abzugrenzen. Es ergaben sich auf Höhe des antebrachio-karpalen Gelenkspaltes Schwierigkeiten bei der klaren Abgrenzung vom Lig. ulnocarpeum palmare. Beide Bänder setzten in unmittelbarer Nachbarschaft palmar am Os carpi intermedioradiale an. In sagittal geschnittenen Bildern konnte das Lig. radiocarpeum palmare als kräftige, bogenförmig bis gerade verlaufende, wenig intense Struktur kaudal des Antebrachio-karpalgelenkes abgegrenzt werden. Am besten war es im medialen Bereich direkt lateral der Endsehne des M. flexor carpi radialis erkennbar. Weiter lateral in Richtung des Os carpi intermedioradiale ließ sich das Lig. radiocarpeum palmare schlecht vom Lig. ulnocarpeum palmare abgrenzen. Im Dorsalschnitt war das platte Lig. radiocarpeum am schlechtesten zu erkennen, da es meist durch Partialvolumeneffekte von Anschnitten der eng benachbarten kaudalen Kortikalis von Radius und Os carpi intermedioradiale oder der tiefen Beugesehne maskiert wurde. Es ließ sich in dorsal orientierten Bildern am besten vom lateral benachbarten Lig. ulnocarpeum palmare abgrenzen. Dies verlief schräg, war meist klar konturiert und signalärmer.

3.4.3.4.2 *Lig. ulnocarpeum palmare*

Das Lig. ulnocarpeum palmare war im Transversalschnitt von der konkaven Medialfläche des Proc. styloideus ulnae auf Höhe des distalen Radioulnargelenkes ausgehend als deutlich hypointense, bandartige, kräftige Struktur zu erkennen. Von dort zog es distaler und medial an der kaudalen Fläche der Trochlea radii entlang und endete palmar am Os carpi intermedioradiale. Es war proximal durch das helle Fettsignal der Umgebung sehr gut erkennbar. Sein jeweiliger Anschnitt stellte sich oft bis zum Os carpi intermedioradiale gut dar. Distal ließ es sich nicht immer klar vom Lig. radiocarpeum palmare abgrenzen. Auch in sagittal orientierten Bildern stellte es sich meist gut dar. Im distalen Anteil ergaben sich auch im Sagittalschnitt Schwierigkeiten bei der sicheren Differenzierung vom palmaren Radiokarpalband. Auf Dorsalbildern stellte sich das Lig. ulnocarpeum gelegentlich im gesamten Verlauf auf einem einzigen oder sehr wenigen Schnitten dar. Es zog dabei als signalarmes langes Band an der Palmarfläche des Karpus im schrägen Verlauf über das Antebrachio-karpalgelenk und verband den Proc. styloideus ulnae mit dem Os carpi intermedioradiale. Das Dorsalschnittbild, in dem es meist gut abgrenzbar war, verschaffte dem Betrachter einen guten Überblick über seinem Verlauf.

3.4.3.4.3 *Proximaler Anteil der Fibrocartilago carpometacarpeum palmare bzw. Lig. carpi radiatum*

Aufgrund der uneinheitlichen Nomenklatur der Palmarbänder, insbesondere der einzelnen Anteile des Lig. carpi palmare profundum und der unterschiedlichen Angaben über den genauen Verlauf des Lig. carpi radiatum, werden in den später folgenden Abbildungen die tomographisch nicht weiter differenzierbaren Bandmassen palmar des mediokarpalen und karpometakarpalen Gelenkspaltes, mit Ausnahme des Lig. carpometacarpeum palmare und

der Bänder des Os carpi accessorium, einheitlich als Fibrocartilago carpometacarpeum palmare zusammengefasst.

Das Lig. carpi radiatum bzw. der mediokarpale Anteil der Fibrocartilago carpometacarpeum palmare war in Transversalschnitten direkt dorsal der tiefen Beugesehne und medial der Endsehne des M. flexor carpi radialis als hypointense, querverlaufende, oft schlecht abgrenzbare Struktur palmar des mediokarpalen Gelenkspaltes erkennbar. Der genaue Verlauf war in Transversalschnitten nicht klar ersichtlich. Der zwischen Os carpi intermedioradiale und Os carpale tertium verlaufende Anteil konnte meist identifiziert werden. Der Schenkel zum Os carpale tertium war transversal meist nicht sicher darstellbar. In Sagittalschnitten medial des Os carpi accessorium und lateral der Endsehne des M. flexor carpi radialis, direkt palmar des mediokarpalen Gelenkspaltes, war der Bandverlauf zwischen Os carpi intermedioradiale und Os carpale tertium besser zu erkennen. Gelegentlich war auch der Schenkel zum Os carpale secundum in Anschnitten sichtbar. In Dorsalschnitten war das Band normalerweise nicht identifizierbar.

3.4.3.5 *Ligg. ossis carpi accessorii*

3.4.3.5.1 *Lig. accessorioulnare*

Das Lig. accessorioulnare war mit einigen Schwierigkeiten in Transversalbildern gelegentlich auf Höhe des antebrachiokarpalen Gelenkspaltes direkt medial der Gelenkfläche des Os carpi accessorium erkennbar. Es zeigte sich als platte hypointense Struktur, die kaudal und distal aus dem Lig. ulnocarpeum palmare abzweigte und direkt darunter an das Os carpi accessorium zog. Es heftete sich an der Basis medial und proximal der kranial gelegenen Gelenkfläche des Erbsenbeins an. In Sagittal- und Dorsalschnitten war es kaum zu erkennen.

3.4.3.5.2 *Lig. accessoriocarpoulnare*

Der medial vom Os carpi accessorium verlaufende Anteil des Lig. accessoriocarpoulnare war in transversalen Bildern direkt distal des Lig. accessorioulnare als hypointense Struktur in quer verlaufender Richtung zwischen dem medialen Anteil der Basis des Os carpi accessorium und den Bandmassen auf der Palmarseite des Antebrachiokarpalgelenkes sichtbar. Seine Anheftungsstelle am Lig. ulnocarpeum palmare war nicht klar zu erkennen. In Sagittalschnitten konnte es dorsal, proximal und medial an der Basis des Os carpi accessorium partiell erkannt werden. In Dorsalschnitten war es meist nicht sicher von den anderen palmaren Bändern des Antebrachiokarpalgelenkes abzugrenzen.

Der laterodistal von der Basis des Os carpi accessorium zur Lateralfäche distal und palmar des Os carpi ulnare verlaufende Schenkel des Lig. accessoriocarpoulnare war in Transversalschnitten distal und lateral der dorsalen Gelenkfläche der Basis des Os carpi accessorium in hypointensen Anschnitten distal zum Os carpi ulnare zu sehen. In Sagittalschnitten war dieses Band am besten in Anschnitten direkt distal der Gelenkfläche des Os carpi accessorium zum Os carpi ulnare als hypointense Verbindung zwischen beiden Knochen zu erkennen. In dorsal ausgerichteten Schnittbildern war dieses Band kaum sicher zu identifizieren.

3.4.3.5.3 *Lig. accessoriometacarpeum*

Das Lig. accessoriometacarpeum mediale (IV) und das Lig. accessoriometacarpeum laterale (V) waren in transversal orientierten Bildern als zwei ovale bis längliche, hypointense, parallel verlaufende Anschnitte distal des palmaren Fortsatzes des Os carpi accessorium zu erkennen. Sie verliefen vom lateralen und medialen Anteil des palmaren Höckers des Os carpi accessorium zur palmaren Kortikalis der Basis des Os metacarpale quintum respektive quartum. Auf Sagittalschnitten war ihr Verlauf am besten zu erkennen. Gelegentlich war der

gesamte Verlauf eines einzelnen Schenkels auf einem einzigen Bild in toto zu sehen. Oft war jedoch das Band auch in sagittalen Bildern nur partiell angeschnitten sichtbar. Sein Signal war gering, meist jedoch etwas stärker als das des kortikalen Knochens. In Dorsalschnitten waren beide Anteile oft nur schlecht zu sehen. Sie zogen als zwei längliche, hypointense, parallel verlaufende Anschnitte vom palmaren Höcker distal zur Palmarfläche der Basis der Ossa metacarpalia quartum und quintum.

3.4.3.6 *Ligg. intercarpea*

3.4.3.6.1 *Ligg. intercarpea dorsalia*

Das zwischen dem Os carpi ulnare und dem Os carpale quartum verlaufende Band konnte manchmal in Transversalschnitten als flache hypointense Verbindung zwischen Os carpi ulnare und Os carpale quartum an der Dorsalfläche des Karpus erkannt werden. In Sagittal- und Dorsalschnitten konnte es nicht zuverlässig identifiziert werden.

Das auf der Dorsalfläche zwischen Os carpi intermedioradiale und Os carpi ulnare quer verlaufende Band war in Transversalschnitten als feine hypointense Linie gelegentlich sichtbar. Es konnte meist nicht sicher vom direkt proximal davon gelegenen Lig. radiocarpeum dorsale abgegrenzt werden. In Sagittal- und Dorsalschnitten war es meist nicht zu erkennen.

Die drei divergierenden Bandzüge, die dorsal über den mittleren Karpalgelenksspalt vom Os carpi intermedioradiale zum Os carpale secundum, tertium und quartum ziehen, konnten in Transversalschnitten andeutungsweise als sehr kleine, flache, dunkle, distal auseinanderlaufende Strukturen von der dorsodistalen Kante des Os carpi intermedioradiale bis zur jeweilige dorsoproximalen Kante des Os carpale secundum, tertium und quartum gesichtet werden. Eine sicheres Ansprechen dieser Strukturen und eine klare Abgrenzung voneinander und von der Umgebung war meist nicht möglich. In sagittal orientierten Bildern waren gelegentlich feine, hypointense Verbindungen an der Dorsalfläche zwischen proximaler und distaler Karpalgelenksreihe zu erkennen, die aber meist nicht sicher einem Einzelnen der drei Bänder zugeordnet werden konnten. In Dorsalbildern waren diese Bänder meist nicht zu identifizieren.

Innerhalb der distalen Karpalgelenksreihe verbinden zwei dorsale querverlaufende Bänder das Os carpale secundum mit dem Os carpale tertium und das Os carpale tertium mit dem Os carpale quartum. Diese Bänder waren manchmal auf Transversalschnitten als dünne hypointense Verbindungslinien zwischen den Dorsalflächen des Os carpale secundum, tertium und quartum distal der Art. mediocarpea zu erkennen. Meist waren sie nicht sicher abgrenzbar. Auf Sagittal- und Dorsalbildern stellten sie sich gewöhnlich nicht ausreichend dar, um sie zuverlässig zu identifizieren.

3.4.3.6.2 *Lig. intercarpeum palmare*

Diese Band war in Transversalschnitten an der Beugeseite zwischen dem Os carpi ulnare und dem Os carpi intermedioradiale im distalen Bereich als feine dunkle Linie oft erkennbar. Auf sagittal orientierten Bildern war es nicht zu erkennen. Selten konnte man Anschnitte des Bandes in dorsalen Bildern sehen.

3.4.3.6.3 *Ligg. intercarpea interossea*

Diese Bänder waren zwischen dem Os carpi intermedioradiale und dem Os carpi ulnare, zwischen dem Os carpale secundum und tertium sowie zwischen dem Os carpale tertium und quartum in dorsal und transversal nicht jedoch in sagittal orientierten Bildern zu erkennen.

3.4.3.7 *Ligg. carpometacarpeae*

3.4.3.7.1 *Ligg. carpometacarpea dorsalia*

Das kurze, längs zur Gliedmaßenachse dorsal über den mittleren Karpalgelenkspalt verlaufende Band zwischen Os carpale tertium und Os metacarpale tertium konnte in Transversalschnitten als dorsoventral abgeplattete, hypointense Struktur manchmal identifiziert werden. Im Sagittalschnitt, wo es ebenfalls manchmal zu sehen war, war sein Verlauf besser zu verfolgen. Dennoch war es von den benachbarten Bändern nicht immer sicher abzugrenzen. In dorsal orientierten Bildern war es normalerweise nicht zu erkennen.

Das dorsal gelegene Karpometakarpalband, welches das Os carpale tertium mit der Basis des Os metacarpale quartum verbindet, konnte in Transversalbildern lateral und dorsal der Art. carpometacarpea gelegentlich als hypointense Struktur zwischen diesen beiden Karpalknochen andeutungsweise erkannt werden. Eine sichere Abgrenzung zu den benachbarten Bändern war in Transversalschnitten nicht möglich. In Sagittalschnitten war der distale Bandanteil kranial des karpometakarpalen Gelenkspaltes kranioproximal der Basis des Os metacarpale quartum als sehr feine dunkle Linie kranial des Gelenkspaltes in Anschnitten zu erkennen. In den medial benachbarten Sagittalschnitten war der Ansatz am Os carpale tertium jedoch deutlich schlechter zu erkennen, da dieser sich gemeinsam mit dem zwischen Os carpale tertium und Os metacarpale tertium verlaufenden Band darstellte. In dorsal orientierten Bildern konnte das Band nicht identifiziert werden.

Das dorsale Karpometakarpalband, welches das Os carpale quartum mit der Basis des Os metacarpale quintum verbindet war transversal als signalarme Struktur dorsolateral zwischen Os carpale quartum und der im Vergleich zu den benachbarten Metakarpalknochen weit proximal reichenden Basis des Os metacarpale quintum direkt kranial des Gelenkspaltes zwischen Os carpi ulnare und Os metacarpale quintum erkennbar. In sagittalen Bildern waren meist Teile des Bandes in Anschnitten proximal und dorsal der Basis des Os metacarpale quintum erkennbar. Der Verlauf des Bandes war in Sagittalbildern kaum ersichtlich. In dorsal orientierten Bildern konnte das Band in den allermeisten Fällen nicht identifiziert werden.

3.4.3.7.2 *Lig. carpometacarpeum palmare*

Dieses einzelne Band konnte in einigen einzelnen Transversalschnitten medial der Endsehne des M. flexor carpi radialis als kleine, runde, dunkle Struktur gesehen werden. Sie tauchte distal des Os carpi intermedioradiale auf und war im Bereich der Aufzweigung der Endsehne des M. flexor carpi radialis nicht mehr sicher von diesen beiden Strukturen zu differenzieren. Weiter distal schien das Band direkt oberhalb der Endsehne des M. flexor carpi radialis palmar am Os metacarpale secundum zu inserieren. Eine sichere Zuordnung der sichtbaren Strukturen war jedoch meist nicht möglich. In Sagittal- und Dorsalschnitten war medial des M. flexor carpi radialis das Band ebenfalls partiell gelegentlich zu erkennen. Auch hier war der gesamte Verlauf nicht sichtbar und eine klar Zuordnung nicht möglich.

3.4.3.7.3 *Distaler Anteil der Fibrocartilago carpometacarpeum palmare respektive die karpometakarpalen Anteile des Lig. carpi palmare profundum/Lig. carpi radiatum*

Aufgrund der uneinheitlichen Nomenklatur der Palmarbänder, insbesondere der einzelnen distalen Anteile des Lig. carpi palmare profundum und der unterschiedlichen Angaben über den genauen Verlauf seines Lig. carpi radiatum, werden in den später folgenden Abbildungen die tomographisch nicht weiter differenzierbaren Bandmassen palmar des mediokarpalen und karpometakarpalen Gelenkspaltes, mit Ausnahme des Lig. carpometacarpeum palmare und der Bänder des Os carpi accessorium, einheitlich als Fibrocartilago carpometacarpeum palmare zusammengefasst.

In Transversalschnitten waren diese palmaren Bandmassen als dunkle, hypointense, schlecht abgrenzbare Struktur palmar des karpometakarpalen Gelenkspaltes und dorsal der tiefen Beugesehne zu erkennen. Am kräftigsten waren sie palmarodistal der Ossa carpalia tertium und quartum sowie palmar der Basen der Ossa metacarpalia tertium und quartum. Sie stellten sich signalreicher dar als die beiden Beugesehnen, aber wesentlich signalärmer als die sich weiter distal anschließenden Mm. interossei. Sagittale Bilder stellten die palmaren karpometakarpalen Bänder am besten dar. Direkt kaudal des karpometakarpalen Gelenkspaltes waren diese signalarmen Strukturen meist gut erkennbar. Sie zeigten sich mit palmar konvexem, bogenförmigem Verlauf direkt dorsal der tiefen Beugesehne. Auch im Sagittalschnitt zeigten sich die palmaren Bandmassen am stärksten palmarodistal der Ossa carpalia tertium und quartum sowie palmar der Basen der Ossa metacarpalia tertium und quartum. Lateral und medial davon, palmar der Ossa carpalia secundum und quintum sowie palmar der Basis des Os metacarpale secundum und palmarolateral am Os carpale quartum zeigten sich die palmaren karpometakarpalen Bänder nur sehr undeutlich als dünne Faserzüge und meist schwer abgrenzbar. In dorsalen Bildern stellt sich diese Bandplatte als hypointense, große, kaum abgrenzbare Struktur zwischen Karpalknochen und tiefer Beugesehne dar.

3.4.3.8 Ligg. metacarpea

Zwischen den Basen einander benachbarter Metakarpalknochen stellten sich hypointense, querverlaufende Bandstrukturen dar. Es waren jeweils mehrere einzelne Faserzüge und sie erstreckten sich über eine Schaftstrecke von knapp einen Zentimeter auf Höhe der Basis distal der Gelenkflächen zwischen den Ossa metacarpalia secundum bis quintum. Zwischen dem Os metacarpale primum und secundum waren solche hypointense Strukturen über wenige Millimeter sichtbar. Die Ligg. metacarpea waren in transversalen Bildern am besten zu erkennen und stellten sich auch in dorsal orientierten Bildern zum Teil dar. In Sagittalschnitten waren die Bandstrukturen nicht von der knöchernen Kortikalis der Metakarpalknochen zu differenzieren.

3.4.4 Muskeln und Sehnen

3.4.4.1 M. extensor carpi radialis

Im Transversalschnitt stellte sich am Karpalgelenk die im gesamten Verlauf völlig hypointense Endsehne des M. extensor carpi radialis auf der Kranialfläche der Trochlea radii im proximalen Bereich als platte einzelne Endsehne dar. Kranial von ihr kreuzte die ebenfalls platte Sehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus lateromedial über sie hinweg. Die Endsehne des M. extensor carpi radialis senkte sich ihrem Verlauf distal in den mittleren Sulcus der Trochlea radii ein, nahm einen eher ovalen Querschnitt an und teilte sich in ihre beiden Endsehnen auf. Diese beiden rundlich bis leicht ovalen Schenkel verliefen parallel nebeneinander durch die mittlere Rinne der Trochlea radii distal. Dorsal vom Os carpi intermedioradiale begannen sie zu divergieren und eine stärker ovale Form anzunehmen. Der laterale, kräftigere und der mediale, schwächere Schenkel kamen auf Höhe der distalen Karpalgelenksreihe kranial des Os carpale secundum respektive tertium zu liegen. Dabei nahmen beide im Querschnitt eine deutlich dorsopalmar abgeplattete Form an. Direkt distal des karpometakarpalen Gelenkspaltes inserierten die beiden Schenkel der Endsehne dorsal an der Basis des Os metacarpale secundum und tertium. Im Sagittalschnitt stellte sich die Endsehne im gesamten Verlauf kranial der Trochlea radii bis zum Ansatz an den Metakarpalknochen als gut abgrenzbare, hypointense, längliche Struktur dar. Im Sagittalschnitt konnte die Aufzweigung der beiden Schenkel der Endsehne nicht gut

dargestellt werden. Der Ansatz der beiden Schenkel an den Ossa metacarpalia secundum et tertium war jedoch oft isoliert zu erkennen. Im Dorsalschnitt konnte gelegentlich die Aufzweigung der Endsehne in die beiden Schenkel gesehen werden, der Ansatz der beiden Schenkel war meistens nicht genau ersichtlich.

3.4.4.2 *M. extensor carpi ulnaris*

Im Transversalschnitt lag oberhalb des Antebrachiokarpalgelenkes lateral am Unterarm die mediolateral stark abgeplattete hypointense Endsehne des *M. extensor carpi ulnaris* dem Proc. styloideus ulnae lateral auf. Dabei schmiegte sie sich mit medial leicht konvexem Sehnenquerschnitt der abgerundeten Knochenoberfläche an und war durch einen feinen, hyperintensiven Saum von der ebenfalls hypointensen Kortikalis der Ulna getrennt. Distal vom Proc. styloideus ulnae war die abgeplattete hypointense Endsehne des *M. extensor carpi ulnaris* lateral des hypointensen Lig. collaterale carpi laterale gelegen und gut abgrenzbar. Der *M. extensor carpi ulnaris* zog lateral am Seitenband vorbei und inseriert lateral an der Basis des Os metacarpale quintum. Im Sagittalschnitt war der *M. extensor carpi ulnaris* meist nur undeutlich und partiell angeschnitten zu erkennen. Im Dorsalschnitt konnte er im gesamten Verlauf über die Lateralfläche des Karpus gut gesehen werden. Bisweilen war seine mediale Kontur von der hypointensen Kortikalis des Proc. styloideus ulnae und des Os carpi ulnare, sowie von lateralen Kollateralband nur schlecht abgrenzbar.

Die beiden in dorsaler und palmarer Richtung ins Retinaculum extensorum und flexorum abzweigenden Faserzüge konnten in transversalen Bildern als feine, hypointense, dunkle Linien am besten auf Höhe der proximalen Karpalgelenksreihe gesehen werden. Ein Abzweig verlief von der kranialen Kante des *M. extensor carpi ulnaris* kraniodorsal über die Sehnen auf der Streckseite hinweg ins Retinaculum extensorum. Der andere zog von der palmaren Kante des *M. extensor carpi ulnaris* palmar an der Lateralfläche des Os carpi accessorium vorbei und um seinen Höcker palmar herum und strahlte dann ins Retinaculum flexorum ein. Diese faszienartig hypointensen Strukturen konnten in Sagittalschnitten palmar vom Os carpi accessorium und in Dorsalschnitten lateral vom Os carpi accessorium als hypointensen Linien identifiziert werden.

3.4.4.3 *M. flexor carpi ulnaris*

Im Transversalschnitt waren proximal vom Os carpi accessorium kaudal am Unterarm die beiden Köpfe des *M. flexor carpi ulnaris* gut zu sehen. Der kräftigere Humeruskopf stellte sich, noch im muskulösen Bereich angeschnitten, als ovales Gebilde mittlerer Intensität dar. Die hypointense ovale Endsehne des Caput ulnare war ihm kaudolateral aufgelagert. Vor dem Ansatz am Os carpi accessorium wanderte die Endsehne des Caput ulnare kranial vor die sehr kurze Endsehne des Humeruskopfes. Die beiden im Transversalschnitt querovalen Schenkel kamen hintereinander proximal vom Os carpi accessorium zu liegen. Im Transversalschnitt waren die Endsehnen der beiden Köpfe am Ansatz am Os carpi accessorium nicht immer sicher voneinander und von der Kortikalis des Os carpi accessorium zu differenzieren. Im Sagittalschnitt konnten die beiden Endsehnen am Ansatz am Os carpi accessorium bisweilen isoliert erkannt werden. Jedoch war der Umschlag der Endsehne des Caput ulnare vor die Endsehne des Humeruskopfes proximal vom Ansatz am Os carpi accessorium kaum ersichtlich. Im Dorsalschnitt war der Muskelbauch des Humeruskopfes gut zu erkennen. Seine Endsehne sowie die Endsehne des Caput ulnare waren meist nur angeschnitten und im Verlauf kaum zuverlässig beurteilbar.

Palmar vom Os carpi accessorium zeigte sich stets eine hypointense, dünne, faszienartige Struktur. Sie zog medial ins Retinaculum flexorum und lateral zum *M. flexor carpi radialis*. Dieser palmare Abzweig des *M. flexor carpi radialis* schien sich mit einem palmaren Abzweig

aus dem *M. flexor carpi ulnaris* zu verbinden. Sie formten zusammen eine kappenartige hypointense Struktur palmar vom *Os carpi accessorium*. Distal verlief diese Struktur parallel zum *Lig. accessoriometacarpeum* und schien sich proximal der Sondermuskeln der fünften Zehe zu verlieren.

3.4.4.4 *M. flexor carpi radialis*

Im Transversalschnitt stellte sich kaudomedial vom Radius gelegen die rundliche, hypointense Endsehne des *M. flexor carpi radialis* dar. Im Verlauf distal war sie palmar vom palmaromedialen Fortsatz des *Os carpi intermedioradiale* in einer knöchernen Rinne als einzelne Sehne gut abgrenzbar. Auf Höhe der *Art. mediocarpea* teilte sie sich in zwei Schenkel auf. Direkt nach der Aufteilung waren die beiden einzelnen Sehnen noch gut zu sehen. Danach waren sie für einige Schnitte schwer zu erkennen und oft schlecht von ihrer Umgebung abgrenzbar, aber meist zu identifizieren. Direkt an ihrem Ansatz am *Os metacarpale secundum* und *tertium* konnten die beiden Schenkel wieder besser abgegrenzt werden. Im Sagittalschnitt stellte sich die hypointense Endsehne im Verlauf durch den Karpaltunnel meist gut dar. Die Aufspaltung in die beiden Endsehnen war in den allermeisten Fällen nicht zu identifizieren. Der Ansatz der beiden Schenkel palmar an der Basis der *Ossa metacarpalia secundum et tertium* war in Anschnitten oft zu erkennen. Im Dorsalschnitt war die Sehne palmar im Karpaltunnel im geraden Anteil ihres Verlaufes meist sichtbar, die Aufzweigung und der Ansatz an den *Metakarpalia* stellten sich in aller Regel nicht dar.

3.4.4.5 *M. extensor digitorum (digitalis) communis*

Im Transversalschnitt stellte sich der gemeinsame Zehenstrecker als hypointense, einzelne, ovale Struktur kranial zwischen Ulna und Radius dar. Im Verlauf distal wanderte er medial auf die Kranialfläche der *Trochlea radii* und grub sich in ihren lateralen Sulcus ein. Dabei nahm er im Querschnitt eine stärker abgeplattete Form an. Auf Höhe des Antebrachiokarpalgelenkes teilte er sich in seine einzelnen Endsehnen auf, die als hypointense, teils konfluierende Punkte nebeneinander dorsal und lateral am Karpus zu liegen kamen. Diese Punkte bekamen einen zunehmend ovalen bis abgeplatteten Querschnitt und divergierten an der Dorsalfläche des Metakarpus. Im Sagittalschnitt war diese Sehne im Verlauf dorsal über den Karpus meist sichtbar, insbesondere proximal. Ihre Aufzweigung in die einzelnen Schenkel war nicht ersichtlich. Im Dorsalschnitt war die Aufzweigung nur gelegentlich sichtbar. Vereinzelt angeschnittene Schenkel waren aber meistens zu erkennen.

3.4.4.6 *M. extensor digitorum (digitalis) lateralis*

Die Endsehnen des seitlichen Zehenstreckers waren am distalen Unterarm als hypointense, ovale einzelne Struktur kranial des *Proc. styloideus ulnae* zu sehen. Die beiden Anteile konnten am distalen Unterarm meist nicht auseinander gehalten werden. Dorsolateral am Karpus nahm ihr gemeinsamer Querschnitt eine zunehmend dorsoventral abgeplattete Form an. Sie kamen in ihrem Verlauf distal dorsolateral des *Os carpi ulnare*, des *Os carpale quartum* und des *Os metacarpale quintum* zu liegen. Distal am Karpus konnte man gelegentlich die Aufzweigung der beiden Endsehnen erkennen. Der laterale Schenkel stellte sich kräftiger als der mediale Anteil dar. Der gemeinsame Sehnenquerschnitt bzw. der laterale Schenkel war während seines Verlaufes meist klar konturiert zur Umgebung abgrenzbar. Der schlanke mediale Anteil konnte meist nicht sehr weit distal verfolgt werden oder er war nicht zu identifizieren. Im Sagittalschnitt war die Sehne gelegentlich in Anschnitten partiell zu erkennen. Sie zeigte sich als längs verlaufende dunkle Linie kranial des *Proc. styloideus ulnae*. Selten war sie im gesamten Verlauf über den Karpus durchgehend zu sehen. Im

Dorsalschnitt war die Sehne oft, aber nicht zuverlässig weit lateral und dorsal am Karpus als dunkle, lineare, längsverlaufende Struktur sichtbar. Sie zeigte sich lateral der Anschnitte der Trochlea radii, des Os carpale quartum und des Os metacarpale quintum und war proximal meist besser zu erkennen als distal.

3.4.4.7 *M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis)*

Die Sehne des *M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis)* war kranial der Trochlea radii innerhalb des mittleren Sulcus nicht von der Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers zu differenzieren. Weiter distal auf Höhe des antebrachiokarpalen Gelenkspaltes konnte gelegentlich ein kleiner, dunkler, isolierter Punkt gesehen werden, der etwas weiter medial von den vier sich zu separieren beginnenden Endsehnen des gemeinsamen Zehenstreckers gelegen war. Er ließ sich medial der divergierenden Endsehnen des gemeinsamen Zehenstreckers beim Verlauf dorsal über den Karpus manchmal bis auf die Dorsalfläche der Basis des Os metacarpale tertium verfolgen. Im Sagittal- und Dorsalschnittbild konnte er nicht sicher identifiziert werden.

3.4.4.8 *M. abductor digiti I (pollicis) longus*

Transversalbilder direkt oberhalb der Trochlea radii zeigten die abgeplattete, hypointense Sehne des *M. abductor digiti I (pollicis) longus* direkt kranial der Sehne des *M. extensor carpi radialis*. Aufgrund ihrer lateromedialen Verlaufsrichtung wanderte ihr gut sichtbarer Sehnenanschnitt distal stetig medial. Nach Eintritt in die mediale knöcherne Sehnenrinne und während des darauf folgenden Unterkreuzens des medialen Kollateralbandes konnte die Sehne in allen drei Bildebenen meist nicht sicher identifiziert und von ihrer Umgebung abgegrenzt werden. Distal vom medialen Seitenband konnte ihr ovaler, dunkler, transversaler Anschnitt palmaromedial am Karpus meist bis zu ihrem Sesambein verfolgt werden. Distal ihres Sesambeins verschmolz ihr dunkler, sichelförmiger Anschnitt sogleich mit der medialen, hypointensen Kortikalis des Os metacarpale primum. Sagittale und dorsale Bilder zeigten regelmäßig ovale bis längliche Anschnitte der Sehne in ihrem gesamten Verlauf.

3.4.4.9 *M. flexor digitorum (digitalis) superficialis*

Im Transversalschnitt war der *M. flexor digitorum (digitalis) superficialis* im gesamten Verlauf über die Palmarfläche des Karpus gut abgrenzbar. Oberhalb des Antebrachiokarpalgelenkes war kaudal, medial und oberflächlich der noch muskulöse Anteil des oberflächlichen Zehenbeugers mit mittlerer Signalintensität und mit annäherungsweise dreieckigem Querschnitt zu erkennen. Auf seiner kaudalen Oberfläche war ein signalarmer hypointenser Sehnen Spiegel zu sehen, der sich im Verlauf distal auf Höhe des Antebrachiokarpalgelenkes zur signalfreien, querovalen, kräftigen oberflächlichen Beugesehne formierte. Dabei verjüngte sich der muskulöse Anteil stetig. Die oberflächliche Beugesehne lag palmar vom Retinaculum flexorum, das als signalarmes querverlaufendes Band am besten vom palmaren Fortsatz des Os carpi accessorium zum palmaromedialen Fortsatz des Os carpi intermedioradiale zu erkennen war. Die oberflächliche Beugesehne war medial vom palmaren Fortsatz des Os carpi accessorium gut ersichtlich. Weiter distal auf Höhe der antebrachiokarpalen Reihe sowie auf Höhe der Basis der Metakarpalknochen war palmar und lateral der querovale überwiegend signalreiche, helle und fettintense Karpalballen gelegen. Distal vom Karpus im Bereich des Metakarpus nahm sie im Querschnitt eine sehr stark dorsopalmar abgeplattete Form an. Im Sagittalbild war ihr proximaler Muskelbauch mit den palmaren, hypointensen, sehnig durchsetzten Bereichen kaudal vom Radius gut zu erkennen. Die oberflächliche Beugesehne war palmar über den gesamten Karpus hinweg bis

zum Metakarpus durchgängig gut abgrenzbar. Im Dorsalbild stellte sie sich ebenfalls dar. Sie war als breite, hypointense, längliche Struktur häufig nur in Anschnitten zu sehen und selten durchgängig auf einem Schnitt dargestellt. Dabei war sie auf dorsalen Bildern weniger gut von der tiefen Beugesehne zu differenzieren als auf sagittalen oder transversalen Schnitten.

3.4.4.10 *M. flexor digitorum (digitalis) profundus*

Auf weit proximal auf den Unterarm reichenden Transversalschnitten einiger einzelner Präparate waren muskulöse Anteile des *M. flexor digitalis profundus* und die Sehnen seiner einzelnen, konfluierenden Köpfe erkennbar. Kaudal der Trochlea radii stellte sich die tiefe Beugesehne im Transversalschnitt am distalen Unterarm als kraniokaudal stark abgeplattete, rinnenförmig eingedellte, kranial konvexe, kaudal konkave, stark hypointense und relativ große Struktur dar. Auf Höhe der antebrachialen Karpalgelenksreihe lag sie dorsal der oberflächlichen Beugesehne, palmar des Os carpi intermedioradiale und medial des Os carpi accessorium im Canalis carpi zwischen Retinaculum flexorum und den palmaren Bandmassen des Karpus. Auf Höhe der distalen Karpalgelenksreihe sah man sie palmar der Ossa carpalia secundum und tertium. Dort verlor sie ihre Rinnenform und war im Querschnitt eher plan. Da ihr lateraler Anteil einen dickeren dorsopalmaren Durchmesser besaß als der mediale Teil gewann sie im Transversalschnitt zunehmend Keulenform, die sie auch am proximalen Metakarpus beibehielt. In diesem Bereich war sie kaudal der Ossa metacarpalia secundum et tertium sowie kaudal der Mm. interossei gelegen. Palmar wurde die tiefe Beugesehne auch am proximalen Metakarpus weiterhin von der oberflächlichen Beugesehne unterlagert. Die Aufteilung der tiefen Beugesehne in die Endsehnen für die einzelnen Strahlen war auf den Transversalschnitten nicht mehr dargestellt. Im Sagittalschnitt stellte sich der *M. flexor digitalis profundus* kaudal am distalen Unterarm oberhalb der Trochlea radii als Muskelbauch mit mittlerer Signalintensität dar. Innerhalb des muskulösen Anteils war bereits die lineare signalarme bis signalfreie Binnensehne der drei verschmolzenen einzelnen Köpfe zu sehen, deren Anteile jedoch nicht zu differenzieren waren. Kaudal der Trochlea radii stellte sich die kräftige tiefe Beugesehne als signalarme schwarze längliche Struktur kranial der oberflächlichen Beugesehne dar. Sie verlief parallel zur oberflächlichen Beugesehne distal, war dabei sehr gut zu erkennen, klar konturiert und meist deutlich zu ihrer Umgebung abgesetzt. Dorsal von ihr waren die palmaren Bandstrukturen des Karpus und die Mm. interossei des Metakarpus zu finden. Die sagittale Schichtorientierung eignete sich gut zur Abgrenzung der tiefen von der oberflächlichen Beugesehne. Parallel zwischen beiden war in Anschnitten das Retinaculum flexorum als längliche, linienartige, dunkle Struktur erkennbar. Das Aufspalten in die Endsehnen für die einzelnen Strahlen war sagittal nicht ersichtlich. Im Dorsalschnitt stellte sie sich als breite, hypointense, längs zur Gliedmassenachse verlaufende Struktur dar. Distal vom Karpus war ihre Aufzweigung in die Endsehnen für die einzelnen Strahlen oft zu erkennen. Bei der sicheren Abgrenzung zwischen Retinaculum flexorum, tiefer und oberflächlicher Beugesehne ergaben sich bei den dorsal orientierten Schnitten oft Schwierigkeiten.

3.4.4.11 *M. interflexorius distalis*

Der *M. interflexorius distalis* konnte in keiner der drei Schnittebenen zuverlässig und reproduzierbar identifiziert werden.

3.4.4.12 *Kurze Zehenmuskeln*

Von den kurzen Zehenmuskeln kamen nur die proximalen Anteile zur Darstellung.

3.4.4.12.1 *Mm. interossei*

Die Muskelbäuche der *Mm. interossei* waren direkt kaudal der Metakarpalknochen in ihrer Gesamtheit in allen drei Ebenen gut zu erkennen. Sie stellten sich mit dem für Muskulatur typischen intermediären Signal dar. Eine genaue Differenzierung und Zuordnung aller einzelnen Muskelbäuche sowie eine zuverlässige Abgrenzung von den übrigen kurzen Zehenmuskeln konnte jedoch in keiner der drei Ebenen erfolgen.

In den Transversalschnitten der meisten Karpalgelenke waren nur die proximalen Anteile der *Mm. interossei* dargestellt. Im Sagittalschnitt konnten die Muskelbäuche zwischen Metakarpalknochen und tiefer Beugesehne dorsal und palmar gut abgegrenzt werden. In den Dorsalschnitten war die parallele Anordnung der Muskeln mit leichter Divergenz der Muskelbäuche distal durch feine, längsverlaufende, hyperintense Linien gut ersichtlich. Die Grenzlinien zu den anderen kurzen Zehenmuskeln, zu den Metakarpalknochen und der tiefen Beugesehne waren nicht zu erkennen.

3.4.4.12.2 *Mm. lumbricales*

Die *Mm. lumbricales* kamen aufgrund ihrer distalen Lage auf den Transversalbildern nicht mehr zur Darstellung. In den Sagittal- und Dorsalschnitten konnten sie nicht identifiziert werden.

3.4.4.13 *Sondermuskeln der ersten, zweiten und fünften Zehe*

3.4.4.13.1 *M. abductor digiti I (pollicis) brevis*

Dieser kleine Muskel war gelegentlich im Transversalschnitt distal der hypointensen dünnen Bindegewebsbrücke zwischen oberflächlicher Beugesehne und Sesambein des *M. abductor digiti I (pollicis) longus* andeutungsweise zu erkennen. Sein leicht separierter Muskelbauch war kaudal der ersten Zehe mit mittlerem muskelintensen Signal zu erkennen. Im Sagittal- und Transversalschnitt konnten gelegentlich Anschnitte vom ihm vermutet werden.

3.4.4.13.2 *M. flexor digiti I (pollicis) brevis, M. adductor digiti I (pollicis)*

Diese beiden Muskeln waren im Bereich ihrer Muskelbäuche nicht voneinander und von den *Mm. interossei* zu unterscheiden. Ihre proximalen transversalen Anschnitte waren lateral des *Os metacarpale primum* und medial des *Os metacarpale secundum* gelegen. Aufgrund ihrer medialen Lage am Karpus und ihres etwas weiter proximal gelegenen Ansatzes konnten beide im Transversalschnitt identifiziert, aber nicht voneinander differenziert werden. Ihr Ursprungsort schien zwischen *Retinaculum flexorum* und palmarer Fibrocartilago, lateral der Endsehne des *M. flexor carpi radialis* gelegen. In den Dorsalschnitten konnten die beiden Muskeln zwischen *Os metacarpale primum* und *secundum* ebenfalls angesprochen, aber nicht sicher abgegrenzt werden. In diesen Ebenen, sowie in den distalen Transversalschnitten konfluieren die einzelnen Muskelbäuche der kurzen Zehenmuskeln. Die Ansatzbereiche kamen im Bildfeld nicht mehr zur Darstellung.

3.4.4.13.3 *M. adductor digiti II und M. adductor digiti V*

Ihr Ursprungsbereich distal an der Fibrocartilago carpometacarpea palmaris palmar der *Ossa metacarpalia II* und *IV* war lediglich im Transversalschnitt durch feine, lineare, sagittal orientierte, hypointense Strukturen andeutungsweise zu erkennen. Einzelne Muskelbäuche konnten kaum differenziert werden. Auch die Abgrenzung zu den *Mm. interossei* war nicht sicher möglich.

3.4.4.13.4 *M. flexor digiti V und M. abductor digiti V*

Diese beiden Muskeln waren distal vom Os carpi accessorium sichtbar. Aufgrund ihrer lateralen Lage und ihres weiter proximal gelegenen Ansatzes konnten sie dort von den anderen kurzen Zehenmuskeln unterschieden werden. Die Muskelbäuche waren jedoch in allen drei Ebenen kaum auseinander zu halten. Der kräftige *M. abductor digiti V* entsprang palmar und distal am Os carpi accessorium und war dort in allen drei Ebenen gut zu sehen, jedoch nicht vom *M. abductor digiti V* abzugrenzen.

3.4.5 Hilfseinrichtungen der Muskeln

3.4.5.1 *Faszien, Retinacula, Canalis carpi*

Unter der hyperintensiven Unterhaut zeigte sich um das gesamte Karpalgelenk die Gliedmaßenfaszie als eine feine, hypointense, lineare Umrandung, die unterschiedlich gut abgrenzbar und an einigen Stellen verstärkt ausgeprägt war. Sie stellte sich vor allem auf transversalen Bildern dar und war auf Sagittal- und Dorsalbildern schlecht zu sehen.

Das Retinaculum extensorum war auf Transversalschnitten als feine dunkle Linie am besten kranio-medial auf Höhe des Antebrachiokarpalgelenkes und des Os carpi intermedioradiale zu erkennen. Es zeigte sich regelmäßig aber meist nicht vollständig durchgängig. Insbesondere in direkter Nähe der kranial bzw. dorsal gelegenen Sehnen und Sehnenscheiden war das Retinaculum extensorum nicht immer durchgängig zu erkennen.

Das Retinaculum flexorum zeigte sich als gut sichtbare, kräftige, dunkle, lineare Verbindung zwischen dem palmaren Höcker des Fortsatzes des Os carpi accessorium und der medialen Kante des Os carpi intermedioradiale. Dabei verlief es zwischen der tiefen und der oberflächlichen Beugesehne. Das Retinaculum flexorum zeigte sich stets etwas signalreicher als die stark hypo- bis anintensen Beugesehnen. Im Dreieck zwischen Os carpi intermedioradiale, Os carpi accessorium und Retinaculum flexorum konnte man sich im Transversalbild einen guten Überblick über den Karpaltunnel, Canalis carpi, verschaffen.

3.4.5.2 *Angeborene Schleimbeutel*

3.4.5.2.1 *M. flexor digitorum (digitalis) profundus*

Um die tiefe, querovale, stark hypointense Beugesehne zeigte sich palmar am gesamten Karpus ein dünner, hyperintenser Saum, der sich teilweise nur dorsal der Sehne, in vielen Bereichen auch unregelmäßig ringförmig um den gesamten Sehnenquerschnitt darstellte. Dieser helle Hof war wiederum von einer hypointensen, feinen Linie umrandet. Diese Strukturen konnten auf sagittalen Bildern selten als sehnenparallele Linien erkannt werden. Auf dorsalen Bildern zeigten sie sich nicht. Ob diese Strukturen den Schleimbeuteln entsprachen, ließ sich nicht mit letzter Gewissheit eruieren.

3.4.5.2.2 *M. extensor carpi ulnaris*

Zwischen dem palmaren Abzweig des *M. extensor carpi ulnaris* ins Retinaculum flexorum und der Lateralfäche des Os carpi accessorium konnte ein feiner, hyperintenser, linearer Bereich in transversaler und dorsaler Ebene identifiziert werden. Eine sichere Abgrenzung zwischen fetthaltigem Bindegewebe und dem Schleimbeutel war nicht möglich.

3.4.5.2.3 *M. flexor carpi ulnaris*

Proximal vom palmaren Höcker des Os carpi accessorium zeigte sich in transversalen und sagittalen Bildern ein hyperintenser, feiner, linearer Raum zwischen den Ansatzsehnen des Caput humerale und ulnare des *M. flexor carpi ulnaris*. Ob es sich dabei um den Schleimbeutel selbst oder lediglich um Bindegewebe handelte konnte nicht sicher eruiert werden.

3.4.5.3 *Fakultativ erworbene Schleimbeutel*

Es konnten keiner der fakultativ erworbenen Schleimbeutel mit Sicherheit identifiziert werden. Ihre potenzielle Lage kann der Tabelle 10 auf Seite 49 entnommen werden.

3.4.5.4 *Sehnenscheiden*

3.4.5.4.1 *Sehnenscheide des M. extensor carpi radialis*

Die Sehnenscheide um die Endsehnen des *M. extensor carpi radialis* konnte in transversalen Bildern andeutungsweise erkannt werden. Aufgrund ihres physiologisch geringen Füllungszustandes war die Sehnenscheide meist nur in einigen Bereichen und nicht in ihrem gesamten Verlauf sichtbar. Kranial der Trochlea radii und dorsal des Os carpi intermedioradiale zeigte sie sich meist am deutlichsten. Dabei war ein feiner, ovaler, leicht hyperintenser Saum um den hypointensen transversalen Sehnenquerschnitt zu erkennen. In sagittalen und dorsalen Bildern blieb die Sehnenscheide meist verborgen. Ob es sich dabei um eine gemeinsame oder zwei getrennte Sehnenscheiden handelte konnte nicht eruiert werden.

3.4.5.4.2 *Sehnenscheide des M. flexor carpi radialis*

Die palmar am Karpus noch gemeinsame Endsehne des *M. flexor carpi radialis* zeigte in transversalen Bildern einen feinen, runden, leicht hyperintensen Ring, der sich in sagittalen und dorsalen Bildern als dünner, linearer, hyperintenser, paralleler Randsaum um die Sehne darstellte. Anatomische Details der Sehnenscheide sowie ihr genauer Beginn und das Ende waren nicht zu erkennen. Ebenso war die Sehnenscheide an der Aufzweigung der Endsehne nicht sicher zu beurteilen.

3.4.5.4.3 *Sehnenscheide des M. abductor digiti I (pollicis) longus*

Die Endsehne des *M. abductor digiti I (pollicis) longus* war in ihrem Verlauf dorsomedial über den Karpus auf transversalen Schnitten von einem dezenten, kleinen, hyperintensen Hof umgeben, der sich jedoch nicht immer auf allen Schnitten zeigte. Insbesondere beim Durchtritt unter dem medialen Kollateralband war dieser helle Saum meist nicht erkennbar. Auf sagittalen und dorsalen Bildern zeigte sich die Sehnenscheide nicht oder nur andeutungsweise.

3.4.5.4.4 *Sehnenscheide des M. extensor digitorum (digitalis) lateralis*

Um die Endsehnen des seitlichen Zehenstreckers herum, in ihrem Verlauf dorsolateral am Karpus, konnte auf Transversalbildern größtenteils ein feiner, ovaler, heller Hof gesehen werden, der sich auf sagittalen und dorsalen Bildern gelegentlich als dünner, heller, paralleler Randsaum um die Sehne zeigte. Inwieweit diese Struktur der Sehnenscheide entsprach, war nicht sicher zu beurteilen.

3.4.5.4.5 *Sehnenscheide des M. extensor digitorum (digitalis) communis und des M. extensor digiti I et digiti II (pollicis et indicis)*

Von der lateralen Sehnenscheide der Trochlea radii über die Dorsalfläche des Karpus bis zum Karpometakarpalgelenk war in Transversalschnitten um die einzelnen hypointensen Endsehnen ein queroval, stark abgeplatteter, hyperintenser Hintergrund sichtbar, der sich weiter proximal und distal am Ansatz nicht zeigte. Der helle Hintergrund lieferte den nötigen Kontrast, um die einzelnen dunklen Sehnenschenkel auseinander zu halten.

3.4.6 Gefäße

Die meisten Gefäße konnten nicht zuverlässig dargestellt werden. Arterien und Venen konnten meist nicht sicher auseinander gehalten werden. Die Blutgefäße stellten sich in den Präparaten sowohl in T1-gewichteten als auch in T2-gewichteten Bildern als hyperintense, rundliche, ovale oder längliche Anschnitte dar. Größere Gefäße waren häufiger zu erkennen als kleinere Gefäße. Kleine Gefäße konnten meist nicht durchgängig und oft nur über kurze Strecken verfolgt werden. Bei den Präparaten einiger Tiere konnten die Gefäße sehr gut erkannt werden, bei anderen kaum. Diese sehr unkonstante und oft nur partielle Darstellung könnte mit einer unregelmäßigen Verteilung des Blutes post mortem in den Gefäßen zusammen hängen. Da die großen Venen des oberflächlichen Gefäßsystems ohne arterielle Begleitung verlaufen, konnten sie identifiziert werden. Die MR-Gefäßdarstellung von Präparaten toter Tiere dürfte aufgrund des nicht vorhandenen Blutflusses ohnehin nicht mit der Darstellung von Blutgefäßen lebender Tiere vergleichbar sein. Deshalb soll an dieser Stelle auf eine allzu ausführliche Darstellung verzichtet werden.

3.4.7 Nerven

Einzelne Nerven konnten nicht sicher identifiziert werden. Einzelne hypointense, kleine rundliche, ovale oder längliche Anschnitte in der Region des Verlaufes einzelner Nervenfasern waren sehr oft vor allem in Transversalschnitten zu sehen. Sagittale und dorsale Bilder zeigten kaum diese vermuteten Anschnitte von Nervenfasern.

Die **Darstellung einiger Gefäße und Nerven** erfolgt gemeinsam nach topographischen und nicht wie bisher nach systematischen Gesichtspunkten:

Kranial der Trochlea radii und an der gesamten Dorsalfläche des Karpus kranial bzw. dorsal der Endsehne des M. extensor carpi radialis zeigte sich in Transversalbildern meist eine Ansammlung kleiner, rundlicher, hyperintenser und hypointenser Punkte, die sich gelegentlich auch in sagittalen und dorsalen Bildern als längliche Strukturen zu erkennen gaben. Ihre Lage schien in geringem Maße variabel und in ihrer Umgebung zeigten sich gelegentlich Hautfalten. In diesem Bündel verliefen der Ramus medialis und der Ramus lateralis der A. antebrachialis superficialis cranialis, die V. cephalica accessoria sowie der Ramus medialis und der Ramus lateralis des Ramus superficialis des N. radialis. Diese Strukturen konnten in ihrer Gesamtheit identifiziert, aber nicht einzeln differenziert werden.

Palmaromedial am Karpus war die oberflächliche V. cephalica meist in der gesamten dargestellten Region gut zu erkennen. Sie war das dicklumigste Blutgefäß am Karpus. In Transversalbildern zeigte sie sich als kleine, runde, hyperintense Struktur palmaromedial oberflächlich am Karpus, medial der Beugesehnen. Dort war sie auch in sagittalen und dorsalen Bildern in mehr oder weniger langen hellen Anschnitten zu erkennen.

Palmar im Karpaltunnel, medial des Os carpi accessorium und lateral der tiefen Beugesehne waren auf transversalen Bildern innerhalb einer mäßig signalreichen Region etliche kleine hypo- und hyperintense, meist nicht einzeln abgrenzbare Punkte erkennbar, die sich auf sagittalen und dorsalen Bildern als dünne längliche Strukturen zeigten. In dieser Region verliefen die A. und V. interossea caudalis, die A. und V. ulnaris sowie der Ramus superficialis und der Ramus profundus des Ramus palmaris des N. ulnaris. Diese Strukturen ließen sich im Transversalschnitt ausgehend vom Karpaltunnel proximal in die Ulnarisrinne respektive ins kaudale Spatium interosseum antebrachii des distalen Unterarmes verfolgen. Distal konnte man diese Strukturen teilweise und punktuell palmarolateral an der Fibrocartilago carpometacarpea palmaris vorbei bis in die Muskulatur der Mm. interossei kaudal des Lig. accessoriometacarpeum mediale verfolgen.

Palmar im Karpaltunnel innerhalb des Retinaculum flexorum zwischen der oberflächlichen und der tiefen Beugesehne zeigten sich im Transversalschnitt mehrere, einzelne, schlecht voneinander abgrenzbare, kleine, hypo- und hyperintense, punktförmige Strukturen. Sie schmiegen sich in die palmar konkave Rinne der tiefen Beugesehne und ließen sich von dort distal und proximal bis über die Karpalgelenksregion hinaus verfolgen. Nur selten konnte man ihre länglichen Anschnitte in sagittalen und dorsalen Bildern erkennen. Als anatomisches Korrelat dieser nicht einzeln sicher identifizierbaren Strukturen kamen die in dieser Region verlaufenden A. und V. mediana sowie der N. medianus in Betracht.

Palmar, außerhalb des Karpaltunnels, medial vom palmaren Höcker des Os carpi accessorium und lateral der oberflächlichen Beugesehne konnte man gelegentlich auf einigen Transversalschnitten kleine, rundliche, hyperintense, transversale Gefäßanschnitte des Ramus carpeus palmaris der A. und V. interossea caudalis erkennen.

Palmar und medial am Karpus, kaudal der medialen Radiuskante, kranial der V. cephalica und der Endsehne des M. flexor carpi radialis medial dicht benachbart zeigten sich gelegentlich sehr kleine, hyperintense Punkte. Diese Signale dürften wohl von der in diesem Bereich verlaufenden A. und V. radialis stammen.

3.4.8 Integument und Karpalballen (Torus carpeus)

Die Haut um das Karpalgelenk zeigte sich als dünne, lineare, allseitige Umrandung mit mittlerer Signalintensität. Darunter zeigte sich die sehr dünne hyperintense Zone der Unterhaut. Auf der Palmarfläche, distal des Os carpi accessorium, auf Höhe des Karpometakarpalgelenkes war stets der große Karpalballen (Torus carpeus) zu erkennen. Er stellte sich in transversalen und sagittalen Schnitten oval und abgeplattet dar, auf dorsalen Bildern besaß er eine unregelmäßig rundliche Form. Er zeigte sich stets deutlich hyperintens mit einer dorsal und zentral gelegenen signalärmeren, retikulären oder linearen Struktur.

3.5 Grundsätze zur Darstellung einzelner Gewebe im CT-Bild

Im Knochenfenster besaßen die Weichteile einen dunklen Grauton. Es bestanden kaum Kontraste zwischen Sehnen, Muskeln und Bändern. Der Knochen stellte sich im Knochenfenster in mittleren bis hellen Grautönen dar. Sehr dichte knöcherne Strukturen wie Kompakta oder Kortikalis erschienen dabei fast weiß. Spongiöser Knochen sowie das Knochenmark zeigten einen mittleren Grauton.

Knöcherne Strukturen stellten sich im Weichteilfenster aufgrund des niedrigen Fensterzentrums und der geringen Fensterbreite nahezu völlig weiß dar und waren deshalb kaum beurteilbar. Weichteile wie Fett, Muskeln, Sehnen oder Bänder stellten sich entsprechend ihrer Röntgendichte je nach Einstellung der Fensterwerte unterschiedlich kontrastreich in verschiedenen Graustufen dar. Dabei besaß Fett die geringste Dichte und zeigte sich bei geringer Fensterbreite im Weichteilfenster dunkelgrau bis schwarz. Fetthaltige Strukturen waren von weichteildichten Strukturen meist relativ gut abgrenzbar.

3.6 Beschreibung der CT-Schnittbildanatomie des caninen Karpalgelenkes

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die morphologische Darstellung der normalanatomischen Gegebenheiten transversaler CT-Bilder (1 mm Schichtdicke) sowie sagittal und dorsal multiplanar rekonstruierter CT-Bilder gestreckt gelagert untersuchter, caniner Karpalgelenke großwüchsiger und adulter Hunde.

3.6.1 Darstellung der Knochen im Knochenfenster

Die Darstellung erfolgt nicht ausschließlich isoliert nach einzelnen Knochen, sondern im Verlauf einer proximodistalen Bildfolge.

3.6.1.1 Radius und Ulna

Oberhalb der distalen Radiusepiphysenfuge stellte sich der Querschnitt des distalen **Radius** im Transversalbild queroval dar, mit einer kaudolateral leicht abgeplatteten und dezent verdickten Kortikalis. Die gleichmäßig kräftige Substantia compacta war gut von der Substantia spongiosa abgesetzt. Der transversale Querschnitt der **Ulna** war eher rundlich mit gut abgesetzter, ebenfalls kräftiger Kortikalis, wobei die laterale und kaudale, vor allem aber die mediale Fläche dezent abgeplattet waren und so auch von einer leicht dreieckigen Form gesprochen werden kann. Der Querschnitt der Ulna nahm hier fast die gleiche kraniokaudale Längenausdehnung ein wie der Querschnitt des Radius, jedoch stellte sich die Ulna im Durchmesser nur halb so breit dar wie der Radius. Die **Art. radioulnaris distalis** zeigte sich mit einer im Schnittbild deutlichen Konkavität der kaudolateralen Incisura ulnaris radii und dem deutlich konvexen Gegenstück der kranio-medialen Circumferentia articularis radii. Auf dieser Höhe stellten sich auch die Reste der distalen Radiusepiphysenfuge als ein hyperdenser Verdichtungsbezirk innerhalb des Markraumes über zwei bis fünf Schnitte (je 1 mm) dar. Die **drei Sehnenrinnen kranial der Trochlea radii** konnten sehr gut identifiziert werden. Ebenso zeigte sich der medial prominent aufragende Proc. styloideus radii zusammen mit dem medialen Sulcus sehr deutlich. Zwischen den drei kranial eingesenkten Rinnen ragten zwei knöchernen Erhabenheiten kranial vor, die die Rinnen als sagittale Leisten trennten. Die kaudale Fläche der Trochlea radii stellte sich immer weitgehend plan bis leicht konvex dar. Der Margo lateralis radii veränderte distal der Art. radioulnaris distalis seine leicht konkave zu einer eher planen Oberfläche. Distal vergrößerte sich stetig sein Abstand vom Proc. styloideus ulnae, der distal seinen eher rundlichen Querschnitt verlor und einen bohnenförmigen, medial konkaven transversalen Querschnitt annahm. Proximal des Antebrachiokarpalgelenkes stellte sich der subchondrale Knochen der eingesenkten **Facies articularis carpea** als eine zentrale Verdichtung innerhalb des Markraumes des Radius dar. Dieser zentralen Verdichtung folgte der Gelenkspalt als eine zentrale Aufhellung und darauf folgte wieder ein knöcherner, hyperdenser Anschnitt des Os carpi intermedioradiale. Die **Articulatio antebrachio-carpea** stellte sich im Transversalbild nur auf sehr wenigen Schnitten dar. Der Radius ragte dabei stets mit einem medial unter dem Styloid gelegenen Knochenvorsprung weit distal. Die zentrale Aufhellung des Gelenkspaltes zeigte sich auf den

Schnitten durch das Antebrachiokarpalgelenk meist als hypodenser, unregelmäßiger Ring. Der Querschnitt der Ulna verlief auf Höhe des Antebrachiokarpalgelenkes seine Bohnenform und zeigte sich eher dreieckig mit einer kranial gelegenen Spitze. Die Ulna überragte stets den Radius um etwa drei bis zehn Schnitte (je 1 mm) distal.

Sagittal und dorsal rekonstruierte Bilder zeigten sehr gut den leicht hyperdensen Verdichtungsbezirk in der Trochlea radii, den Proc. styloideus radii und den Proc. styloideus ulnae. Die Facies articularis carpea und die Art. antebrachio-carpea konnte in sagittalen und dorsalen Bildern wesentlich besser dargestellt werden.

3.6.1.2 Proximale Karpalgelenksreihe

Der antebrachiale **Proc. styloideus ulnae** war im Transversalbild stets lateral und proximal in der proximalen Karpalgelenksreihe zu erkennen. Er änderte, distal immer schlanker werdend, seinen Querschnitt von bohnenförmig über dreieckig nach rundlich.

Das **Os carpi accessorium** stellte sich meist zuerst als knöcherner Anschnitt des palmar verdickten Höckers dar, der als eine querovale, größer werdende Struktur erst allmählich Anschluss an den schlankeren, palmaren Fortsatz des Os carpi accessorium bekam. Erst weiter distal zeigte sich das Os carpi accessorium in ganzer Länge. Seine abgeplatteten Gelenkflächen, kranio-medial zum Os carpi intermedioradiale, kranial zum Os carpi ulnare sowie die leicht konkave kranio-laterale Gelenkfläche zum Proc. styloideus ulnae waren gut sichtbar. Das Os carpi accessorium konnte besonders gut in sagittalen Bildern dargestellt werden. Dorsale Bilder eigneten sich weniger zur Darstellung des Erbsenbeins.

Das **Os carpi ulnare** zeigte sich medial des Proc. styloideus ulnae im Querschnitt zuerst dreieckig mit kranial gerichteter Spitze und danach in seiner größten Ausdehnung quadratisch. Distal vom lateralen Styloid änderte das Os carpi ulnare seinen Querschnitt erneut, stellte sich wieder dreieckig, dann rundlich und zuletzt queroval dar. Seine großen Gelenkflächen zum Os carpi intermedioradiale und Os carpi accessorium zeigten sich im Tomogramm überwiegend plan. In sagittalen und dorsalen Bildern zeigten sich besonders die proximalen und distalen Gelenkflächen. Die lateralen Gelenkflächen stellten sich in transversalen und dorsalen Bildern am besten dar.

Das **Os carpi intermedioradiale** war medial vom Os carpi ulnare als sehr breiter und größter Knochen der proximalen Karpalgelenksreihe sehr gut erkennbar. Es stellte sich im Schnittbild mehr als doppelt so breit wie sein lateral gelegener Nachbar dar und besaß eine um etwa die Hälfte größere dorsopalmare Ausdehnung. Seine Breite übertraf die eigene Länge um das Doppelte. Seine Dorsalfläche war unregelmäßig konvex geformt. Die unregelmäßige Palmarfläche offenbarte stets zwei Einkerbungen. In seinem mittleren Hauptteil zeigten sich die dorsale und palmare Fläche sowie die laterale Gelenkfläche zum Os carpi ulnare über wenige Schnitte so plan wie die korrespondierende Gelenkfläche des Os carpi ulnare. Im distalen Viertel des Markraums des Os carpi intermedioradiale erschien ein zentraler, leicht kaudal versetzter, kreisrunder und stark hypodenser Gefäßkanal mit umgebender ringförmiger Verdichtung, der in palmarer und distaler Verlaufsrichtung an der palmaren und distalen Knochenoberfläche endete. In sagittalen und dorsalen Bildern waren die proximalen und distalen Gelenkflächen, in transversalen und dorsalen Bildern waren die lateralen Gelenkflächen am besten erkennbar. Das Os carpi intermedioradiale zeigte stets einen kräftigen medial und leicht palmar gerichteten Fortsatz, dem medial und distal benachbart das rundliche **Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus** angefügt war.

Die laterale Kontakt- und Gelenkfläche des Sesambeins war geringgradig abgeplattet. Es besaß zentral einen deutlich hypodensen Markraum. Seine mediale Kortikalis stellte sich kräftig hyperdens dar, die laterale, abgeplattete Kortikalis war dünn und schlecht abgrenzbar. Im distalen Verlauf ließ es seine kugelige Form erkennen mit einer Ausdehnung zwischen 3 und 6 mm.

Alle Karpalknochen der proximalen Reihe zeigten eine spongiöse, hypodense Markhöhle mit einer hyperdensen, klar abgesetzten Kortikalis.

Der Gelenkspalt der Art. mediocarpea konnte im Transversalbild immer nur als undeutliche Aufhellung wahrgenommen werden. In sagittalen und dorsalen Rekonstruktionen waren die proximalen und distalen Gelenkflächen, in transversalen und dorsalen Bildern die lateralen Gelenkflächen viel besser zu erkennen.

3.6.1.3 *Distale Karpalgelenksreihe*

Das **Os carpi ulnare** der proximalen Reihe reichte stets weit distal in die distale Reihe und stellte sich mit etlichen großen, überwiegend rundlichen Anschnitten lateral vom Os carpalum quartum dar.

Das **Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus** stellte sich medial vom Os carpalum primum in seiner rundlich lateral abgeplatteten Form dar. Eine Kontaktfläche zum Os carpalum primum war nicht zu erkennen.

Der Querschnitt des **Os carpalum primum** stellte sich in den ersten Anschnitten am ehesten unregelmäßig quadratisch dar und nahm in seinem Hauptteil weiter distal eine medial konvexe Bohnenform an. Die Gelenkfläche des Os carpalum primum zum Os carpalum secundum war proximal gerade und distal konkav ausgebildet.

Das **Os carpalum secundum** besaß stets einen trapezförmigen Querschnitt. Die lateralen Gelenkflächen des Os carpalum secundum zu seinen beiden Nachbarn in der distalen Reihe waren überwiegend unregelmäßig gerade mit kleinen leichten Vorwölbungen und Einziehungen.

Das **Os carpalum tertium** zeigte proximal einen längsovalen, taillierten transversalen Querschnitt, in seiner Mitte einen trapezartigen und distal einen dreieckigen Querschnitt. Seine interkarpalen Gelenkflächen stellen sich medial und lateral durchwegs leicht konkav dar.

Das **Os carpalum quartum** war stets mit Abstand der größte Karpalknochen der distalen Reihe. Es besaß einen dreieckigen Querschnitt mit palmarer Spitze. Die Gelenkflächen des Os carpalum quartum waren zu beiden Seiten innerhalb der distalen Reihe leicht unregelmäßig ausgebildet mit kleinen Vorwölbungen und Einsenkungen an der Oberfläche.

Am Übergang der distalen Karpalgelenksreihe zum Metakarpus stellte sich der Gelenkspalt der Art. carpometacarpea, im Transversalbild nur schwer erkennbar, als leicht hypodense, schlecht konturierte Aufhellungslinie oder als hypodenser, flächenhafter Bezirk dar. Sagittal und dorsal rekonstruierte Bilder stellten die Gelenkspalten sowie die proximalen und distalen Gelenkflächen wesentlich besser dar.

3.6.1.4 *Metakarpus*

Die **Metakarpalknochen I-V** waren an ihrer Basis gut erkennbar. Die ersten epiphysären Anschnitte der **Ossa metacarpalia III** und **IV** besaßen mit ihren verbreiterten dorsalen Anteilen einen T-förmigen Querschnitt und konnten so leicht identifiziert werden. Der Querschnitt der benachbarten **Ossa metacarpalia II** und **V** war mehreckig und insgesamt leicht keilförmig, sich palmar verjüngend. Der Querschnitt des **Os metacarpale I** stellt sich queroval dar. Die Basis des lateralen Os metacarpale quintum reichte immer am weitesten proximal, beinahe bis an das Os carpi ulnare. Der palmare Anteil des Os carpalum tertium ragte stets am weitesten distal. Die Basen der Ossa metacarpalia secundum und quintum ragten stets etwas weiter proximal. Die Markhöhle der Metakarpalknochen zeigte sich als zentraler, hypodenser Kreis. Die Metakarpalknochen waren stets leicht bogenförmig, dorsal konvex, nebeneinander angeordnet. Distal vergrößerte sich der Abstand des im Durchmesser wesentlich schlankeren Os metacarpale primum zum Os metacarpale secundum. Das Os

metacarpale quintum zeigte unterhalb der Basis eine querovale, medial leicht abgeplattete Form, während der Querschnitt der Ossa metacarpalia II –IV auf dieser Höhe einem Quadrat oder einem Trapez mit kranial gelegener Basis glich.

3.6.2 Darstellung der Weichteile im Weichteilfenster

3.6.2.1 Bänder

3.6.2.1.1 *Lig. radioulnare distale*

Das Lig. radioulnare distale war nur selten in transversalen Bildern distal und lateral der Trochlea radii, oberhalb des antebrachiokarpalen Gelenkspaltes als schlecht abgrenzbare, hyperdense Struktur zu erkennen. In dorsalen Bildern konnte es nicht identifiziert werden. Auf sagittalen Bildern füllte eine schlecht abgrenzbare, weichteildichte Struktur den kraniolateralen Spalt des Antebrachiokarpalgelenkes aus. Diese diffuse Verschattung entsprach dem Lig. radioulnare distale und dem Lig. radiocarpeum dorsale. Beide Bänder waren nicht auseinander zu halten und auch nicht zur Umgebung abzugrenzen.

3.6.2.1.2 *Lig. collaterale carpi laterale*

Das laterale Kollateralband konnte nicht isoliert identifiziert werden. Es zeigte sich eine schlecht abgrenzbare hyperdense Region zwischen Proc. styloideus ulnae und Os carpi ulnare lateral am Karpus. In dieser Region befanden sich neben dem lateralen Kollateralband die Endsehne des M. extensor carpi ulnaris und das Lig. accessoriocarpoulnare. Diese hyperdensen Strukturen konnten nicht voneinander differenziert werden. In dorsalen Bildern zeigte sich das laterale Kollateralband zwischen Proc. styloideus ulnae und Os carpi ulnare als hyperdense Struktur. Die Abgrenzung zum lateral gelegenen M. extensor carpi ulnaris war in dorsalen Bildern nicht immer, in sagittalen nie sicher möglich.

3.6.2.1.3 *Lig. collaterale carpi mediale*

Das mediale Kollateralband konnte medial am Karpus zwischen Proc. styloideus radii und Os carpi intermedioradiale nicht von der Endsehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus abgegrenzt werden. Es konnte eine hyperdense Struktur im Bereich ihres Verlaufes medial am Antebrachiokarpalgelenk abgegrenzt werden. Eine Differenzierung zwischen dem medialen Seitenband und der Sehne war in keiner der drei Ebenen zuverlässig möglich.

3.6.2.1.4 *Lig. radiocarpeum dorsale*

Dieses Band war im CT-Bild nicht zu erkennen.

3.6.2.1.5 *Lig. radiocarpeum palmare*

Das Lig. radiocarpeum palmare war zwischen Crista transversa und Os carpi intermedioradiale als transversal verlaufende, lineare, hyperdense Struktur palmar des antebrachiokarpalen Gelenkspaltes andeutungsweise in allen drei Ebenen als hyperdense Struktur zu erkennen. Es zeigte sich aber immer sehr unregelmäßig konturiert und schlecht zur Umgebung abgrenzbar.

3.6.2.1.6 *Lig. ulnocarpeum palmare*

Das Lig. ulnocarpeum palmare konnte von der konkaven Medialfläche des Proc. styloideus ulnae als hyperdenser Anschnitt erkannt werden und andeutungsweise distal und medial bis zum Lig. radiocarpeum verfolgt werden. In dorsal und sagittal orientierten Bildern zeigte es

sich ebenfalls nur proximal, kaudal des distalen Spatium interossei antebrachii. Distal konnte es von den anderen Bändern palmar des proximalen Gelenkspaltes nicht klar abgegrenzt werden.

3.6.2.1.7 *Lig. carpi radiatum*

Das Lig. carpi radiatum wurde aufgrund der uneinheitlichen Darstellungen über seinen Verlauf zur Fibrocartilago carpometacarpeum palmare gezählt und dort beschrieben.

3.6.2.1.8 *Lig. accessorioulnare und Lig. accessoriocarpoulnare*

Diese beiden Bänder zeigten sich als schlecht abgrenzbare Struktur medial der Basis des Os carpi accessorium und lateral des Lig. radiocarpeum palmare in allen drei Ebenen. Die klare Differenzierung einzelner Bandanteile war nicht möglich.

3.6.2.1.9 *Lig. accessoriometacarpeum mediale (IV) et laterale (V)*

Diese beiden Bänder konnten in transversalen und dorsalen Bildern meist nicht sicher identifiziert werden. In sagittalen Bildern ließen sich beide gut darstellen. Dabei mussten sie jedoch genau in ihren Verlauf sagittal getroffen werden. Sonst konnten sie leicht mit den im Vergleich leicht hypodensen Anschnitten der Sondermuskeln der fünften Zehe oder dem fast isodensen distalen Abzweig aus dem M. flexor carpi radialis und dem palmaren Abzweig aus dem M. extensor carpi ulnaris verwechselt werden. Beide Bänder verliefen in unmittelbarer Nachbarschaft oder innerhalb der Fibrocartilago carpometacarpeum palmare, was die Abgrenzung in diesem Bereich erschwerte.

3.6.2.1.10 *Ligg. intercarpea dorsalia*

Diese Bandzüge konnten auf CT-Bildern nicht zuverlässig identifiziert werden.

3.6.2.1.11 *Lig. intercarpeum palmare*

Dieses Band war auf CT-Bildern nicht isoliert zu erkennen.

3.6.2.1.12 *Ligg. intercarpea interossea*

CT-Bilder vermochten diese Bänder nicht darzustellen. Sie konfluieren mit den im Weichteilfenster einheitlich weißen Karpalknochen und ihren geringen Zwischenräumen.

3.6.2.1.13 *Ligg. carpometacarpea dorsalia*

Diese Bänder konnten mit der computertomographischen Untersuchung nicht ausreichend dargestellt werden.

3.6.2.1.14 *Lig. carpometacarpeum palmare*

Einzelne Anschnitte dieses Bandes zeigten sich in transversalen und dorsalen CT-Bildern medial der Endsehne des M. flexor carpi radialis, kaudal des Os carpale secundum. Es konnte jeweils nur ein sehr kleiner, schlecht abgrenzbarer, hyperdenser Fleck gesehen werden, der distal mit der Sehne des M. flexor carpi radialis zu konfluieren schien. Der Ursprung und Ansatz waren nicht sicher zu identifizieren. Sagittale CT-Bilder erlaubten keine klare Differenzierung zwischen der Endsehne des M. flexor carpi radialis und dem Lig. carpometacarpeum palmare.

3.6.2.1.15 *Fibrocartilago carpometacarpeum palmaris und Lig. carpi palmare profundum bzw. Lig. carpi radiatum*

Bei der Darstellung der palmaren Bänder in der Literatur besteht Uneinigkeit über den Verlauf und die Bezeichnungen der einzelnen Anteile. Das Lig. carpi palmare profundum respektive sein Lig. carpi radiatum werden hier nicht differenziert erörtert. Bei der Beschreibung und den später folgenden Abbildungen werden die tomographisch nicht weiter differenzierbaren Bandmassen palmar des mediokarpalen und karpometakarpalen Gelenkspaltes, mit Ausnahme des Lig. carpometacarpeum palmare und der Bänder des Os carpi accessorium, einheitlich als Fibrocartilago carpometacarpeum palmare zusammengefasst.

In allen drei Ebenen waren diese Bandmassen als schlecht abgrenzbare Strukturen palmar des mediokarpalen und des karpometakarpalen Gelenkspaltes sowie dorsal der tiefen Beugesehne zu erkennen. In sagittalen Bildern stellten sich die palmaren karpometakarpalen Bänder am besten dar. Sie zeigten sich direkt dorsal der tiefen Beugesehne und waren an der Kontaktstelle zu ihr schlecht abgrenzbar. Die distalen Anteile zeigten sich meist geringgradig hyperdens im Vergleich zu den proximalen Anteilen. Insgesamt zeigten sie eine ähnliche Dichte wie die Beugesehnen. In Dorsalbildern zeigten die distalen Anteile einen guten Kontrast zu den distal gelegenen Mm. interossei. Die lateralen und proximalen Konturen waren weniger deutlich zu erkennen. Die Abgrenzung kaudal zur tiefen Beugesehne war im Dorsalbild nicht möglich.

3.6.2.1.16 *Ligg. metacarpea*

Zwischen den Basen einander benachbarter Metakarpalknochen querverlaufende Bandstrukturen waren in CT-Bildern im Weichteilfenster nicht zu erkennen.

3.6.2.2 **Muskeln und Sehnen**

3.6.2.2.1 *M. extensor carpi radialis*

Im Bereich der mittleren Sehnenrinne kranial an der Trochlea radii und dorsal am Karpus zeigte sich ein querovaler, hyperdenser Bezirk der sich distal zunehmend verbreiterte und auf Höhe der distalen Karpalgelenksreihe kaum mehr zu erkennen war. Die Differenzierung der beiden Endsehnenchen war nicht möglich. Der Ansatz des Muskels konnte nicht klar identifiziert werden. Eine Abgrenzung zwischen dem M. extensor carpi radialis und dem Verlauf des M. abductor digiti I (pollicis) longus konnte nicht erfolgen. Eine Identifizierung des M. extensor carpi radialis in sagittalen und dorsalen Bildern konnte nur unzuverlässig erfolgen.

3.6.2.2.2 *M. extensor carpi ulnaris*

Lateral am Unterarm konnte die stark abgeplattete Endsehne des M. extensor carpi ulnaris, dem Proc. styloideus ulnae lateral aufliegend, als hyperdenser, jedoch schlecht abgrenzbarer Bezirk identifiziert werden und distal bis an die Basis des Os metacarpale quintum verfolgt werden. Eine sichere Abgrenzung zwischen dem M. extensor carpi ulnaris, dem M. extensor digitalis lateralis und dem lateralen Seitenband war nicht möglich. Die beiden dorsal und palmar ins Retinaculum extensorum und flexorum abzweigenden Faserzüge waren als hyperdense, dorsale und palmare Ausläufer andeutungsweise zu erahnen, jedoch nicht klar abgrenzbar und nicht weiter zu verfolgen. In dorsalen Bildern konnte der M. extensor carpi ulnaris am besten erkannt und am ehesten vom lateralen Kollateralband abgegrenzt werden. Sagittale Bilder waren zur Darstellung dieses Muskels weniger gut geeignet.

3.6.2.2.3 *M. flexor carpi ulnaris*

Proximal vom Os carpi accessorium waren kaudal am Unterarm die Endsehnen der beiden Köpfe des *M. flexor carpi ulnaris* im Transversalschnitt als einzelne, hyperdense, ovale Region zu sehen. Eine Abgrenzung der beiden Köpfe voneinander konnte nicht erfolgen. In sagittalen und dorsalen Bildern stellte sich der Muskel ebenfalls sehr gut dar. Die Differenzierung beider Köpfe konnte auch in diesen Ebenen nur andeutungsweise erfolgen.

3.6.2.2.4 *M. flexor carpi radialis*

Kaudomedial vom Radius zeigte sich die im Transversalbild kleine, rundliche, hyperdense Verschattung der Endsehne des *M. flexor carpi radialis*. Im Verlauf distal war sie palmar vom palmaromedialen Fortsatz des Os carpi intermedioradiale nicht mehr zuverlässig zu erkennen. Distal vom Os carpi intermedioradiale zeigte sie sich meist nochmals als einzelner, hyperdenter Punkt. Ab ihrer Aufzweigung in die beiden Schenkel konnte sie nicht mehr sicher identifiziert werden. Ihr Ansatz am Os metacarpale secundum und tertium war nicht zu erkennen. Sagittale und dorsale Bilder zeigten den Verlauf des *M. flexor carpi radialis* ebenfalls recht gut. Stets senkte sich eine kleine knöcherne Sehnenrinne in die Palmarfläche des Os carpi intermedioradiale für den *M. flexor carpi radialis* ein.

3.6.2.2.5 *M. extensor digitorum (digitalis) communis*

Im transversalen CT-Bild konnte der gemeinsame Zehenstrecker aufgrund seiner Lage in der lateralen Sehnenrinne der Trochlea radii als hyperdense, platte, schlecht abgrenzbare und schlecht kontrastierte Struktur identifiziert werden. Im Verlauf distal ergaben sich bereits auf Höhe des Antebrachiokarpalgelenkes Schwierigkeiten bei der Identifikation. Die Sehne nahm einen zunehmend platten transversalen Querschnitt an und war im weiteren Verlauf distal nicht mehr zu erkennen. Einzelne Schenkel der Endsehne waren nicht ersichtlich. In dorsalen und sagittalen Bildern konnte man hyperdense, längliche Anschnitte kranialateral am Karpus finden. Die sichere Identifizierung konnte nicht immer erfolgen.

3.6.2.2.6 *M. extensor digitorum (digitalis) lateralis*

Die Endsehnen des seitlichen Zehenstreckers konnten am distalen Unterarm als einzelne, ovale, hyperdense Struktur kranial des Proc. styloideus ulnae abgegrenzt werden. Weiter distal verschmolz dieser hyperdense Anschnitt mit dem gemeinsamen Schatten des *M. extensor carpi ulnaris* und dem lateralen Seitenband. Eine Differenzierung der beiden Endsehnen des *M. extensor digitalis lateralis* sowie eine Abgrenzung zum *M. extensor carpi ulnaris* und dem lateralen Seitenband waren am Karpus nicht möglich. In dorsalen und sagittalen Bildern konnte man ebenfalls hyperdense, längliche Anschnitte kranialateral am Karpus finden. Die sichere Identifizierung war ebenfalls nicht immer möglich.

3.6.2.2.7 *M. extensor digiti I (pollicis) et indicis*

Der *M. extensor digiti I (pollicis) et indicis* war nie isoliert zu erkennen. Aufgrund seiner geringen Größe und seiner engen Nachbarschaft zum gemeinsamen Zehenstrecker konnte er von diesem nicht differenziert werden.

3.6.2.2.8 *M. abductor digiti I (pollicis) longus*

CT-Transversalbilder direkt oberhalb der Trochlea radii ließen einen kleinen, schlecht abgrenzbaren, hyperdensen Verdichtungsbezirk erahnen, der distal kranialmedial um die Trochlea radii herumzuwandern schien. Im Bereich des Proc. styloideus radii konnte er nicht identifiziert werden. Weiter distal und medial, zwischen medialem Styloid und dem palmaromedialen Fortsatz des Os carpi intermedioradiale schien er mit dem Anschnitt des medialen Kollateralbandes zu verschmelzen. Danach konnte für einzelne Schnitte erneut ein flacher, hyperdenter Bezirk identifiziert werden, der distal in Richtung des medialen

Sesambeins wanderte und in diesem zu verschwinden schien. Distal des Sesambeins tauchte erneut ein undeutlicher, sehr flacher, kleiner, sichelförmiger Anschnitt der Sehne auf. Er zeigte sich medial des Os carpalum primum und medial der Basis des Os metacarpale primum für etwa zwei bis vier Schnitte (je 1 mm) und konnte medial vom Os carpalum primum, an seiner vermuteten Ansatzstelle, nicht mehr abgegrenzt werden. Sagittale Bilder zeigten die Endsehne oberhalb seines Sesambeins, konnten aber die Differenzierung zum medialen Kollateralband nicht ermöglichen. Dorsal rekonstruierte Bilder zeigten ebenfalls den Bereich zwischen medialem Styloid und Sesambein sehr gut, ohne eine Differenzierung vom medialen Kollateralband zuzulassen.

3.6.2.2.9 *M. flexor digitorum (digitalis) superficialis*

Auf CT-Transversalbildern konnte die oberflächliche Beugesehne im gesamten Verlauf über die Palmarfläche des Karpus gut erkannt werden. Sie stellte sich oberflächlich als ovale und abgeplattete, hyperdense Struktur dar und war, verglichen mit den anderen Weichteilstrukturen, meist gut abgrenzbar. Lediglich auf Höhe des Os carpi accessorium verschmolz ihr medialer Anteil partiell mit dem Schatten der tiefen Beugesehne. Das dazwischen verlaufende Retinaculum flexorum konnte dann zwischen den beiden Beugesehnen nicht mehr abgegrenzt werden. Es kam nur ihr sehniger Anteil auf den CT-Bildern zur Darstellung. Weiter proximal gelegene muskulöse Bereiche wurden nicht untersucht. Sagittale Bilder zeigten sehr gut den gesamten Verlauf der oberflächlichen Beugesehne am Karpus. Dorsale Bilder waren geeignet, wenn sie genau im Verlauf der Sehne rekonstruiert waren. Bei sagittalen Bildern ergaben sich Schwierigkeiten hinsichtlich der Abgrenzung der Sehne medial und lateral. Kranial und kaudal war eine Abgrenzung der Sehne auf dorsal orientierten Bildern nicht möglich.

3.6.2.2.10 *M. flexor digitorum (digitalis) profundus*

Die abgeplattete, kräftige tiefe Beugesehne war auf CT-Bildern in allen drei Ebenen gut erkennbar. Transversale Bilder ließen andeutungsweise die rinnenförmig eingedellte, kranial konvexe, kaudal konkave Form erkennen. Verglichen mit den anderen Strukturen stellte sie sich aufgrund ihrer Stärke mit am besten dar. Dennoch war sie nicht immer im gesamten Verlauf am Karpus klar zur Umgebung hin abgrenzbar. Diese Schwierigkeiten ergaben sich vor allem in der Nachbarschaft zur Fibrocartilago carpometacarpeum palmare und zum Retinaculum flexorum. Die sagittale Schichtorientierung eignete sich am besten zur Abgrenzung der tiefen von der oberflächlichen Beugesehne. Der Dorsalschnitt zeigte sich nur wertvoll, wenn er genau im Verlauf der Sehne rekonstruiert werden konnte.

3.6.2.2.11 *M. interflexorius distalis*

Der *M. interflexorius distalis* konnte nicht identifiziert werden.

3.6.2.2.12 *Kurze Zehenmuskeln*

Von den kurzen Zehenmuskeln kamen nur die proximalen Anteile zur Darstellung.

Die Muskelbäuche der **Mm. interossei** waren direkt kaudal der Metakarpalknochen in ihrer Gesamtheit in allen drei Ebenen zu erkennen. Sie stellten sich für Muskulatur typisch weichteildicht dar. Eine Differenzierung und Zuordnung einzelner Muskelbäuche sowie eine zuverlässige Abgrenzung zu den übrigen kurzen Zehenmuskeln konnte jedoch in keiner der drei Ebenen erfolgen.

In den Transversalschnitten der meisten Karpalgelenke waren nur die proximalen Anteile der *Mm. interossei* dargestellt. Im Sagittalschnitt konnten die Muskelbäuche zwischen Metakarpalknochen und tiefer Beugesehne dorsal und palmar gut abgegrenzt werden. In den Dorsalschnitten war die parallele Anordnung der Muskeln andeutungsweise ersichtlich. Die

Grenzlينien zu den anderen kurzen Zehenmuskeln, zu den Metakarpalknochen und der tiefen Beugesehne waren nicht zu erkennen.

Der distale Bereich, in dem sich die **Mm. lumbricales** befanden, war nicht dargestellt.

3.6.2.2.13 Sondermuskeln der ersten, zweiten und fünften Zehe

Der **M. abductor digiti I (pollicis) brevis** konnte mit der Computertomographie nicht einzeln identifiziert werden.

Die beiden Muskelbäuche des **M. flexor digiti (pollicis) brevis** und des **M. adductor digiti I (pollicis)** konnten nicht voneinander und von den Mm. interossei unterschieden werden. Ihre proximalen, transversalen Anschnitte waren lateral des Os metacarpale primum und medial des Os metacarpale secundum gelegen. Aufgrund ihrer medialen Lage am Karpus im Bereich des ersten Strahls und ihres etwas weiter proximal gelegenen Ansatzes konnten beide in allen drei Ebenen vermutet, aber nicht sicher identifiziert oder voneinander differenziert werden. Ihre distalen Ansatzbereiche kamen nicht mehr zur Darstellung.

Einzelne Muskelbäuche des **M. adductor digiti V** und **M. adductor digiti II** konnten nicht differenziert werden und die Abgrenzung zu den Mm. interossei war nicht sicher möglich.

Die beiden Muskeln **M. flexor digiti V** und **M. abductor digiti V** waren distal vom Os carpi accessorium in allen drei Ebenen mit im Vergleich zu Sehnen und Bändern leicht hypodensen und im Vergleich zum Fett des Karpalballens leicht hyperdensen Eigenschaften sichtbar. Von der leicht hyperdensen Basis des Karpalballens konnten sie nicht sicher abgegrenzt werden. Aufgrund ihrer lateralen Lage und ihres weiter proximal gelegenen Ansatzes konnten sie von den anderen kurzen Zehenmuskeln unterschieden werden. Ihre Muskelbäuche konnten nicht auseinandergehalten werden.

3.6.2.3 Hilfeinrichtungen der Muskeln+

3.6.2.3.1 Faszien, Retinacula, Canalis carpi

Um die Oberfläche der Karpalgelenke zeigte sich auf transversalen Bildern eine feine, dünne, linienartige, geringgradig hyperdense Umrandung. Inwieweit es sich dabei um die Gliedmaßenfaszie oder Strukturen der Haut handelte, konnte nicht sicher geklärt werden. Das Retinaculum extensorum konnte nicht identifiziert werden. Das Retinaculum flexorum war auf transversalen Bildern meist andeutungsweise erkennbar, in sagittalen Bildern konnte es zwischen den Beugesehnen nur ausnahmsweise, in dorsalen Bildern nie abgegrenzt werden.

3.6.2.3.2 Schleimbeutel und Sehnenscheiden

Physiologische Schleimbeutel und Sehnenscheiden konnten mittels Computertomographie nicht ausreichend dargestellt werden. Ihre Identifizierung konnte nicht zuverlässig erfolgen.

3.6.2.4 Gefäße und Nerven

Auf den CT-Bildern konnte nativ kein Gefäß und keine Nervenfaser sicher identifiziert werden. Einzelne, kleine, weichteildichte, über mehrere Schnittbilder zu verfolgende Punkte zeigten sich in einigen Bezirken mit fettdichter Umgebung. Diese Region entsprach häufig topographisch der vermuteten Lage einiger Gefäße und Nerven. Eine präzise Identifizierung war nicht möglich. Diese Stellen befanden sich direkt medial vom Os carpi accessorium in einer überwiegend fettdichten, hypodensen, umschriebenen Region, die über die gesamte Palmarfläche proximal und distal auf transversalen CT-Bildern verfolgt werden konnte und bis zwischen die Beugesehnen hinein reichte. Innerhalb dieses Bereichs zeigten sich in einigen Bildern mehrere, kleine, punktförmige Strukturen, die sich jedoch in den meisten Bildern konfluierend darstellten. Dabei dürfte es sich um folgende, in dieser Region

verlaufende Gefäße und Nerven handeln: A. und V. interossea caudalis, A. und V. ulnaris, Ramus superficialis und Ramus profundus des Ramus palmaris des N. ulnaris, N. medianus sowie A. und V. mediana. Diese Strukturen konnten jedoch nicht einzeln differenziert und identifiziert werden.

3.6.2.5 *Integument und Karpalballen*

Es zeigte sich im Weichteilfenster ein feiner, hyperdenser Saum an der Oberfläche der Präparate. Ob die Haut oder die Faszie diese Umrandung verursachten, war nicht sicher zu beurteilen. Zum einen verursachte eine Verbreiterung des Fensters einen deutlich größeren Umriss der Präparate. Zum anderen war die Weichteilabdeckung medial des knöchernen Proc. styloideus medialis im Weichteilfenster der CT-Bilder deutlich geringer als im Knochenfenster, in den korrespondierenden MR-Bildern sowie in den Plastinaten und den Gefrierschnitten. Somit stellten sich im engen Weichteilfenster vermutlich die Haut und die Unterhaut nicht vollständig dar.

Der Karpalballen zeigte sich auf der Palmarfläche in allen drei Ebenen distal des Os carpi accessorium, auf Höhe des Karpometakarpalgelenks, als hypodense, fettreiche, große, ovale Struktur. Zentral und dorsal innerhalb des Karpalballens war eine diffus hyperdense, weichteildichte Zone zu erkennen.

3.7 Vergleichende Schnittbildanatomie

Die im Folgenden dargestellten Abbildungen sind Gegenüberstellungen anatomischer Plastinate mit korrelierenden MR- und CT-Bildern. Die MR-Bilder wurden mit einer T1-gewichteten Spinechosequenz angefertigt (T1-w-SE: se_26b39.uhc, FOV: 140 mm, TR: 640 ms, TE: 26 ms, FA: 90°, SD: 3 mm). Die CT-Bilder besitzen eine Schichtdicke von 1 mm bei einem Tischvorschub von einem Millimeter pro Umdrehung. (130 kV, 63 mA, 0° Schichtneigungswinkel, 60ziger Kern im Weichteilfenster, 80ziger Kern im Knochenfenster). Die Fensterwerte der CT-Bilder im Knochenfenster besitzen ein Fensterzentrum von 500 HE und eine Fensterbreite von 1500 HE. Die im Weichteilfenster abgebildeten CT-Bilder haben ein Fensterzentrum von 100 HE und eine Fensterbreite von 200 HE. Die anatomischen Plastinate besitzen eine Dicke von 3 mm.

Es sind Bilder eines adulten, großwüchsigen, männlichen Hundes dargestellt. Beschriftet sind nur die Strukturen, die zumindest annähernd in dem betreffenden Bild erkennbar waren. Strukturen, die sich gleichartig über viele Schnittbilder einer Ebene darstellen, werden gelegentlich aus Platzgründen nicht auf jedem einzelnen Bild beschriftet, sondern nur auf jedem zweiten oder dritten Bild. Weiterhin besteht nie eine völlige Übereinstimmung der Bilder einer Schnittebene, so dass gelegentlich die Beschriftung leicht differiert. Die Beschriftung erfolgt aus Platzgründen und aufgrund der Übersichtlichkeit mit Abkürzungen nach folgendem Schema:

3.7.1 Abkürzungsverzeichnis der anatomischen Strukturen

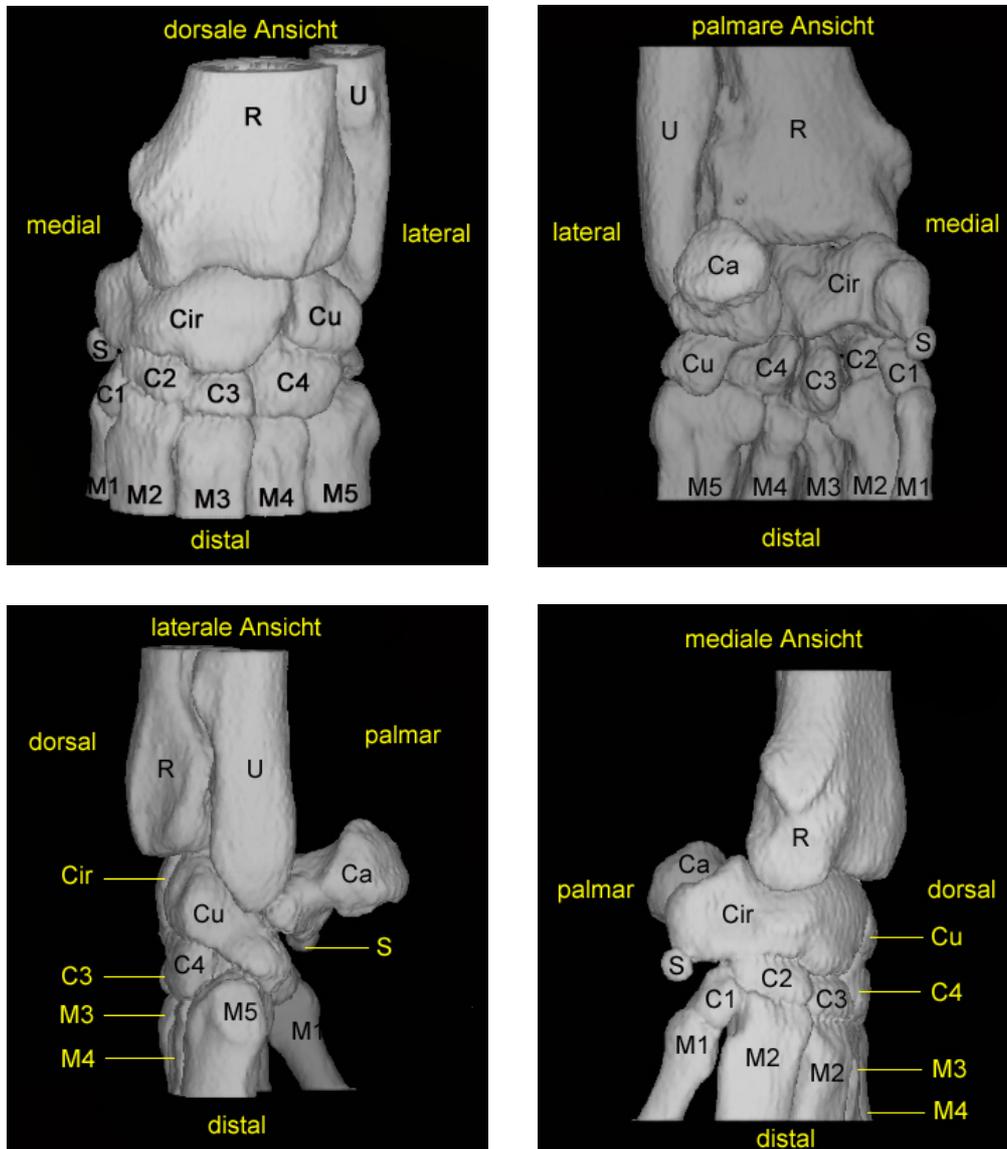
A	Arteria
Aa	Arteria antebrachialis superficialis cranialis
Aac	Articulatio antebrachio-carpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
ACu/Cir	Artikulation zwischen Os carpi ulnare und Os carpi intermedioradiale
Aic	Articulatio intercarpea

Am	Arteria mediana
Amc	Articulatio mediocarpea
Arteria int.c.	Arteria interossea caudalis
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
AVN	Arteria und Vena und Nervus
AVNm	Arteria und Vena mediana und Nervus medianus
AVNu	Arteria, Vena und Nervus ulnaris
C	Cutis, Integument, Haut
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Ef	Epiphysenfugennarbe
F	Faszienverstärkung
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
G	(Blut-)Gefäße
I	Integument, Haut, Cutis
I-Tc	Integument des Karpalballens (Torus carpeus)
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lam	Ligamentum accessoriometacarpeum
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Licp	Ligamentum intercarpeum palmare
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Lm	Ligamenta metacarpea
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lrcd/ru	Ligamentum radiocarpeum dorsale und Lig. radioulnare distale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lrud	Ligamentum radioulnare distale
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
Lru	Ligamentum radioulnare distale
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = Mabpl = M. abductor pollicis longus
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus (MabdII)
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Mecu-Re	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum extensorum

Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medi I+II	Musculus extensor digiti I und digiti II
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
N	Nervus
N+G	Nerven und Gefäße
Nm	Nervus medianus
Nr	Nervus radialis
Nu	Nervus ulnaris
Obs	oberflächliche Beugesehne
Pd1	Phalanx distalis der ersten Zehe
Pp1	Phalanx proximalis der ersten Zehe
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
S1	Sesambein der ersten Zehe
Sk1	lateral knöcherner Sagittalkamm
Skm	medialer knöcherner Sagittalkamm
Sr	Styloid des Radius, Processus styloideus radii
Tbs	tiefe Beugesehne
Tbs1	tiefe Beugesehne, Seitenast für die erste Zehe
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
U	Ulna
Vc	Vena cephalica
Vca	Vena cephalica accessoria

3.7.2 Abbildungen – Dreidimensionale Anatomie der Karpalknochen

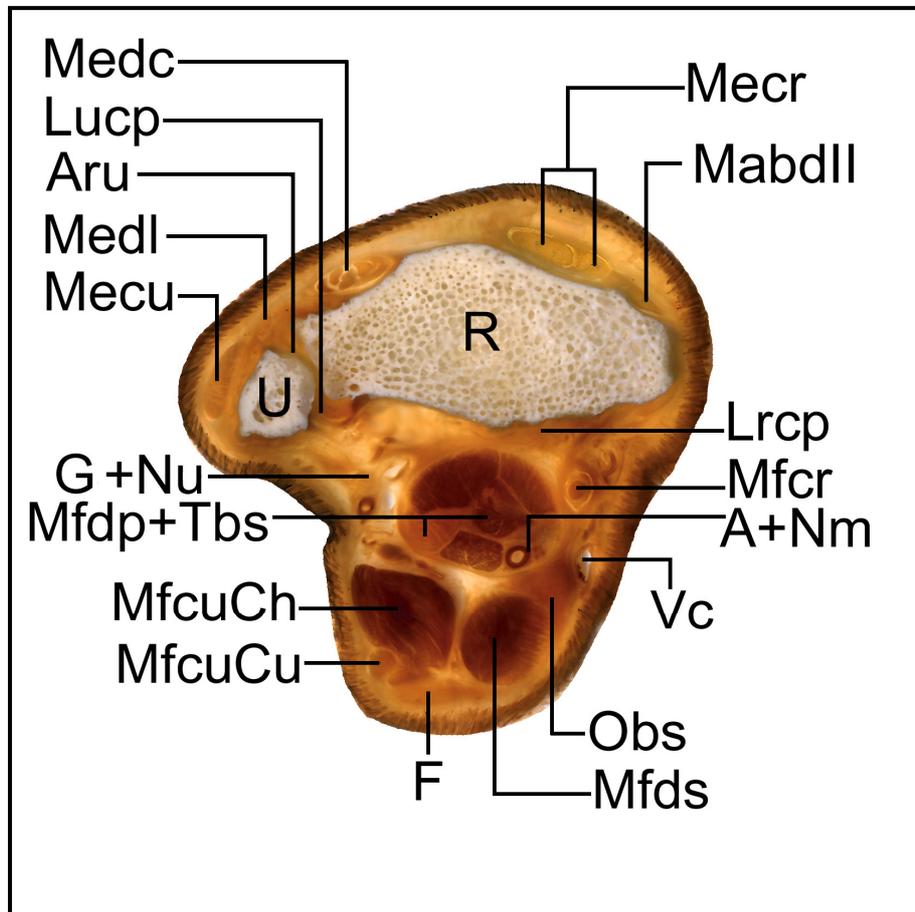
Abbildung 8a,b,c,d:
Dreidimensional rekonstruierter CT-Datensatz des knöchernen Karpus,
Ansicht in vier Ebenen



- | | |
|-----|---|
| C1 | Os carpale primum |
| C2 | Os carpale secundum |
| C3 | Os carpale tertium |
| C4 | Os carpale quartum |
| Ca | Os carpi accessorium |
| Cir | Os carpi intermedioradiale |
| Cu | Os carpi ulnare |
| M1 | Os metacarpale primum |
| M2 | Os metacarpale secundum |
| M3 | Os metacarpale tertium |
| M4 | Os metacarpale quartum |
| M5 | Os metacarpale quintum |
| R | Radius |
| S | Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus |
| U | Ulna |

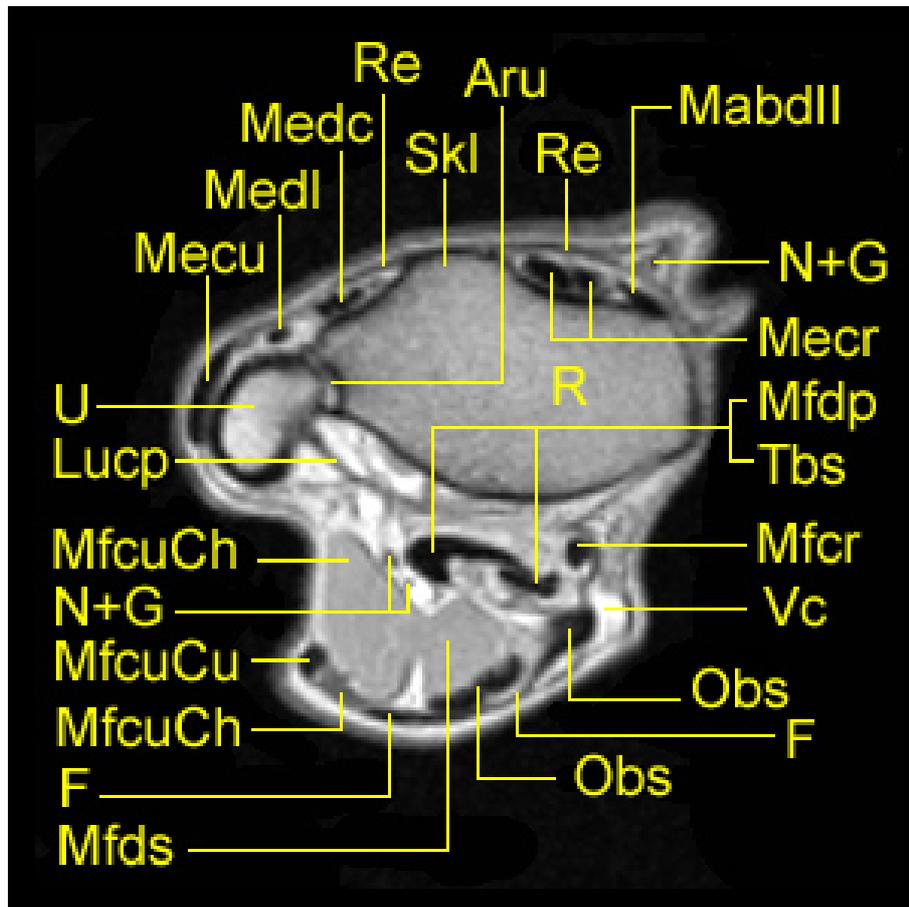
3.7.3 Abbildungen - Transversale Schnittbildanatomie

Abbildung 9a: Scheibenplastinat - Transversalschnitt Nr.1 proximal durch die Trochlea radii



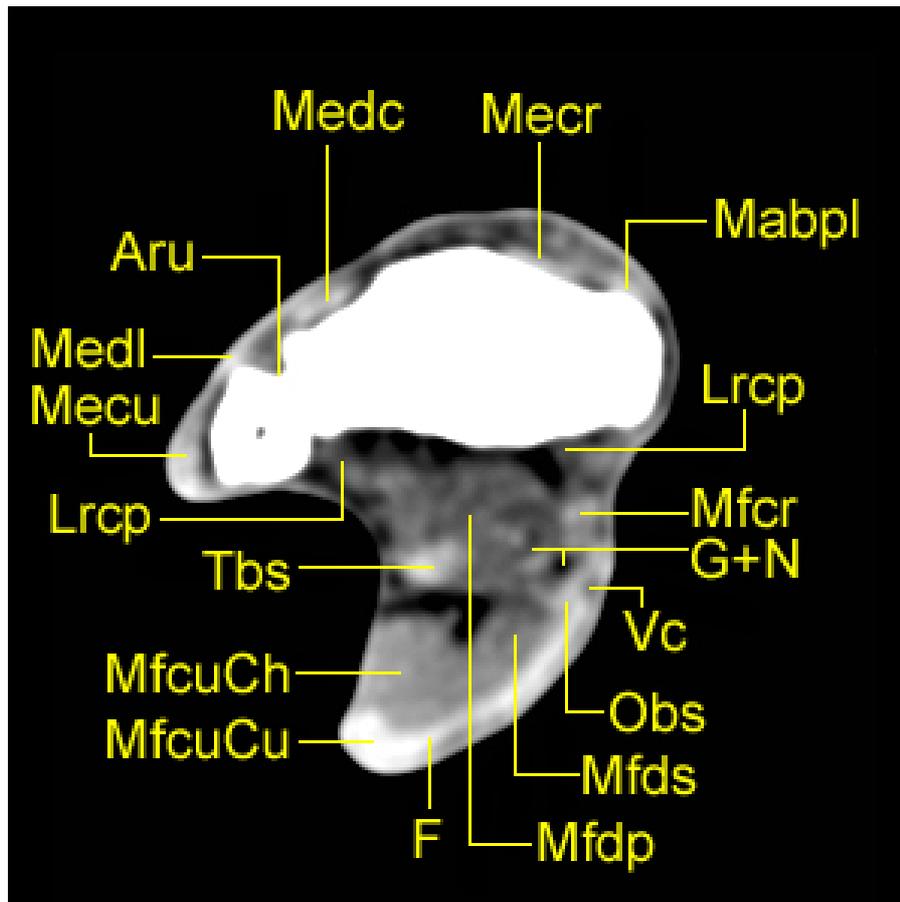
Am	Arteria mediana
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
F	Faszienerstärkung
G	(Blut-)Gefäße
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Nm	Nervus medianus
Nu	Nervus ulnaris
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Vc	Vena cephalica

Abbildung 9b: Korrespondierendes MR-Bild Nr.1 (T1-gewichtet)



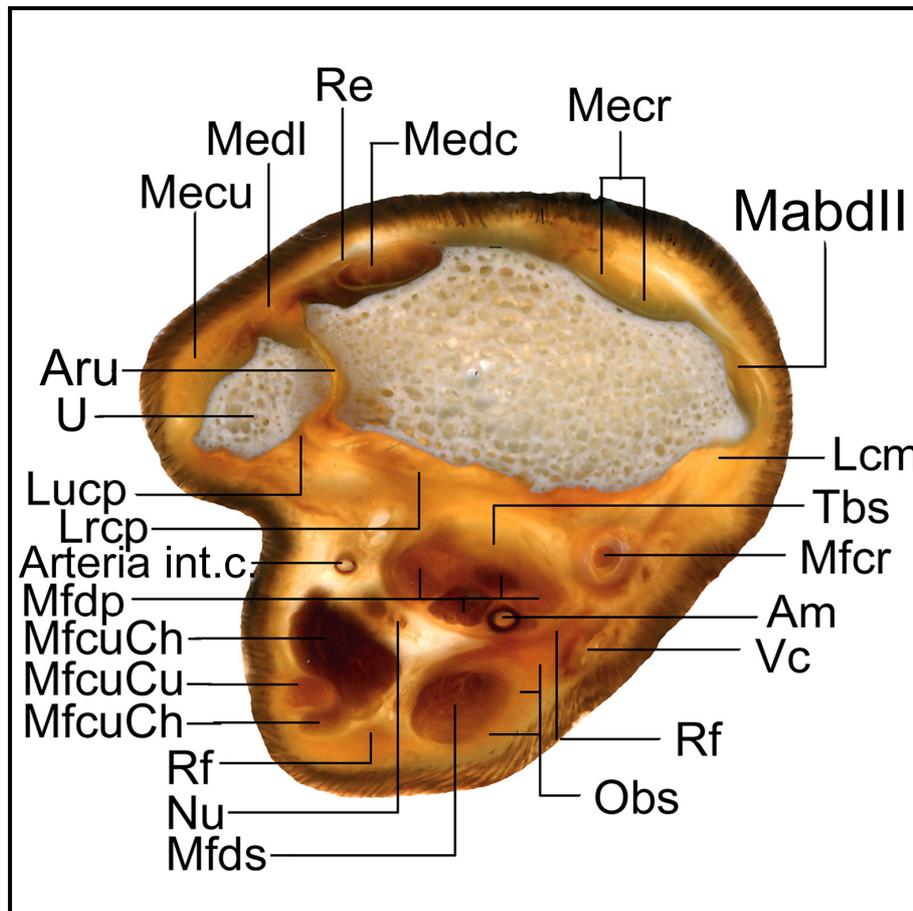
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
F	Faszienv Verstärkung
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
MabdlI	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Skl	lateraler knöcherner Sagittalkamm
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 9c: Korrespondierendes CT-Bild Nr.1 (Weichteilfenster)



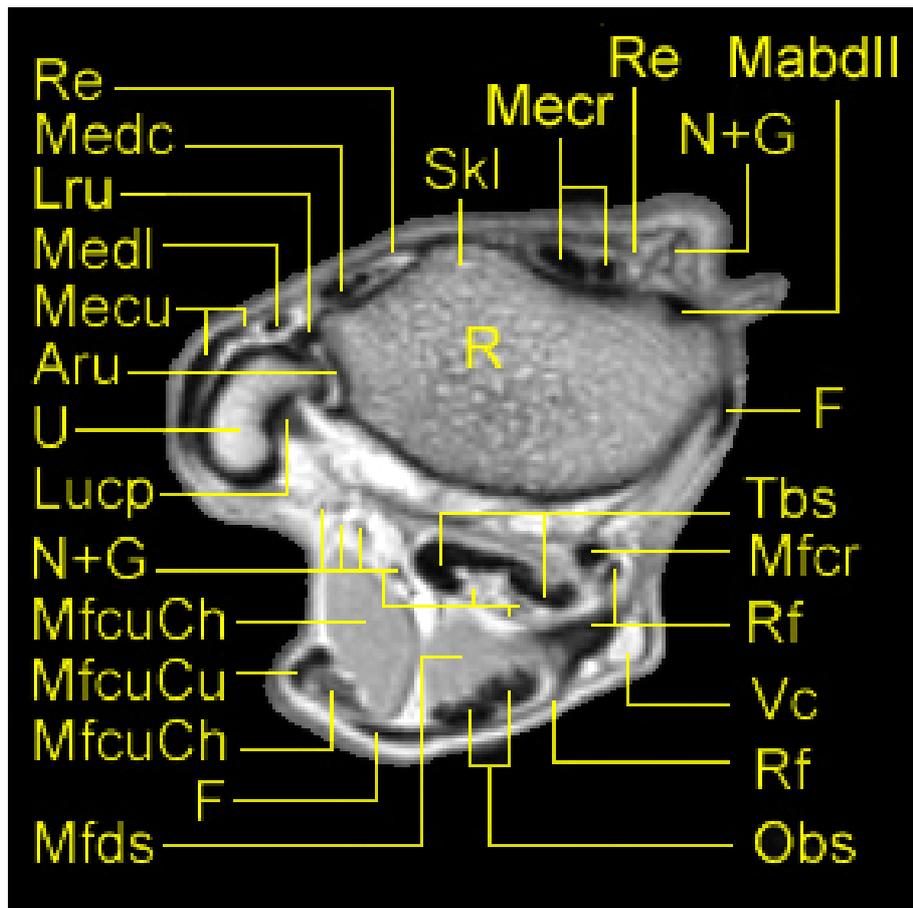
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
G+N	Gefäße und Nerven
Vc	Vena cephalica
Obs	oberflächliche Beugesehne
F	Faszienv Verstärkung
Tbs	tiefe Beugesehne
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis

Abbildung 10a: Scheibenplastinat - Transversalschnitt Nr.2
zentral durch die Trochlea radii



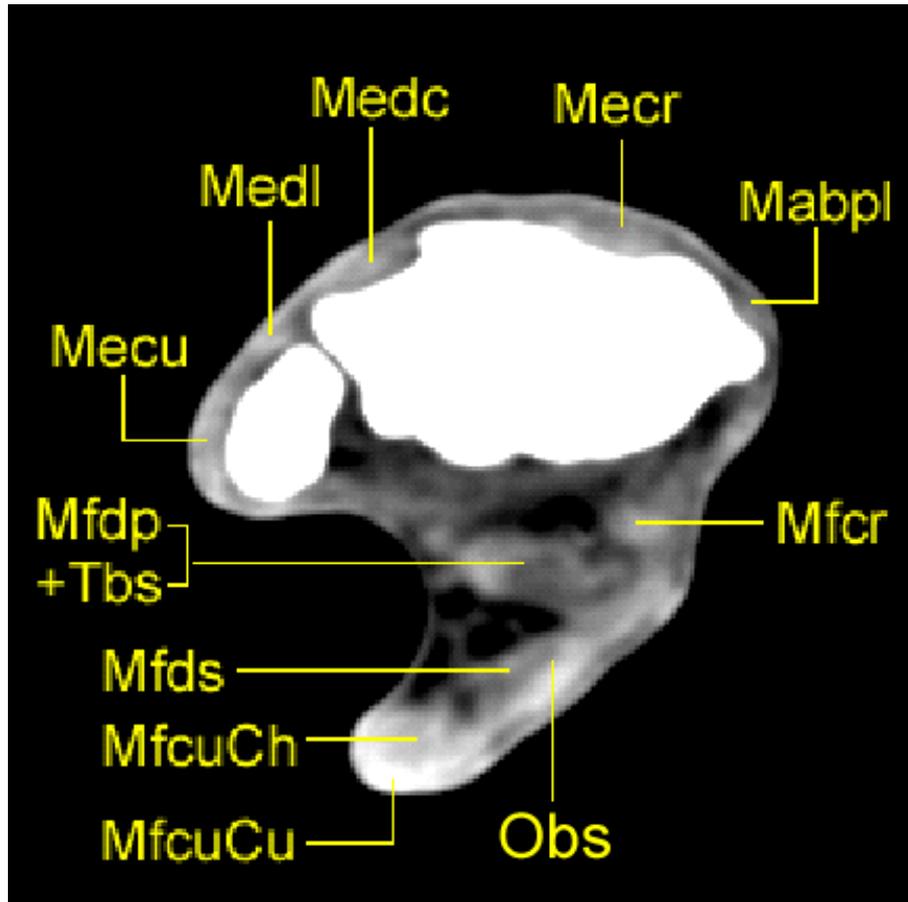
Am	Arteria mediana
Arteria int.c.	Arteria interossea caudalis
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfer	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Nu	Nervus ulnaris
Obs	oberflächliche Beugesehne
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 10b: Korrespondierendes MR-Bild Nr.2 (T1-gewichtet)



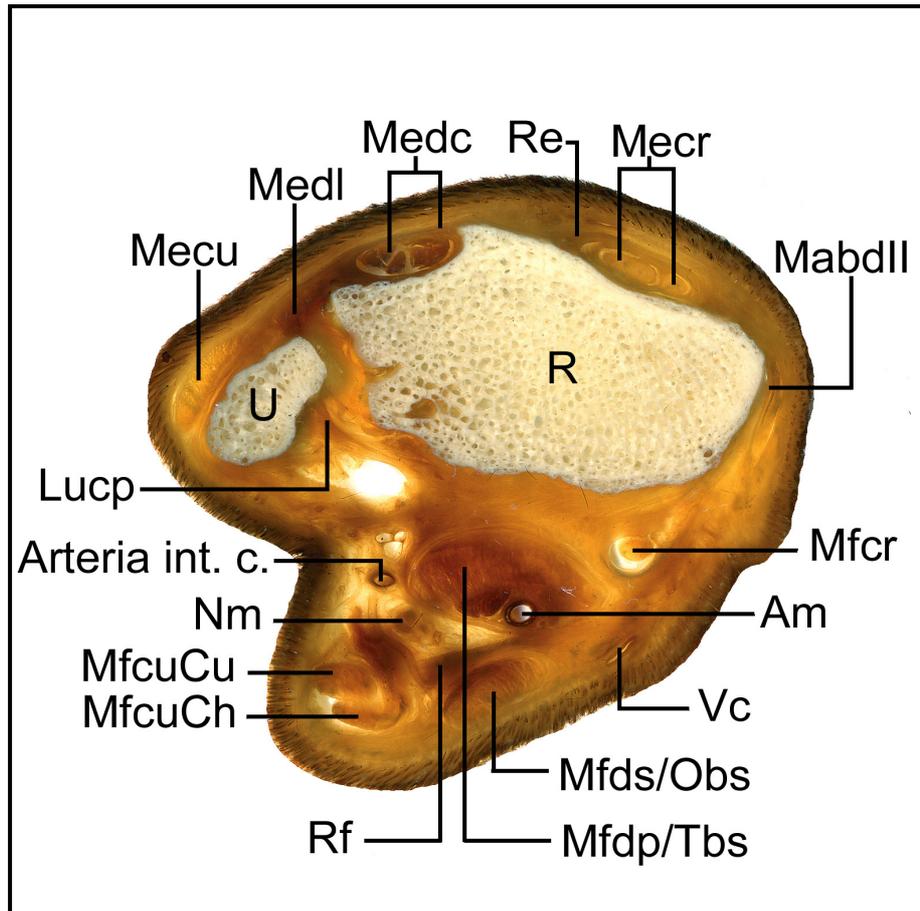
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
F	Faszienv Verstärkung
Lru	Ligamentum radioulnare distale
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Skl	lateraler knöcherner Sagittalkamm
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 10c: Korrespondierendes CT-Bild Nr.2 (Weichteilfenster)



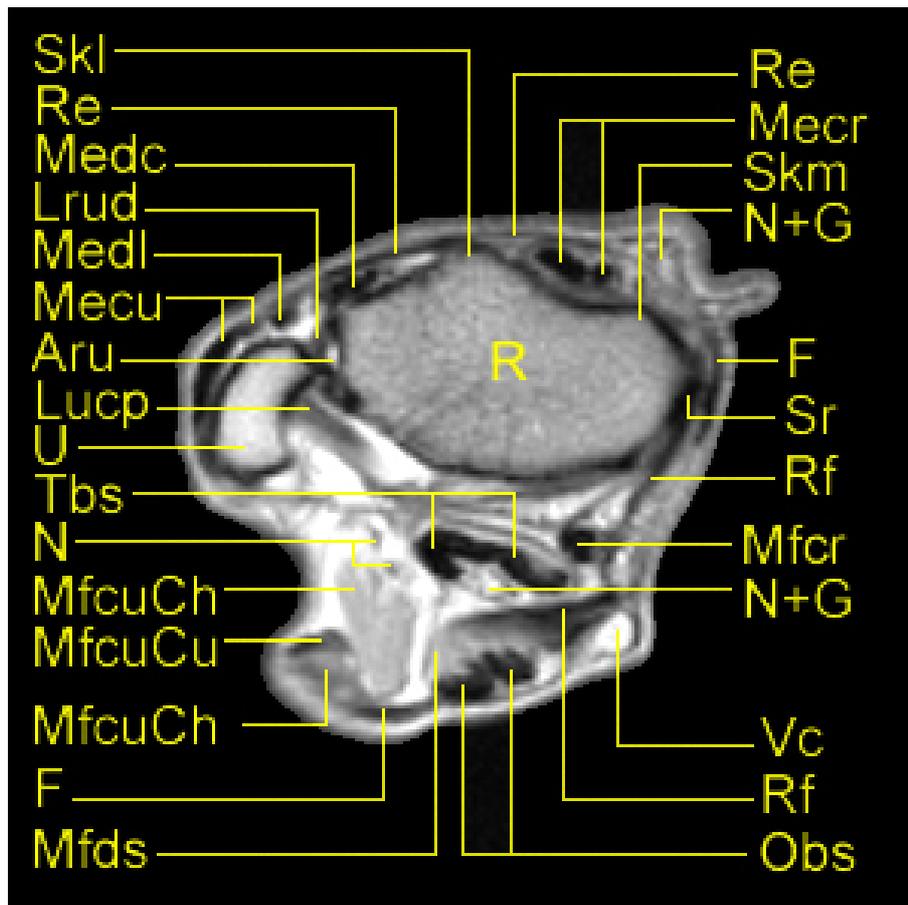
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 11a: Scheibenplastinat - Transversalschnitt Nr.3 distal durch die Trochlea radii



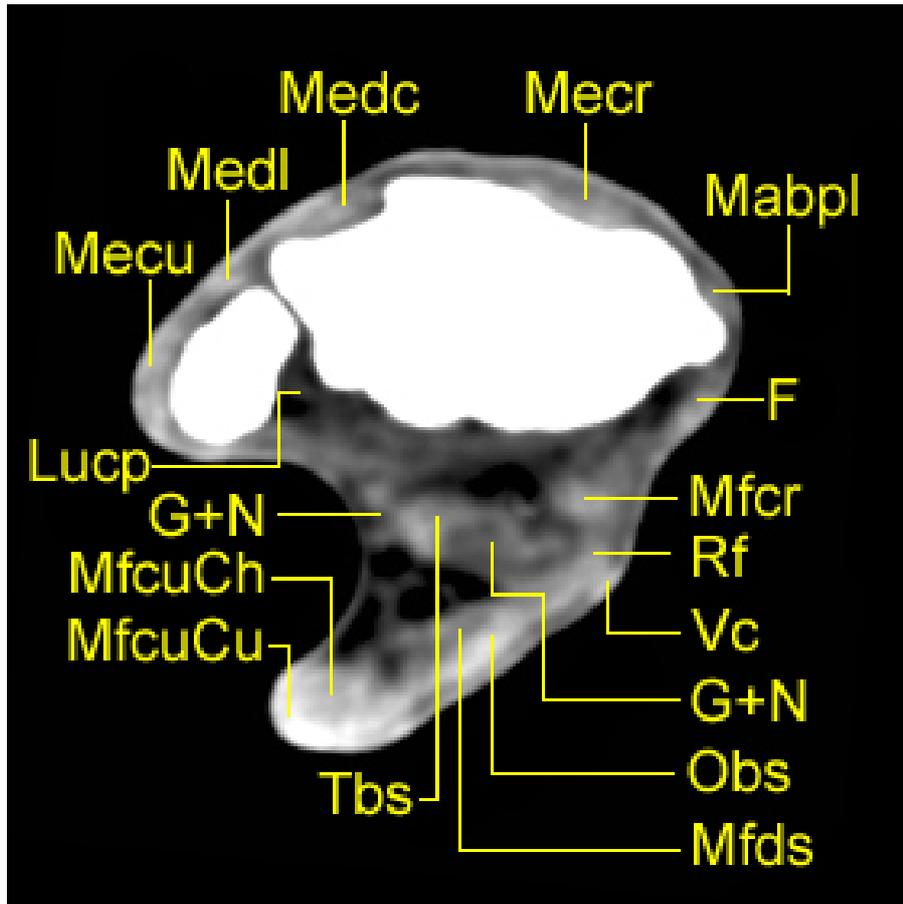
Am	Arteria mediana
Arteria int.c.	Arteria interossea caudalis
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Nm	Nervus medianus
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 11b: Korrespondierendes MR-Bild Nr.3 (T1-gewichtet)



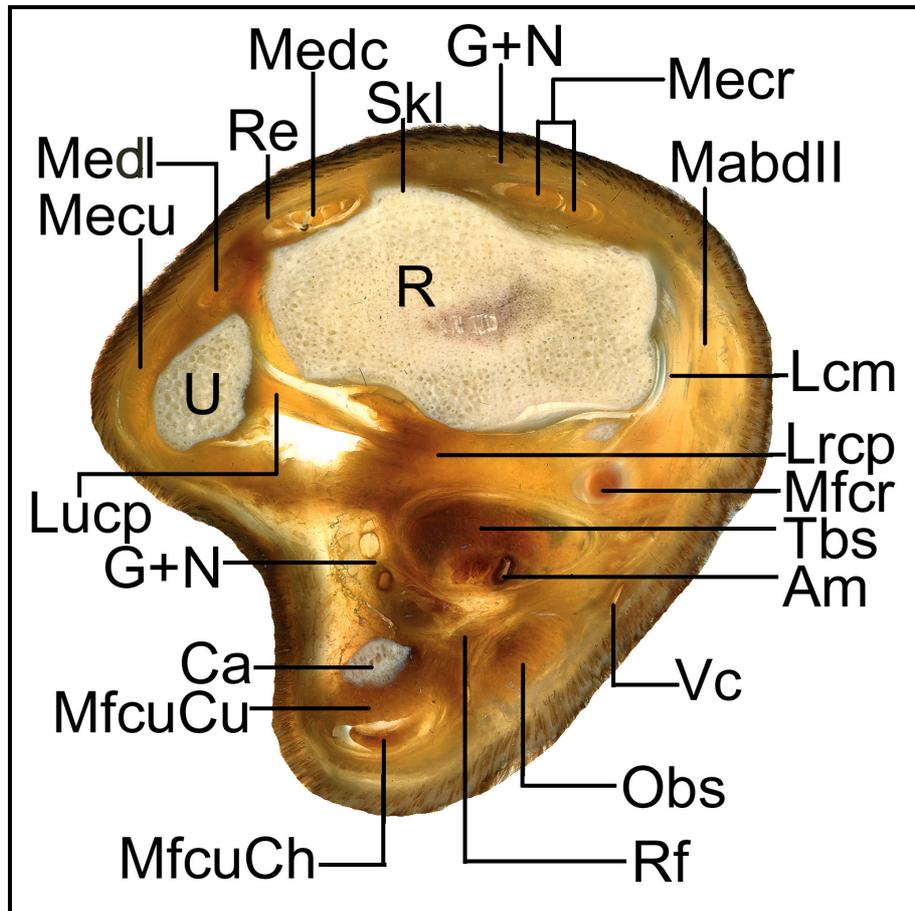
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
F	Faszienv Verstärkung
Lrud	Lig. radioulnare distale
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
N	Nerven
N+G	Nerven und GefäÙe
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Skl	lateraler knöcherner Sagittalkamm
Skm	medialer knöcherner Sagittalkamm
Sr	Styloid des Radius, Processus styloideus radii
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 11c: Korrespondierendes CT-Bild Nr.3 (Weichteilfenster)



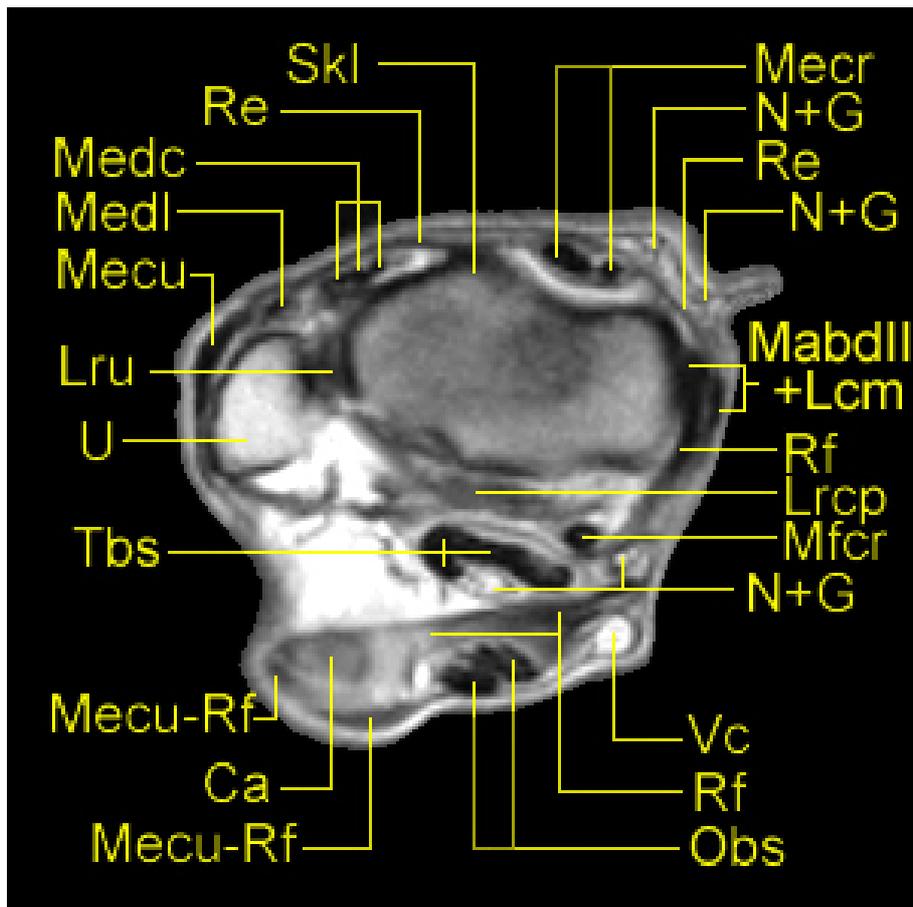
F	Fasziaverstärkung
G+N	Gefäße und Nerven
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Vc	Vena cephalica

Abbildung 12a: Scheibenplastinat - Transversalschnitt Nr.4 durch den subchondralen Knochen der Facies articularis carpea des Radius, direkt oberhalb der Art. antebrachio-carpeae mit Anschnitt des Os carpi accessorium



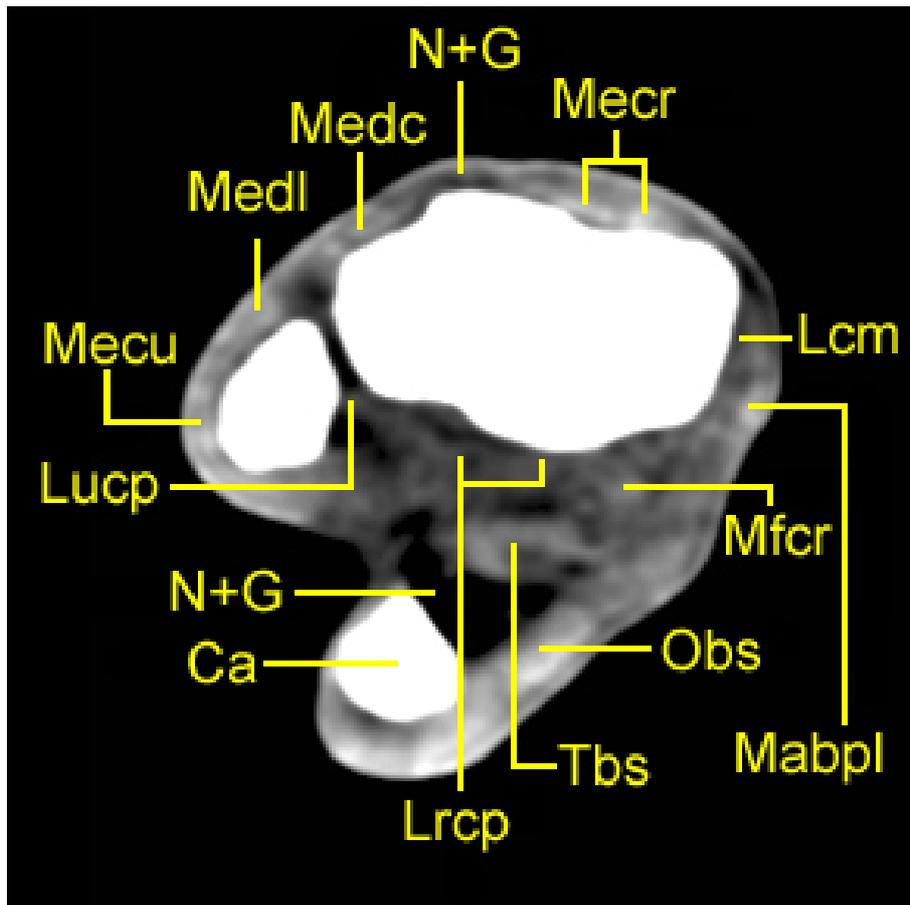
Am	Arteria mediana
Ca	Os carpi accessorium
G+N	Gefäße und Nerven
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
MabdlI	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Skl	lateraler knöcherner Sagittalkamm
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 12b: Korrespondierendes MR-Bild Nr.4 (T1-gewichtet)



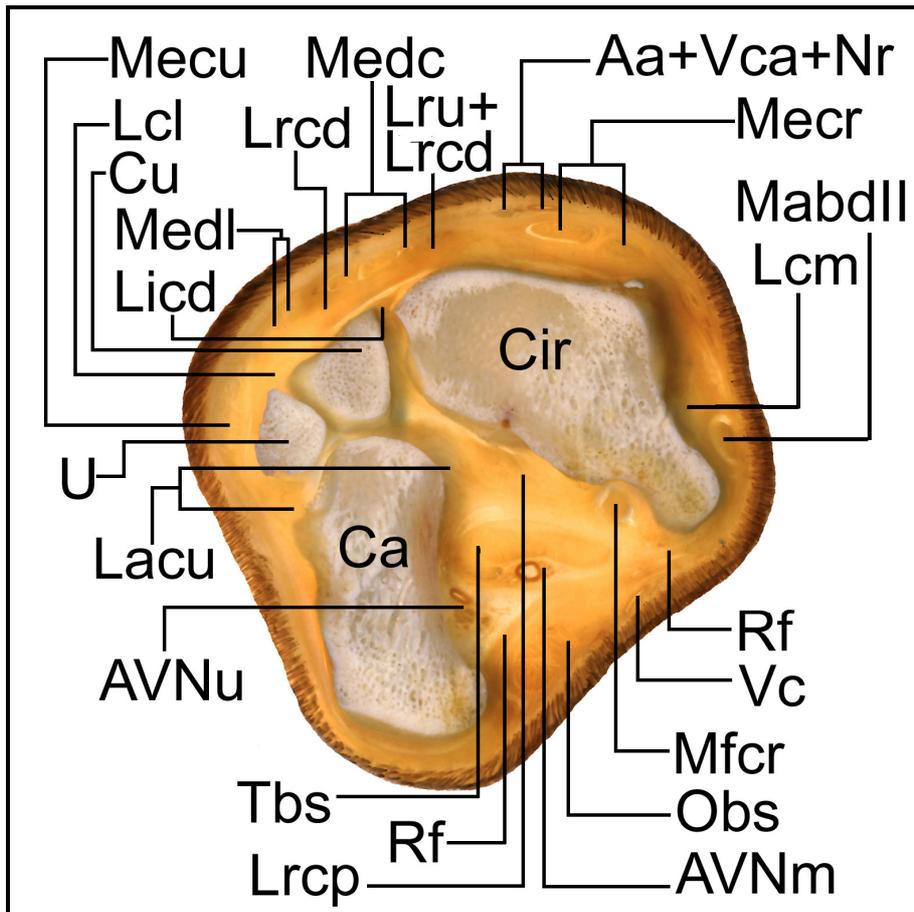
Ca	Os carpi accessorium
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lru	Ligamentum radioulnare distale
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Skl	lateraler knöcherner Sagittalkamm
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 12c: Korrespondierendes CT-Bild Nr.4 (Weichteilfenster)



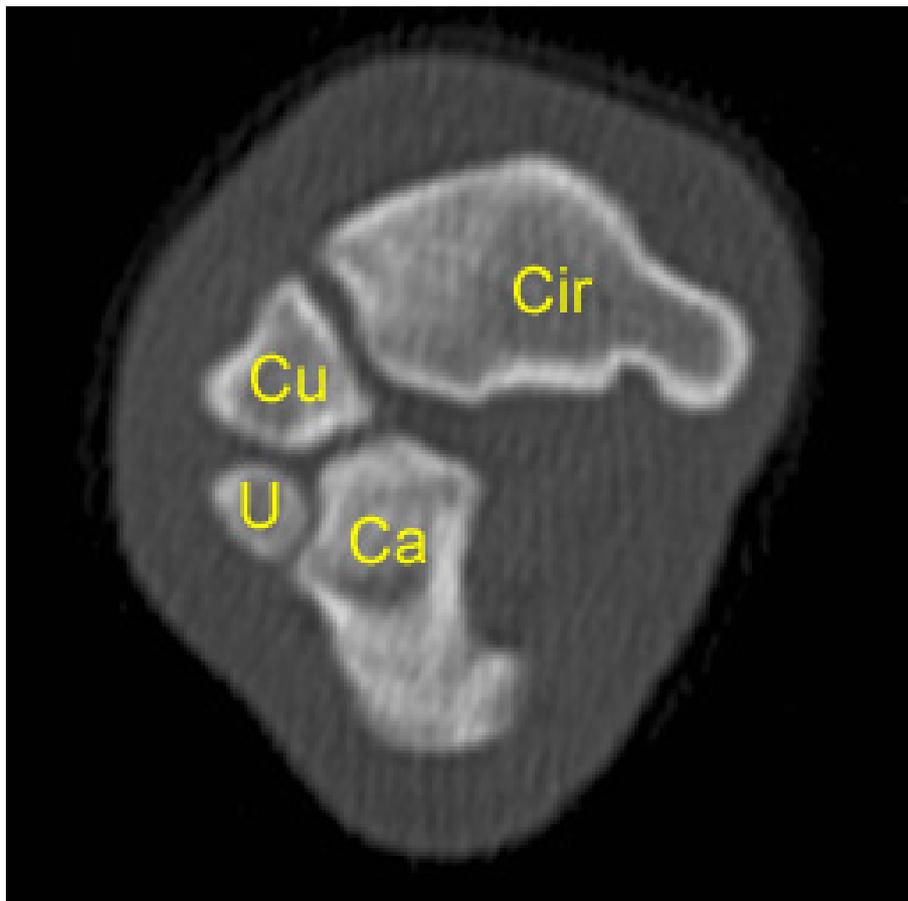
Ca	Os carpi accessorium
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 13a: Scheibenplastinat - Transversalschnitt Nr.5 proximal durch die proximale Karpalgelenksreihe



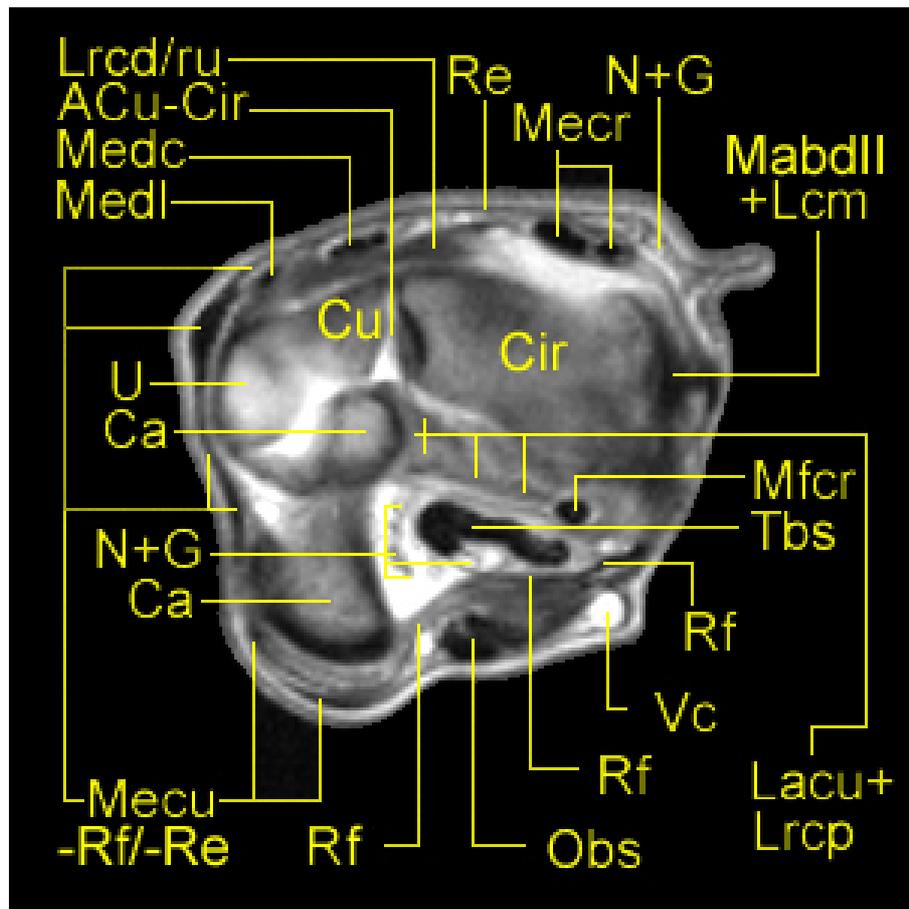
Aa	Arteria antebrachialis superficialis cranialis
AVNm	Arteria und Vena mediana und Nervus medianus
AVNu	Arteria, Vena und Nervus ulnaris
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrccd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lru	Ligamentum radioulnare distale
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Nr	Nervus radialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica
Vca	Vena cephalica accessoria

Abbildung 13b: Korrespondierendes CT-Bild Nr.5 (Knochenfenster)



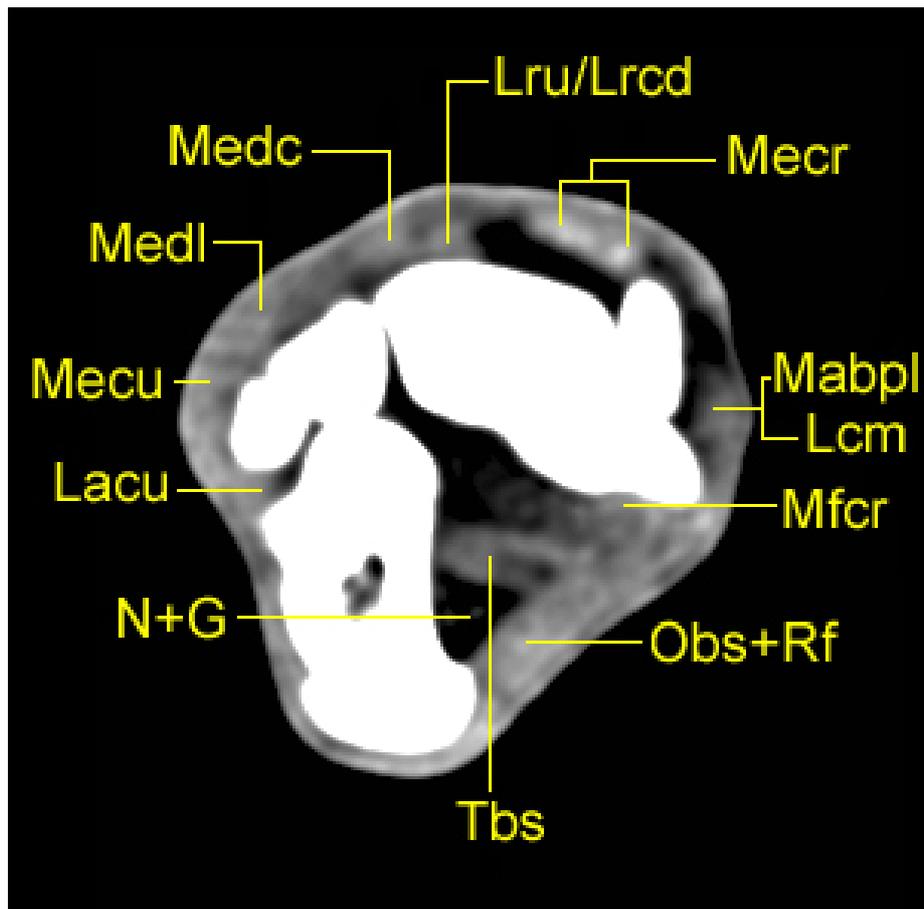
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
U	Ulna

Abbildung 13c: Korrespondierendes MR-Bild Nr.5 (T1-gewichtet)



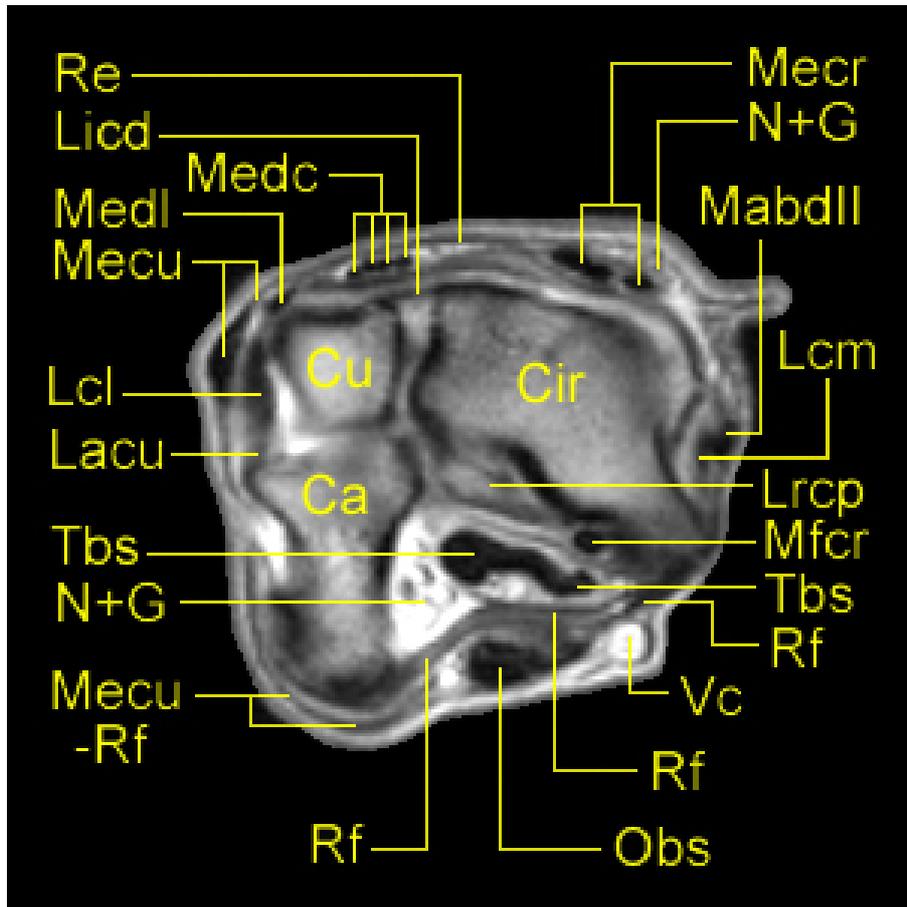
ACu/Cir	Artikulation zwischen Os carpi ulnare und Os carpi intermedioradiale
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcd/ru	Ligamentum radiocarpeum dorsale und Lig. radioulnare distale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Re	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum extensorum
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
U	Ulna
Vc	Vena cephalica

Abbildung 13d: Korrespondierendes CT-Bild Nr.5 (Weichteilfenster)



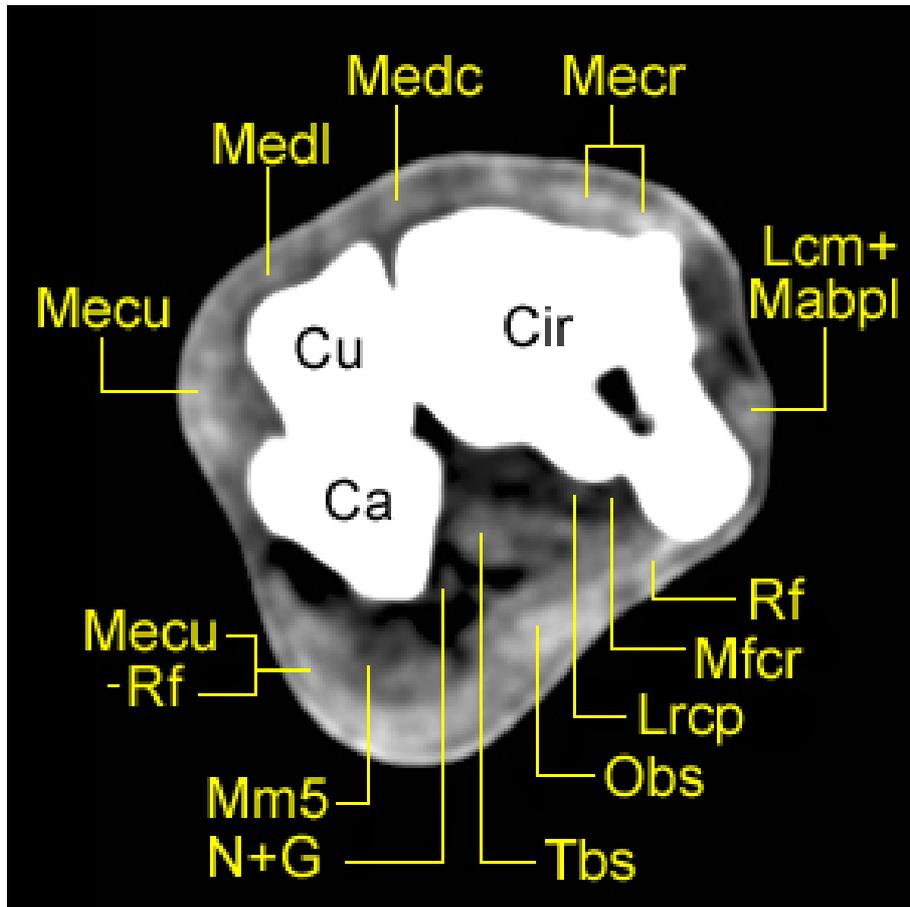
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lru	Lig. radioulnare distale
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 14a: MR-Bild Nr.5* (T1-gewichtet)
 Transversalschnitt
 zentral durch die antebrachiale Karpalgelenksreihe



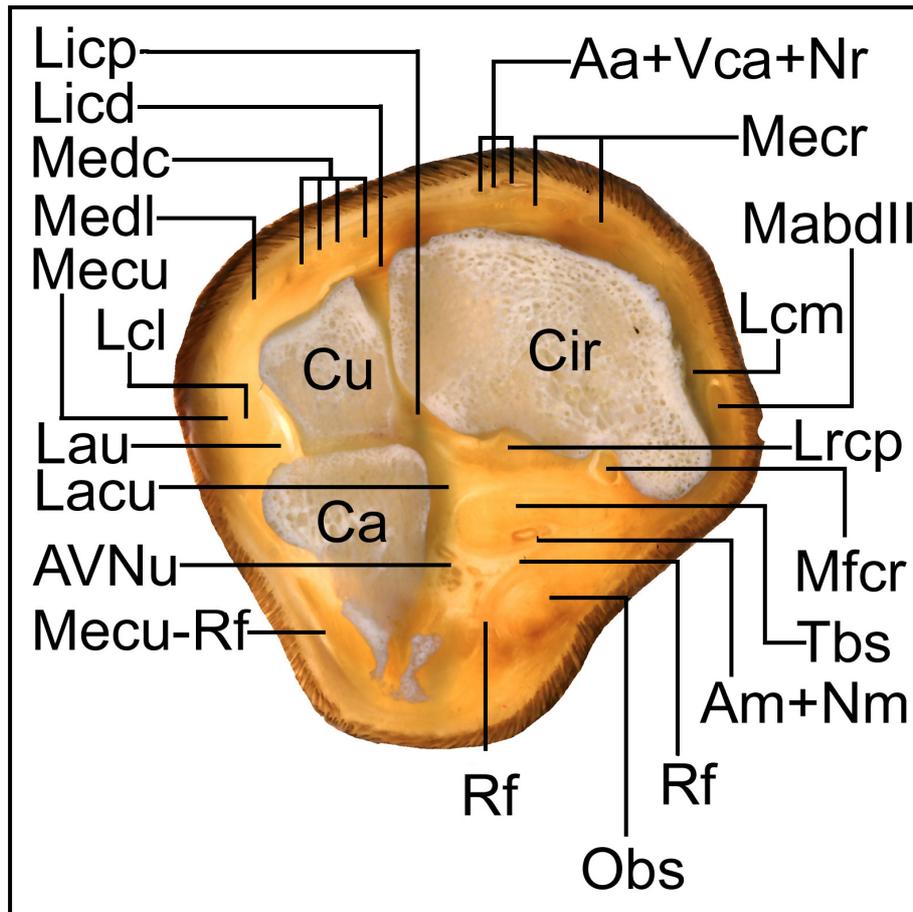
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Vc	Vena cephalica

Abbildung 14b: CT-Bild Nr.5* (Weichteilfenster)
 Transversalschnitt
 zentral durch die antebrachiale Karpalgelenksreihe



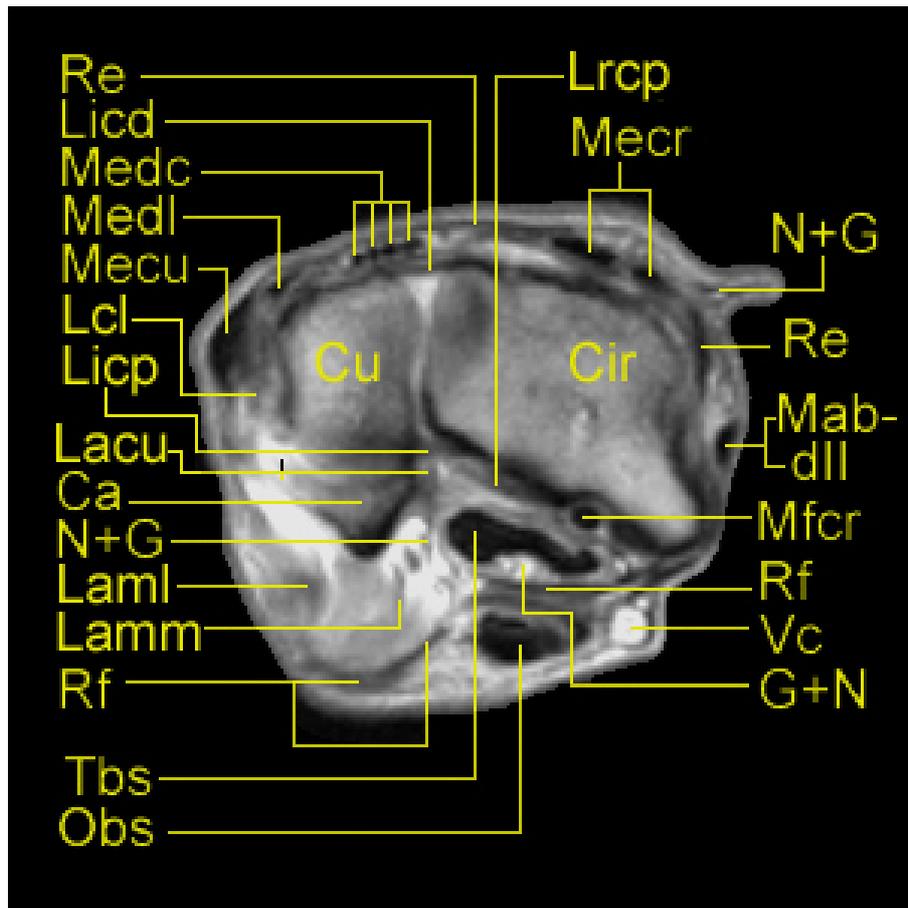
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpum palmare
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus (MabdII)
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 15a: Scheibenplastinat – Transversalschnitt Nr.6 distal durch die antebrachiale Karpalgelenksreihe



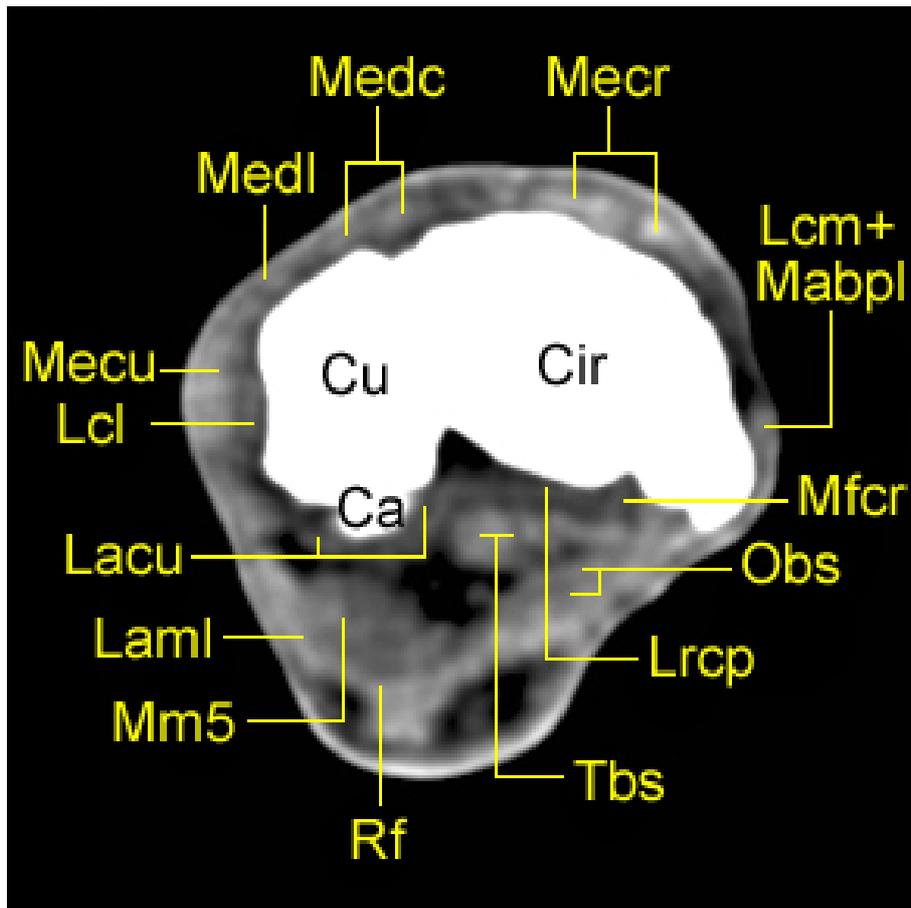
Aa	Arteria antebrachialis superficialis cranialis
Am	Arteria mediana
AVNu	Arteria, Vena und Nervus ulnaris
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Licp	Ligamentum intercarpeum palmare
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Nm	Nervus medianus
Nr	Nervus radialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Vca	Vena cephalica accessoria

Abbildung 15b: Korrespondierendes MR-Bild Nr.6 (T1-gewichtet)



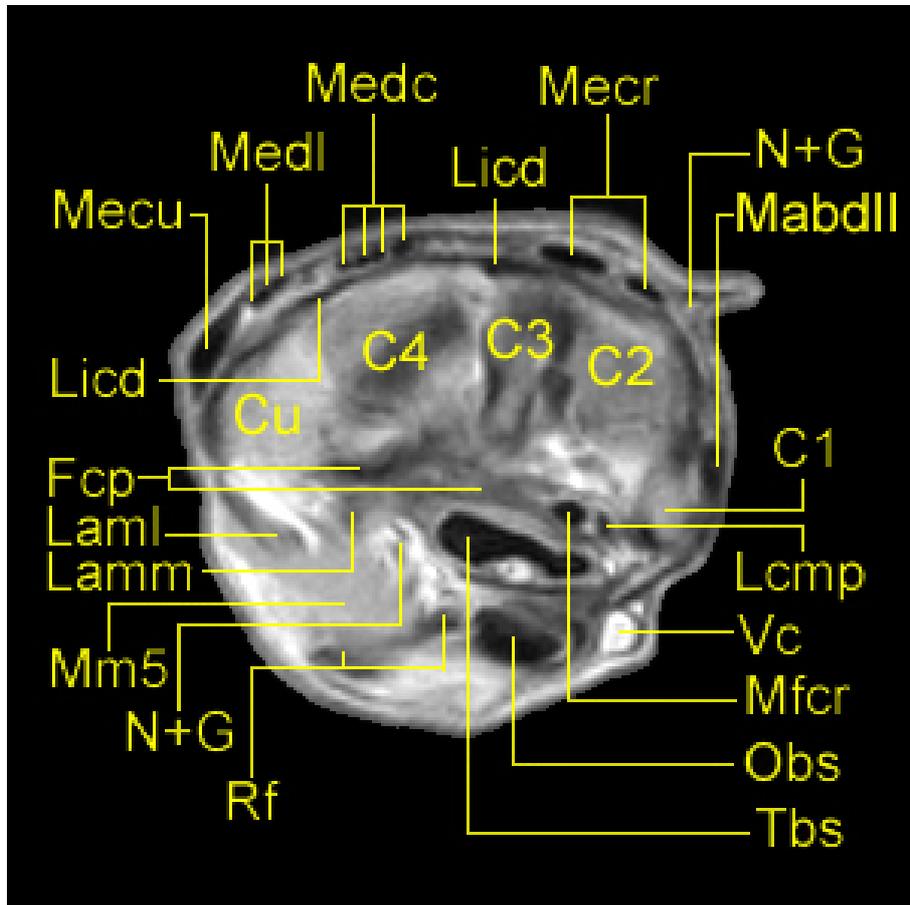
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
G+N	Gefäße und Nerven
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Licp	Ligamentum intercarpeum palmare
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
N+G	Nerven und Gefäße
Nm	Nervus medianus
Obs	oberflächliche Beugesehne
Re	Retinaculum extensorum
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Vc	Vena cephalica

Abbildung 15c: Korrespondierendes CT-Bild Nr.6 (Weichteilfenster)



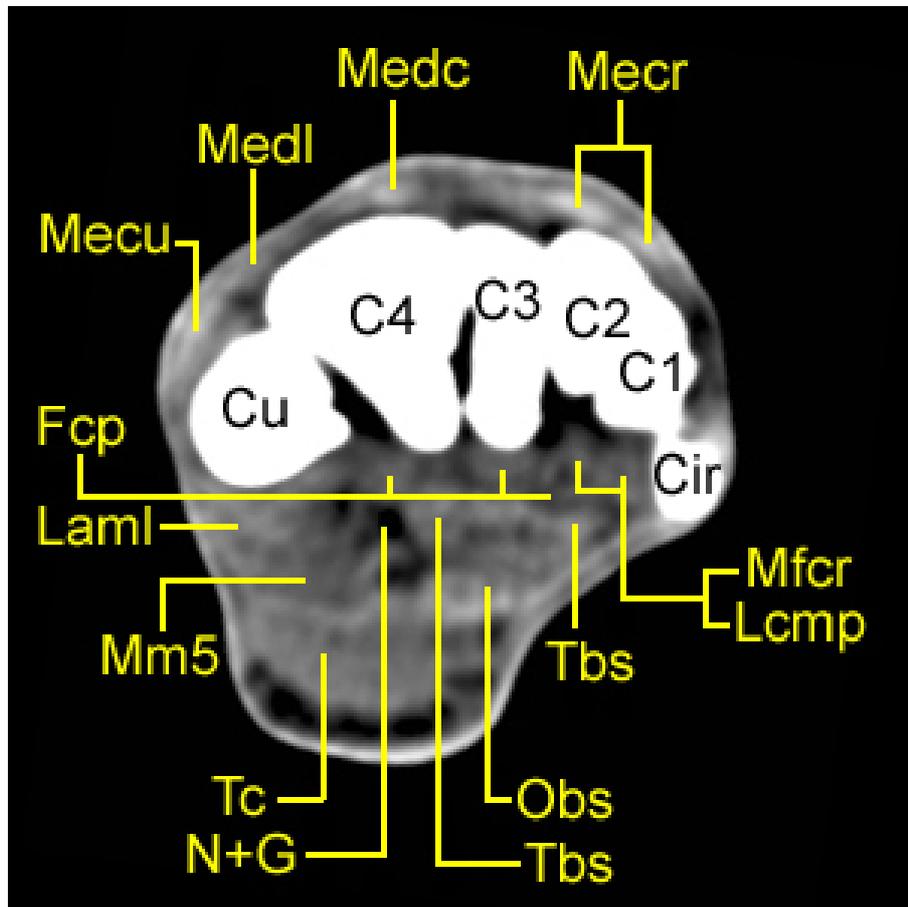
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 16a: MR-Bild Nr.6* (T1-gewichtet)
 Transversalschnitt
 proximal durch die distale Karpalgelenksreihe



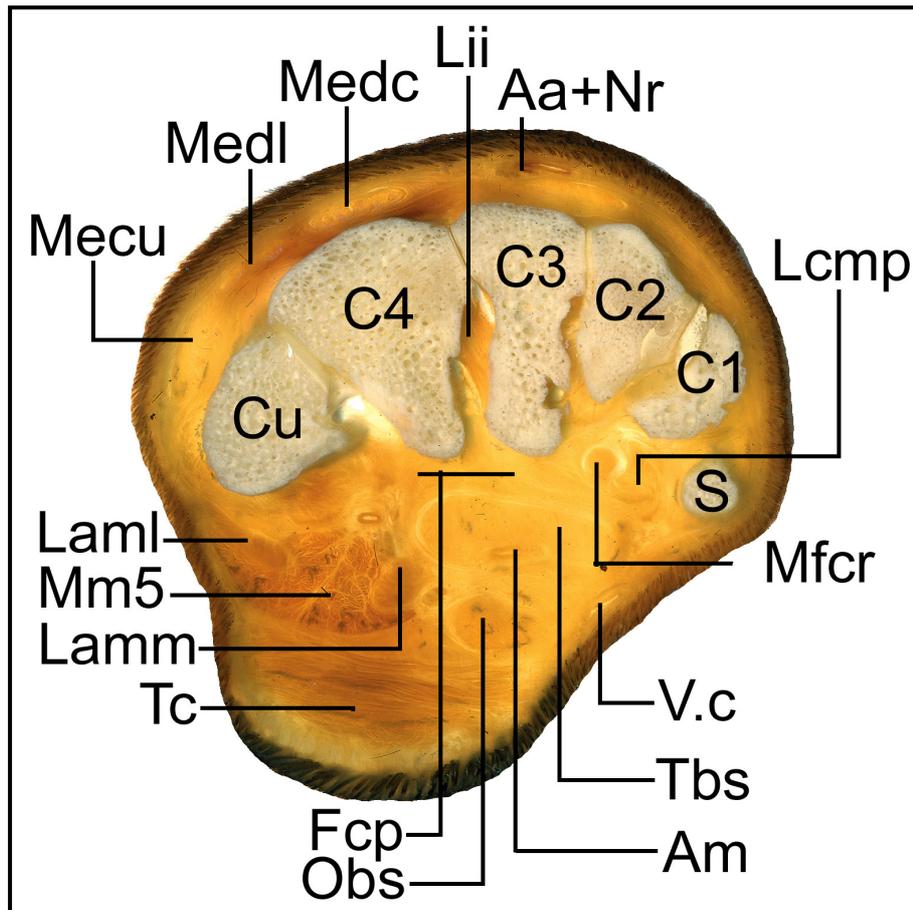
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
LamI	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
LamM	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
MabdlI	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Vc	Vena cephalica

Abbildung 16b: CT-Bild Nr.6* (Weichteilfenster)
 Transversalschnitt
 proximal durch die distale Karpalgelenksreihe



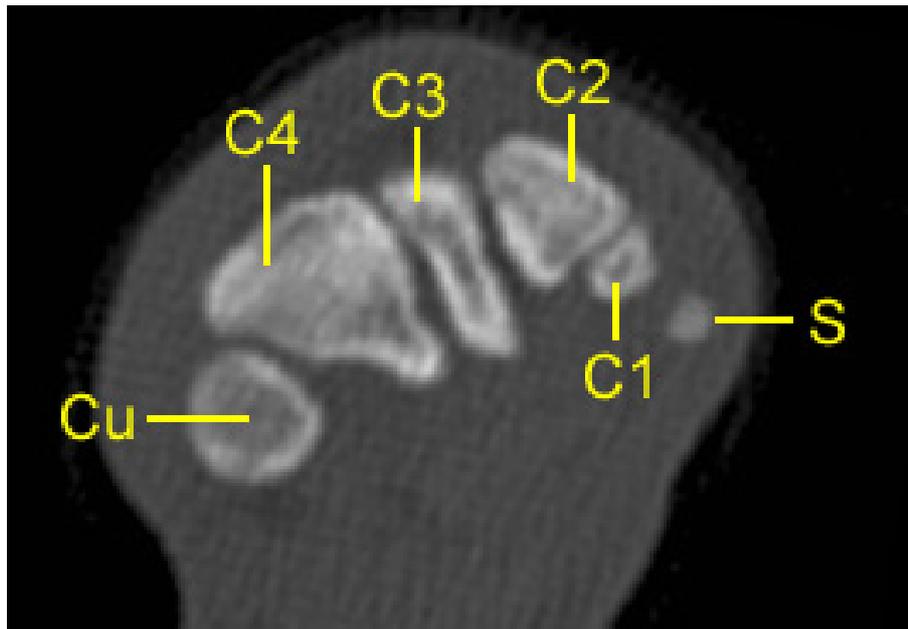
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
LamI	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis,
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 17a: Scheibenplastinat – Transversalschnitt Nr.7 zentral durch die distale Karpalgelenksreihe



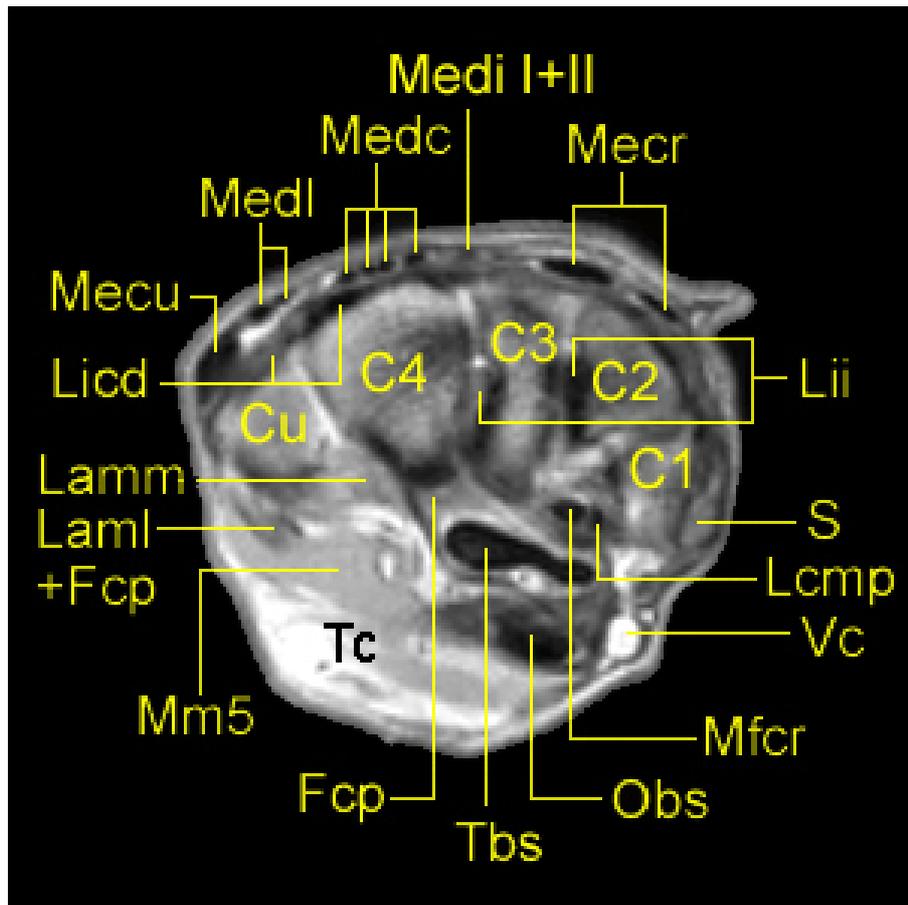
Aa	Arteria antebrachialis superficialis cranialis
Am	Arteria mediana
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcimp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Nr	Nervus radialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 17b: Korrespondierendes CT-Bild Nr.7 (Knochenfenster)



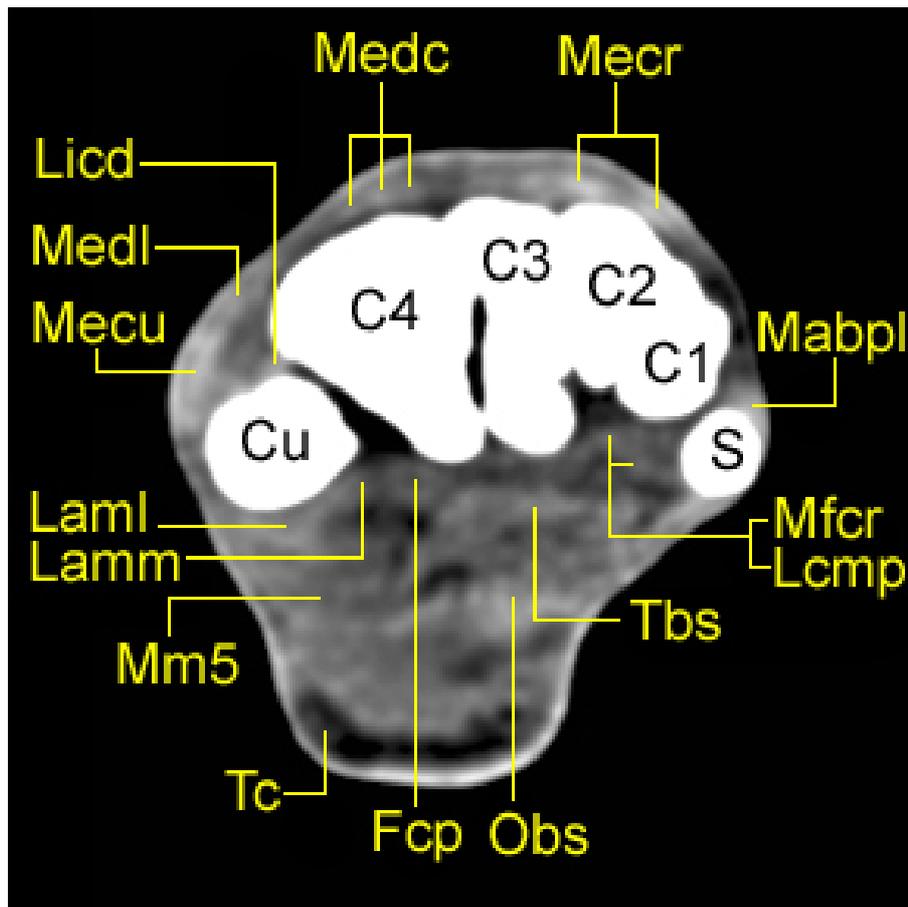
C1	Os carpalum primum
C2	Os carpalum secundum
C3	Os carpalum tertium
C4	Os carpalum quartum
Cu	Os carpi ulnare
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus

Abbildung 17c: Korrespondierendes MR-Bild Nr.7 (T1-gewichtet)



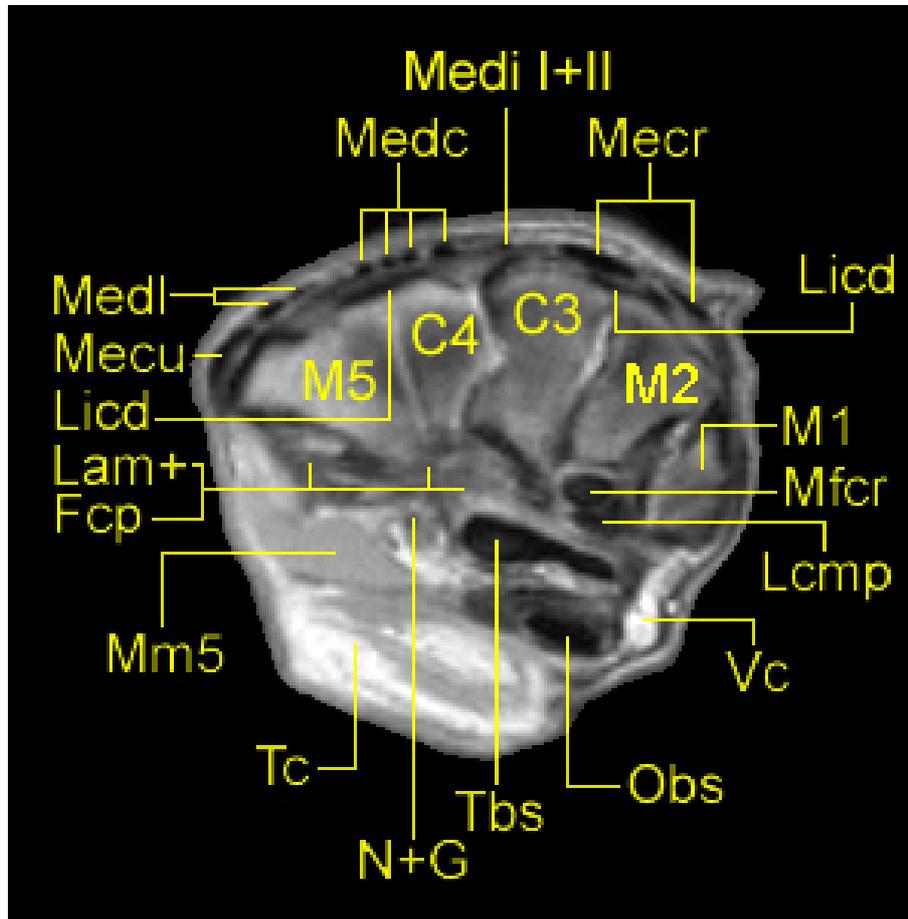
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medi I+II	Musculus extensor digiti I und digiti II
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 17d: Korrespondierendes CT-Bild Nr.7 (Weichteilfenster)



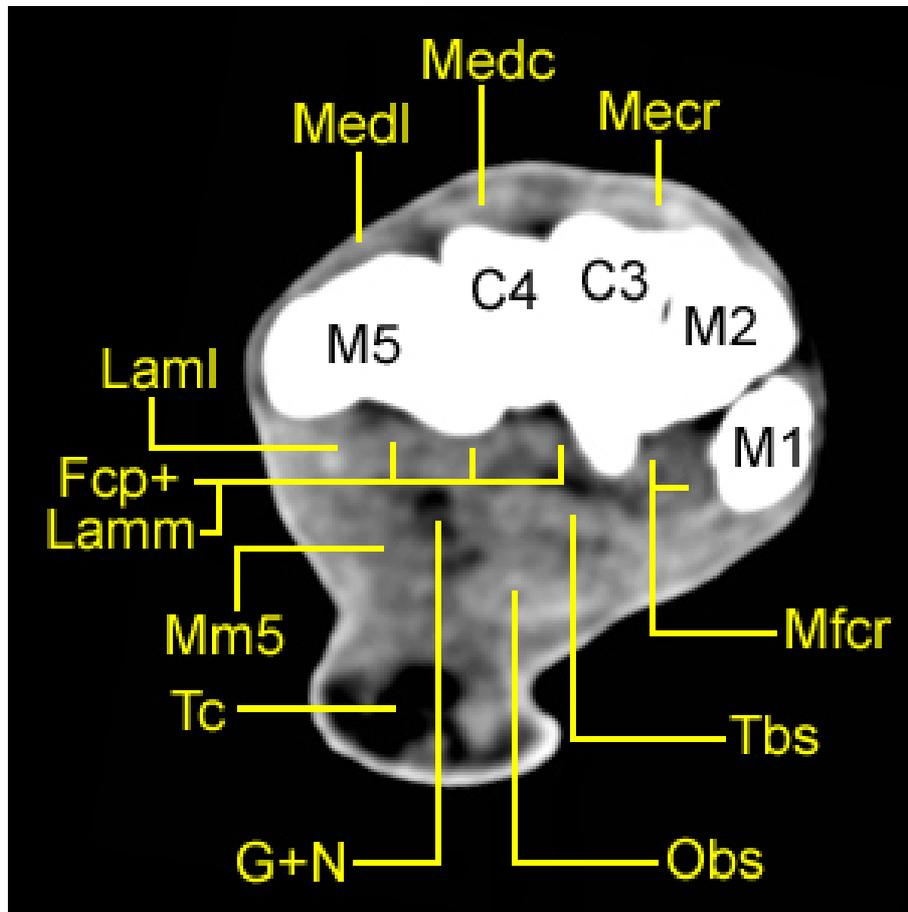
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 18a: MR-Bild Nr.7* (T1-gewichtet)
 Transversalschnitt
 durch die Art. carpometacarpea



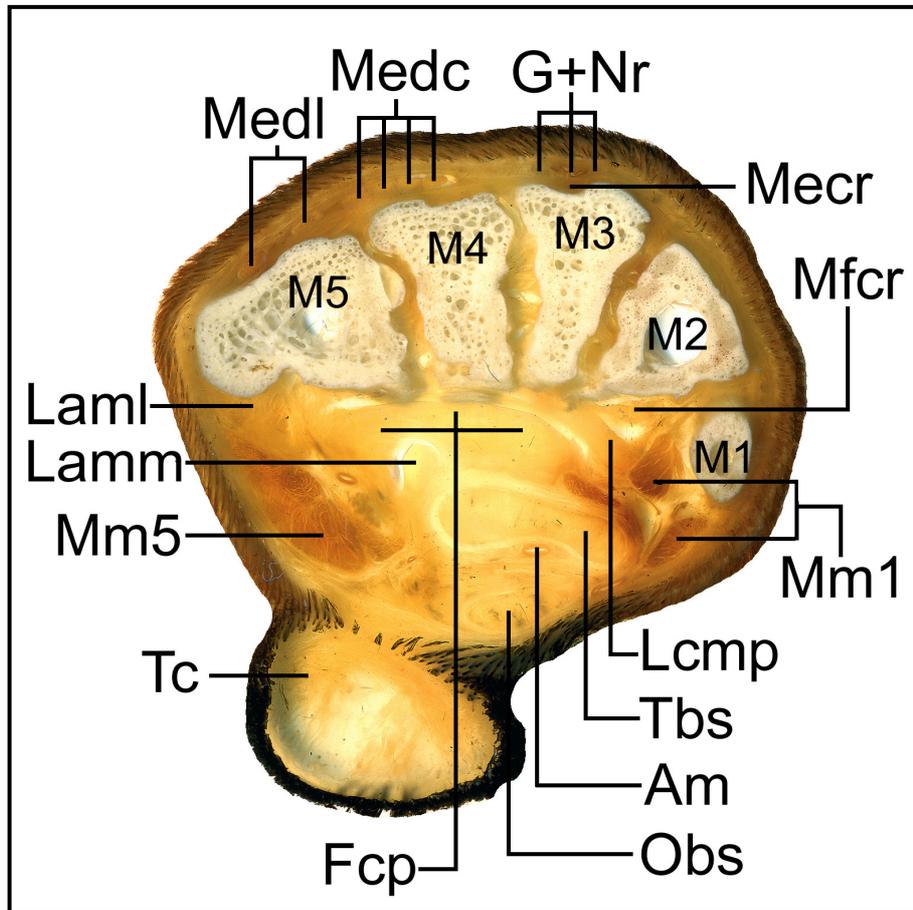
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lam	Ligamentum accessoriometacarpeum
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medi I+II	Musculus extensor digiti I und digiti II
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 18b: CT-Bild Nr.7* (Weichteilfenster)
 Transversalschnitt
 durch die Art. carpometacarpea



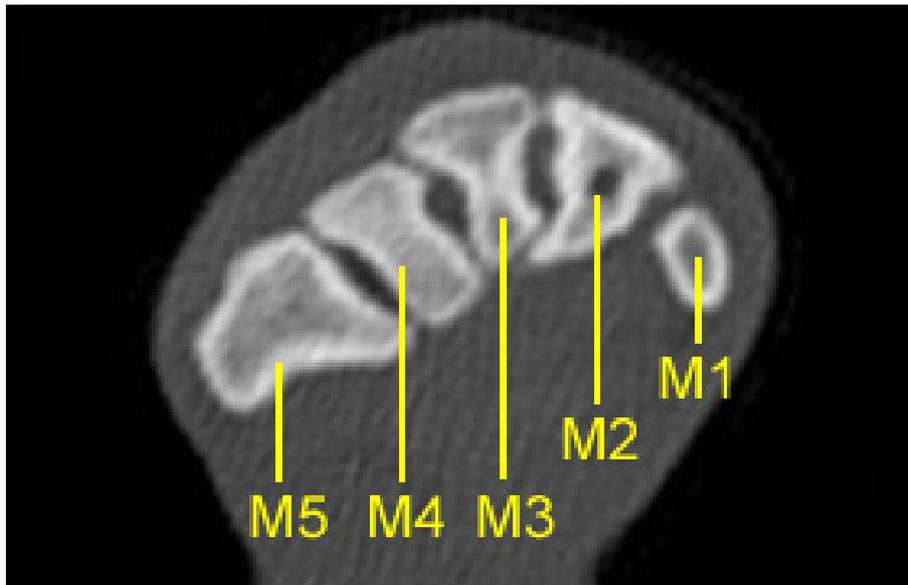
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
G+N	Gefäße und Nerven
LamI	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfer	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 19a: Scheibenplastinat – Transversalschnitt Nr.8 proximal durch die Basis der Metakarpalknochen



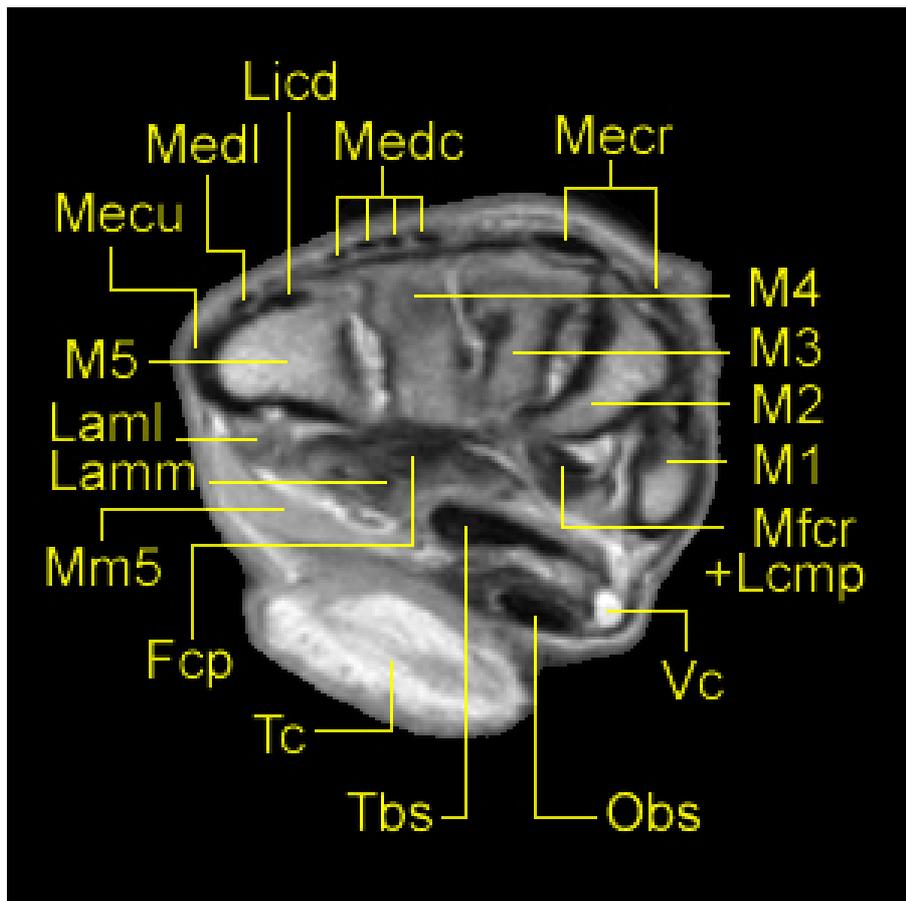
Am	Arteria mediana
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
G	(Blut-)Gefäße
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Nr	Nervus radialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 19b: Korrespondierendes CT-Bild Nr.8 (Knochenfenster)



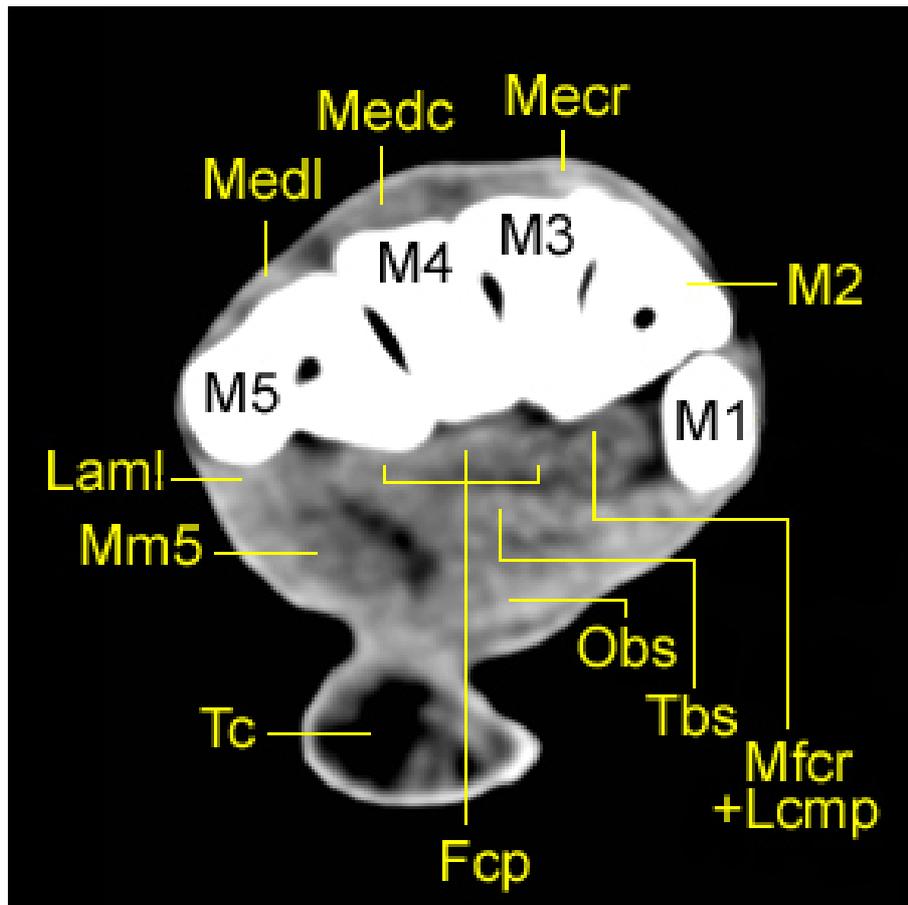
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum

Abbildung 19c: Korrespondierendes MR-Bild Nr.8 (T1-gewichtet)



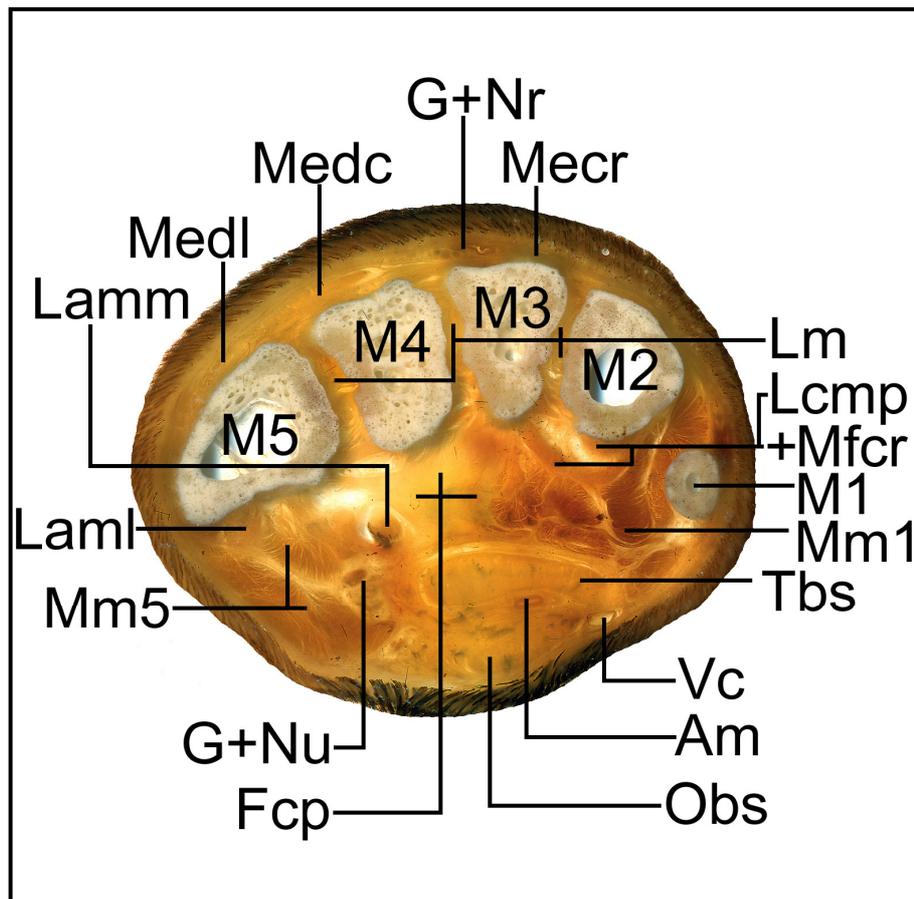
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfer	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 19d: Korrespondierendes CT-Bild Nr.8 (Weichteilfenster)



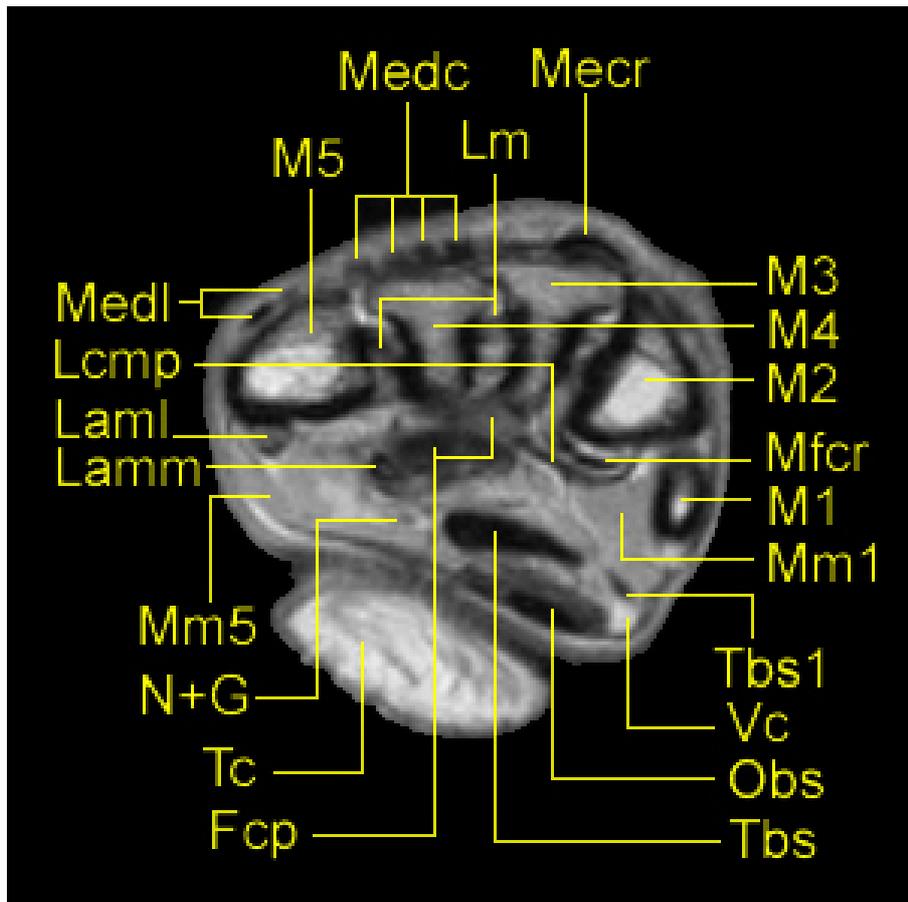
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 20a: Scheibenplastinat – Transversalschnitt Nr.9
distal durch die Basis der Metakarpalknochen



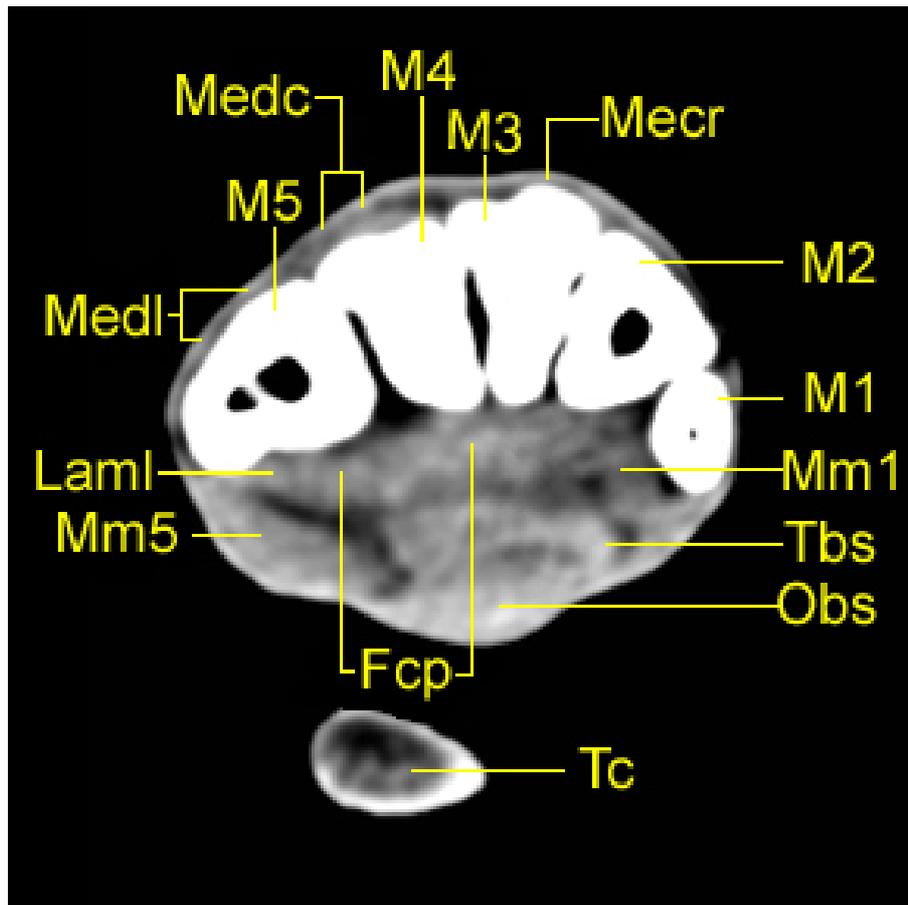
Am	Arteria mediana
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
G	(Blut-)Gefäße
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Lm	Ligamenta metacarpea
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Nr	Nervus radialis
Nu	Nervus ulnaris
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Vc	Vena cephalica

Abbildung 20b: Korrespondierendes MR-Bild Nr.9 (T1-gewichtet)



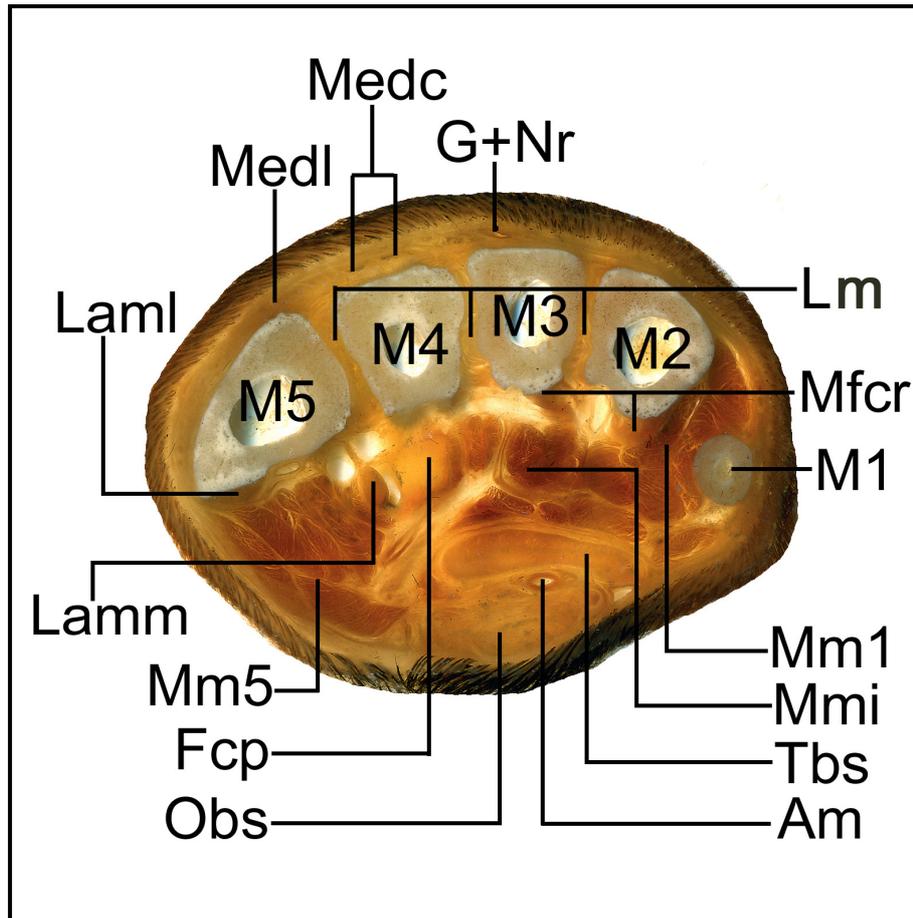
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Lm	Ligamenta metacarpea
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfer	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tbs1	tiefe Beugesehne, Seitenast für die erste Zehe
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 20c: Korrespondierendes CT-Bild Nr.9 (Weichteilfenster)



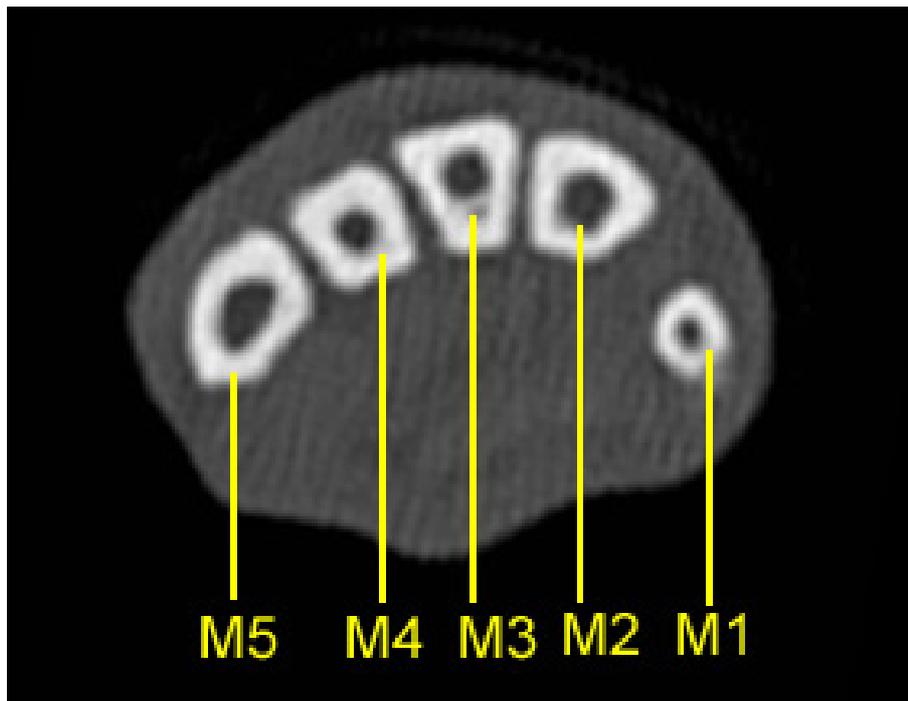
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 21a: Scheibenplastinat - Transversalschnitt Nr.10
Proximal durch den Schaft der Metakarpalknochen



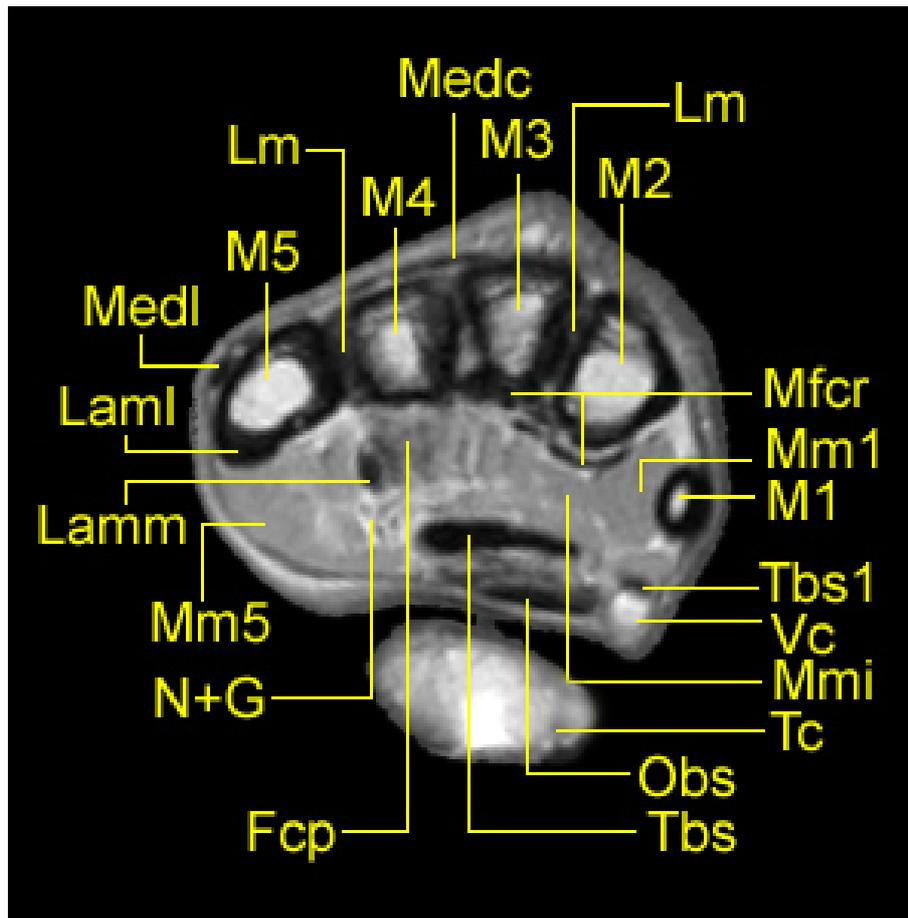
Am	Arteria mediana
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
G	(Blut-)Gefäße
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lm	Ligamenta metacarpea
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
Nr	Nervus radialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 21b: Korrespondierendes CT-Bild Nr.10 (Knochenfenster)



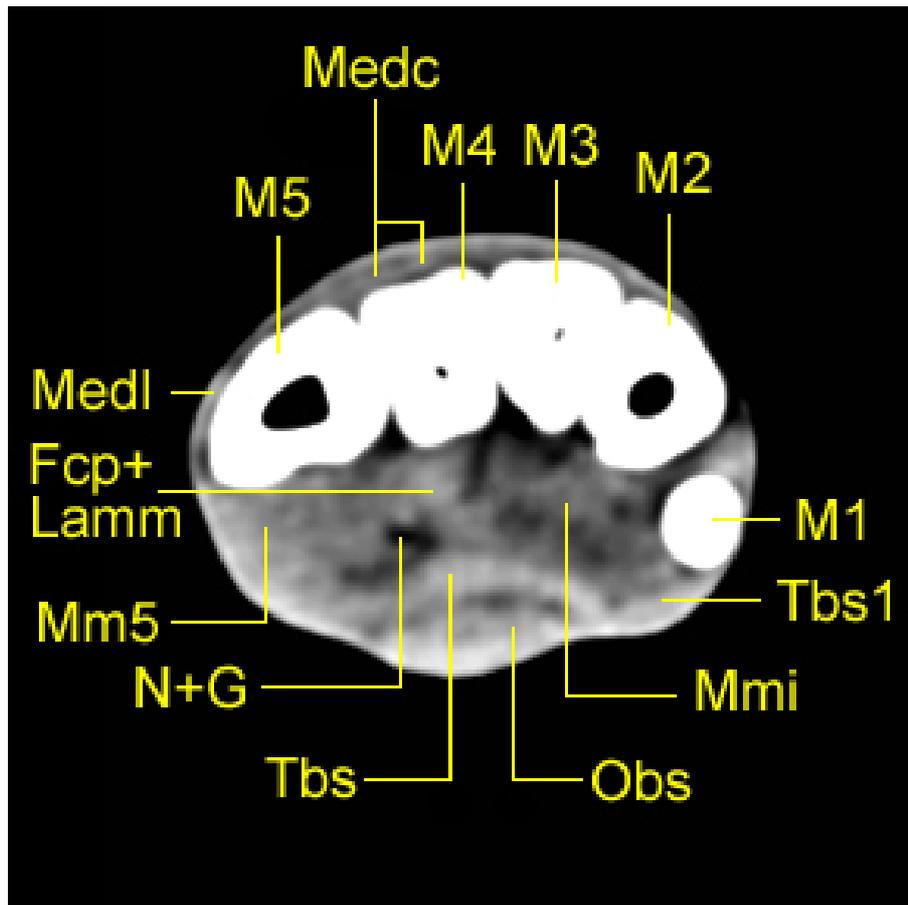
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum

Abbildung 21c: Korrespondierendes MR-Bild Nr.10 (T1-gewichtet)



Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lm	Ligamenta metacarpea
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tbs1	tiefe Beugesehne, Seitenast für die erste Zehe
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 21d: Korrespondierendes CT-Bild Nr.10 (Weichteilfenster)



Fcp	Fibrocartilago carpometa-carpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
N+G	Nerven und Gefäße
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tbs1	tiefe Beugesehne, Seitenast für die erste Zehe

3.7.4 Abbildungen - Sagittale Schnittbildanatomie

Abbildung 22a, b, c, d anatomisches Plastinat, MR-Bild, T1-gewichtet und CT-Bilder im Knochen- und Weichteilfenster, Sagittalschnitt Nr.1 von medial

Abbildung 22a: Scheibenplastinat

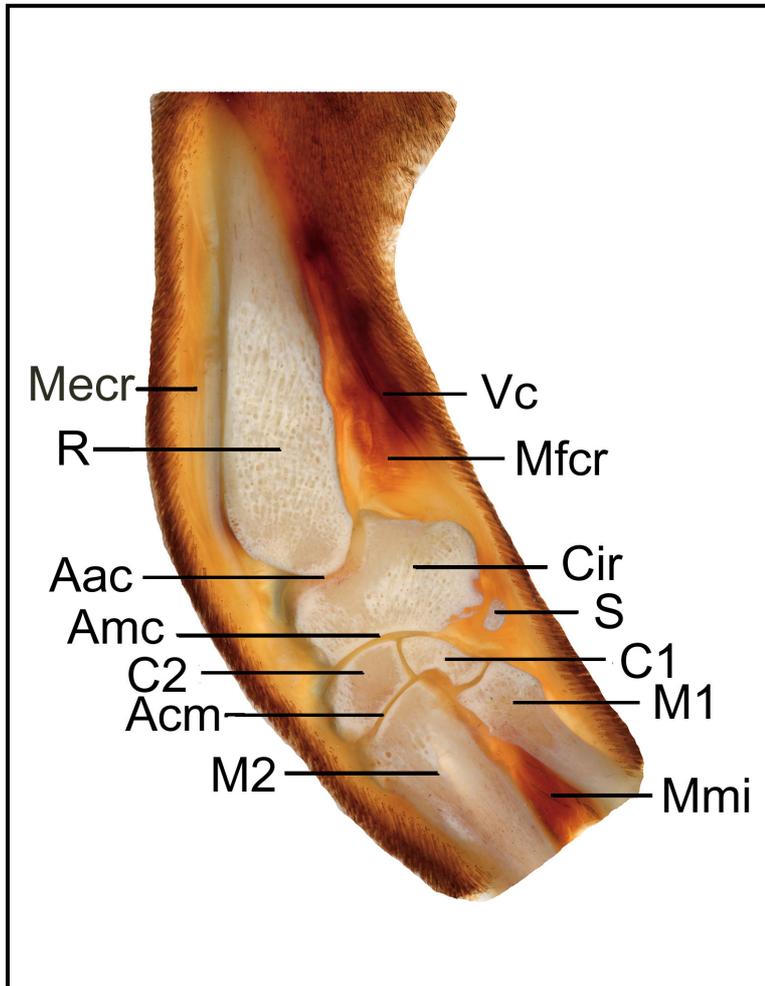
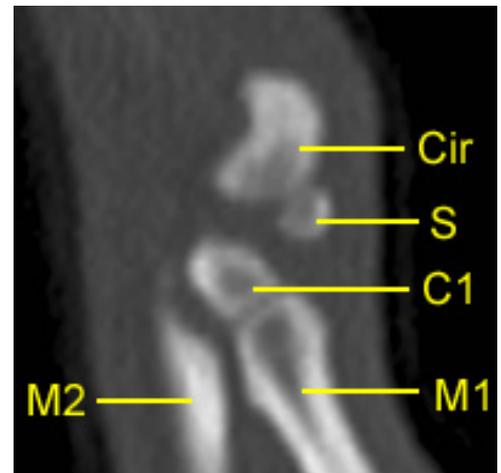


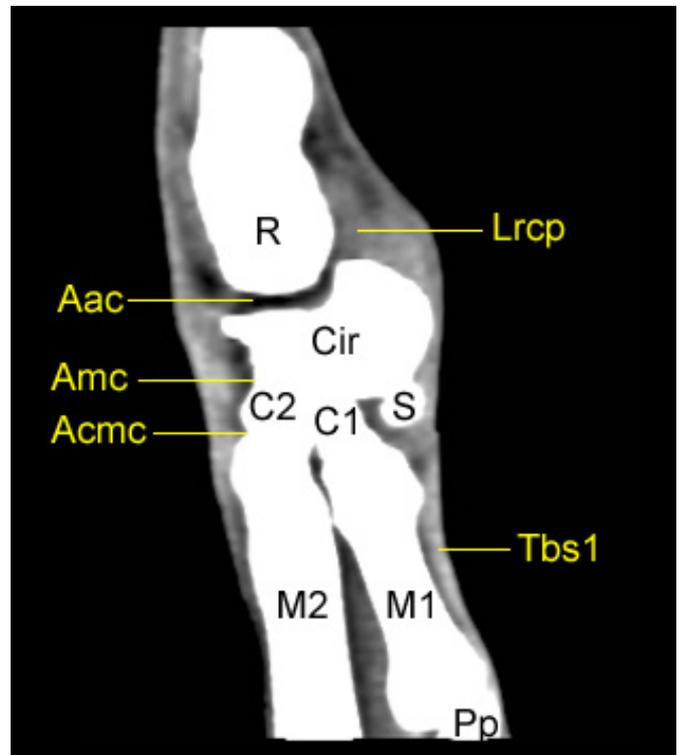
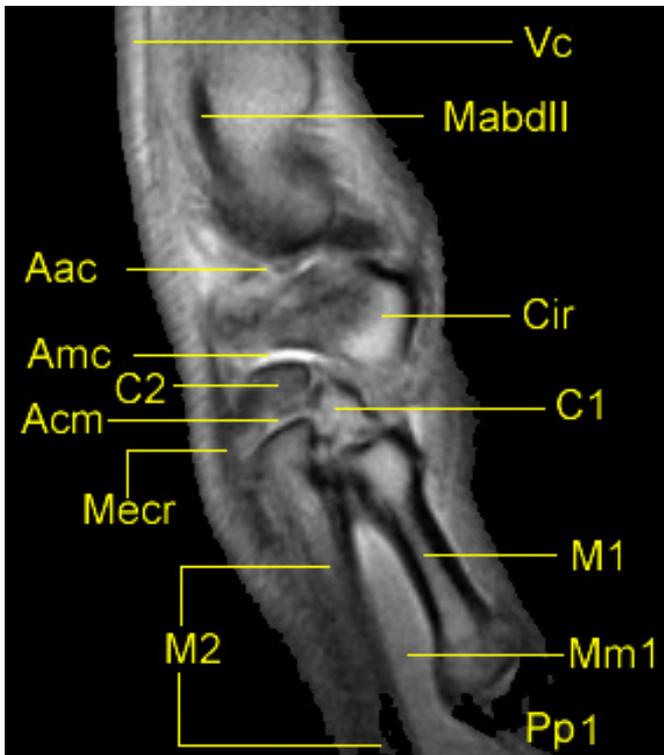
Abbildung 22b:
CT-Bild (Knochenfenster)



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
Cir	Os carpi intermedioradiale
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mmi	Musculi interossei
R	Radius
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Vc	Vena cephalica

Abbildung 22c (links) und Abbildung 22d (rechts):

MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.1 von medial



Aac	Articulatio antebrachioacarpea
Acm(c)	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Pp(1)	Phalanx proximalis der ersten Zehe
R	Radius
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Vc	Vena cephalica

Abbildung 23a und 23b: Sagittalschnitt Nr.2 von medial

Abb. 23a: Scheibenplastinat

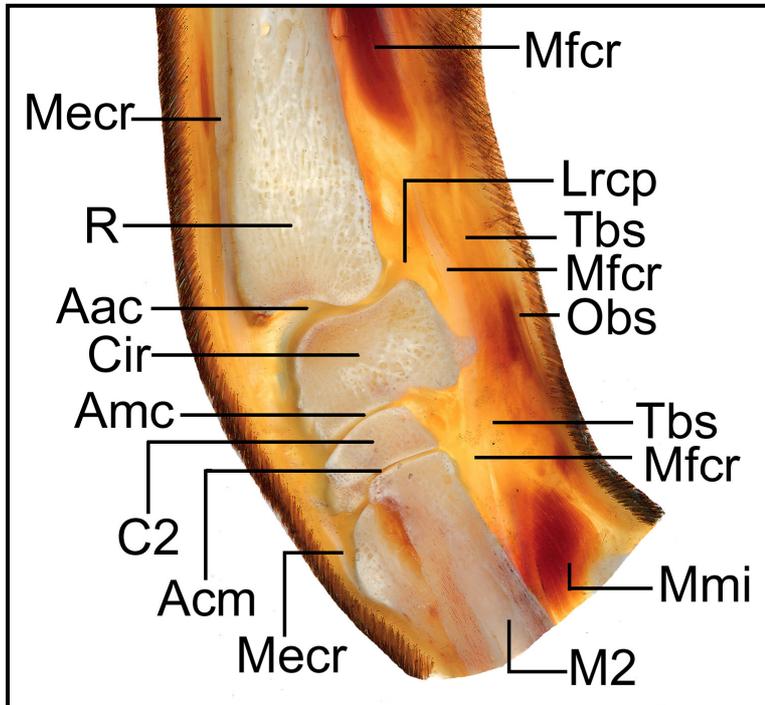
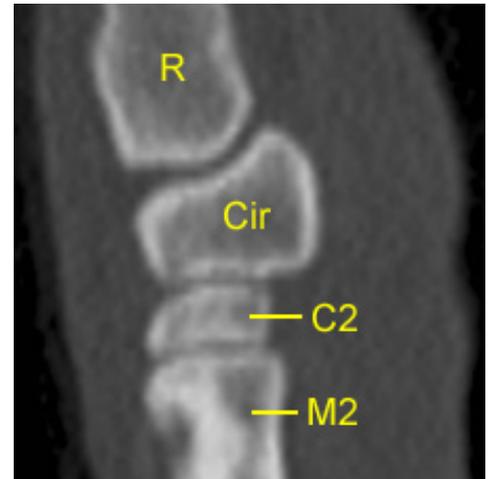


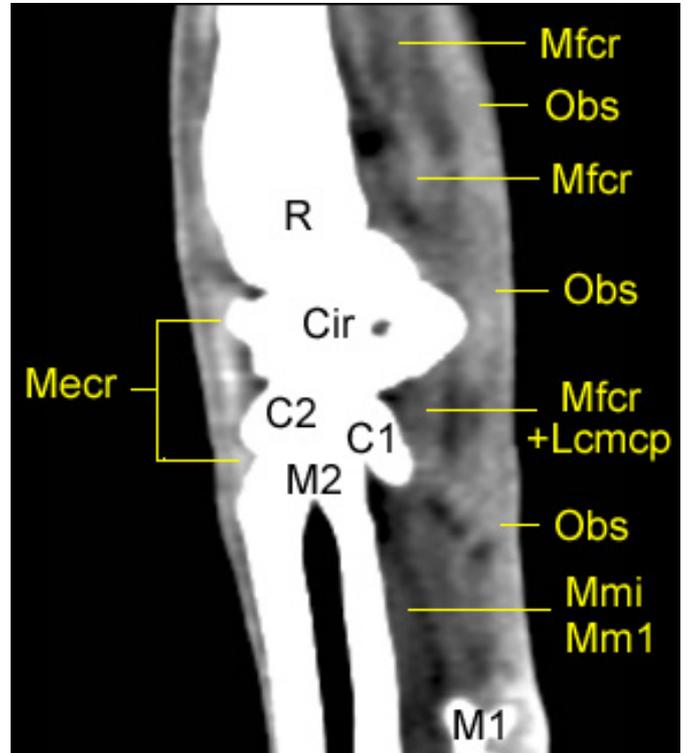
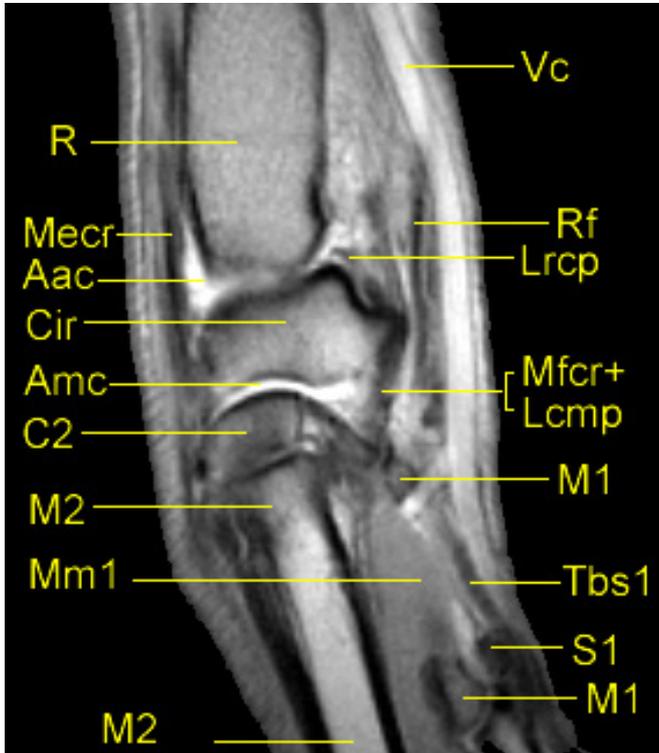
Abb. 23b:
CT-Bild
(Knochenfenster)



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C2	Os carpale secundum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M2	Os metacarpale secundum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 23c (links) und Abbildung 23d (rechts):

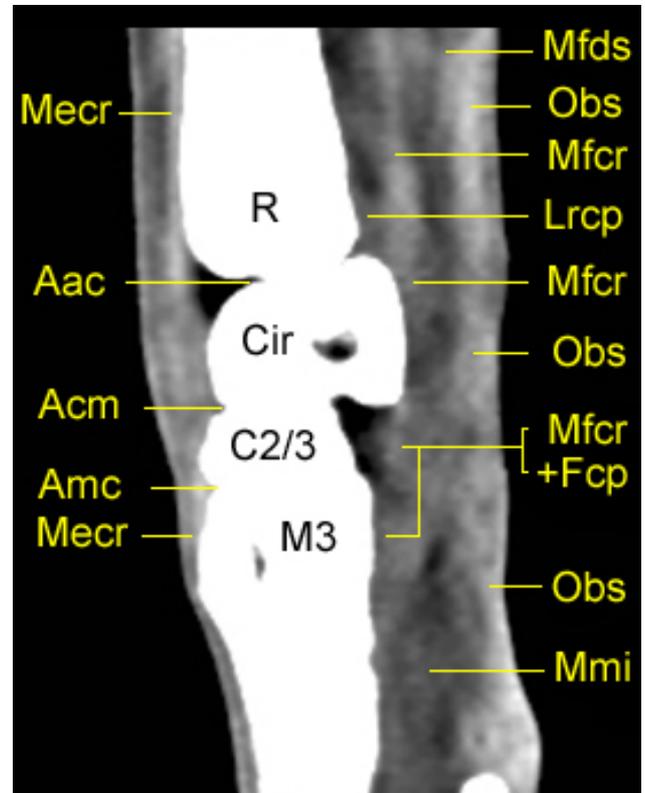
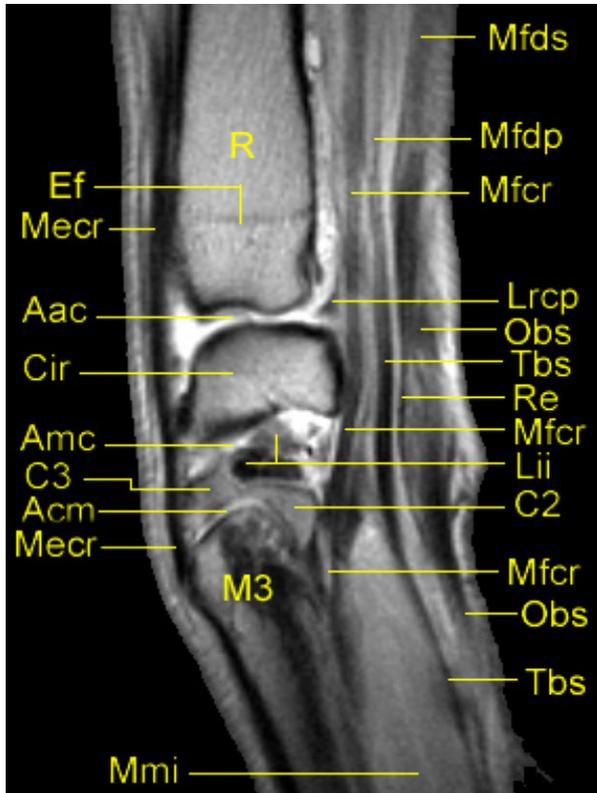
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.2 von medial



Aac	Articulatio antebrachioacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Rf	Retinaculum flexorum
S1	Sesambein der ersten Zehe
Tbs1	tiefe Beugesehne, Seitenast für die erste Zehe
Vc	Vena cephalica

Abbildung 24a (links) und Abbildung 24b (rechts):

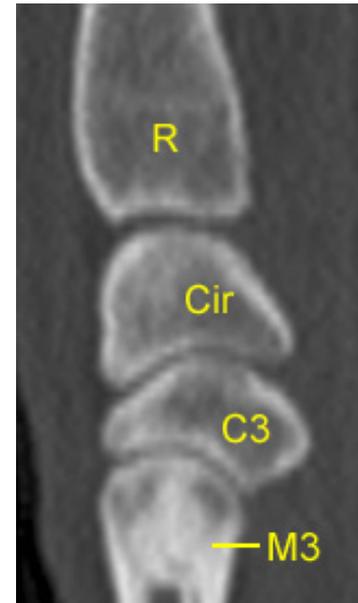
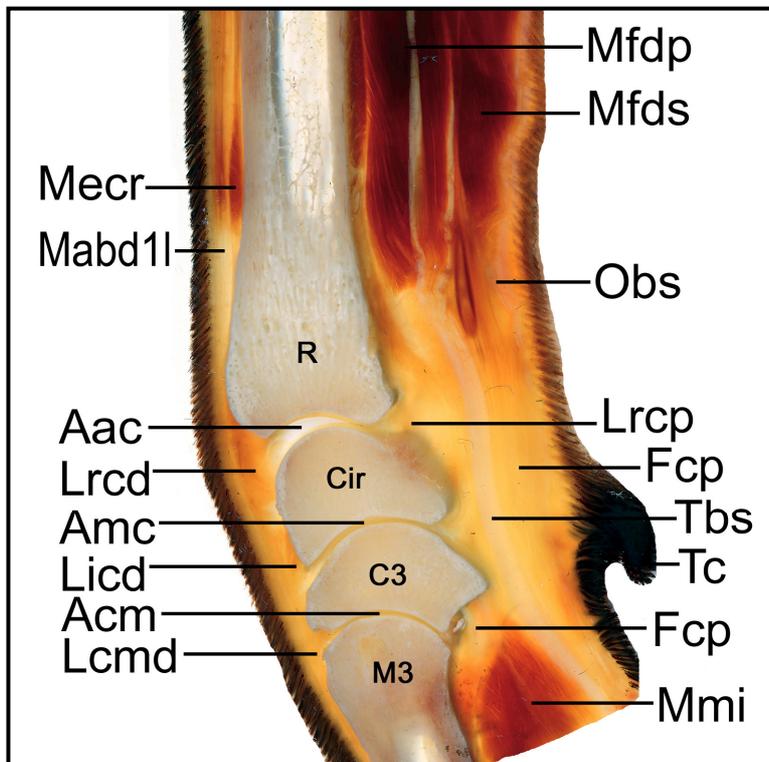
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.3 von medial



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Ef	Epiphysenfugennarbe
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M3	Os metacarpale tertium
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Re	Retinaculum extensorum
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 25a (links) und Abbildung 25b (rechts):

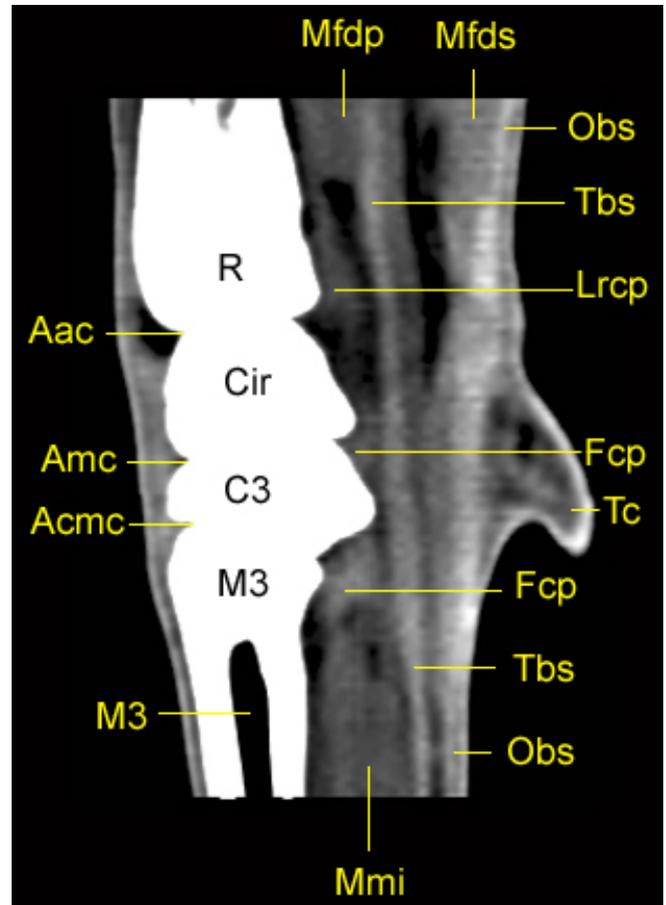
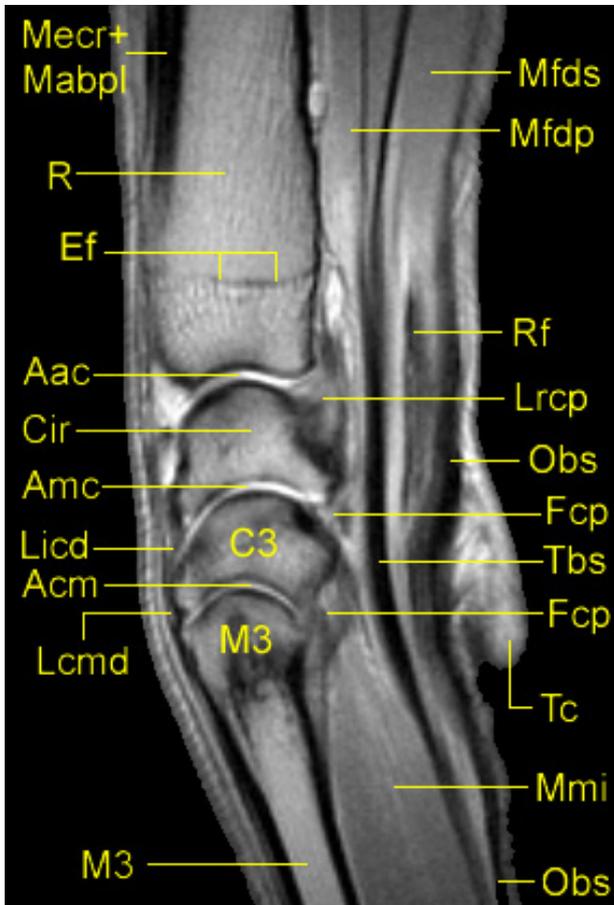
anatomisches Scheibenplastinat links und CT-Bild (Knochenfenster) rechts, Sagittalschnitt Nr.4 von medial



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C3	Os carpale tertium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M3	Os metacarpale tertium
Mabdl1	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 25c (links) und Abbildung 25d (rechts):

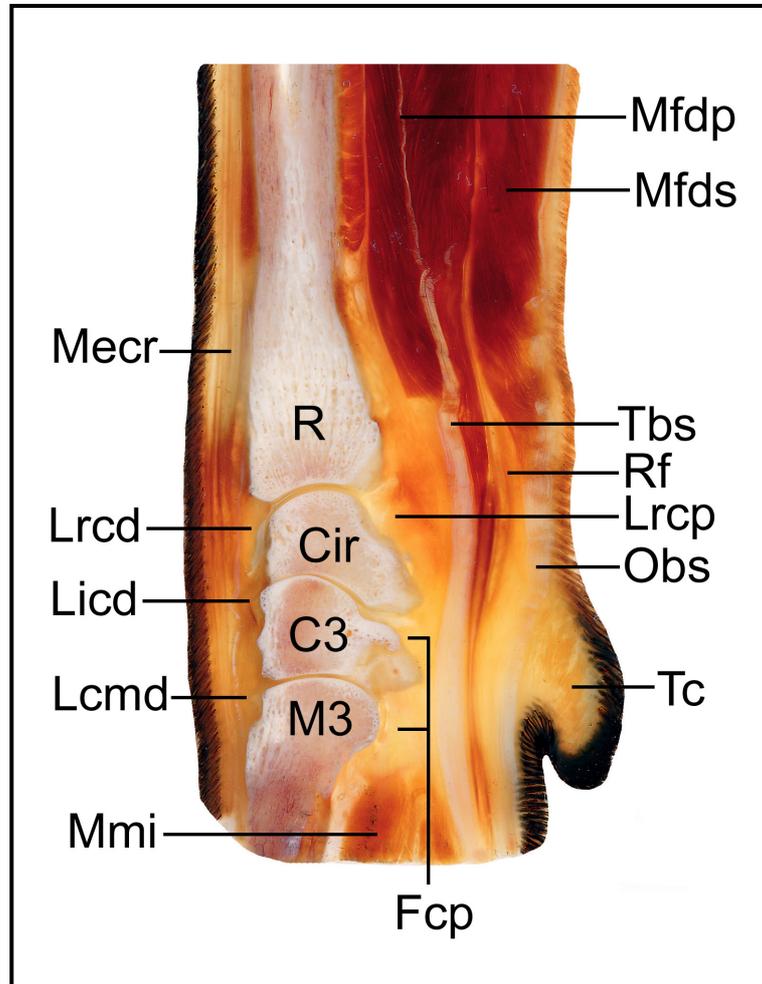
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.4 von medial



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm(c)	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
Cir	Os carpi intermedioradiale
Ef	Epiphysenfugennarbe
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M3	Os metacarpale tertium
Mabpl	Musculus abductor pollicis longus = M. abductor digiti I longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 26a:

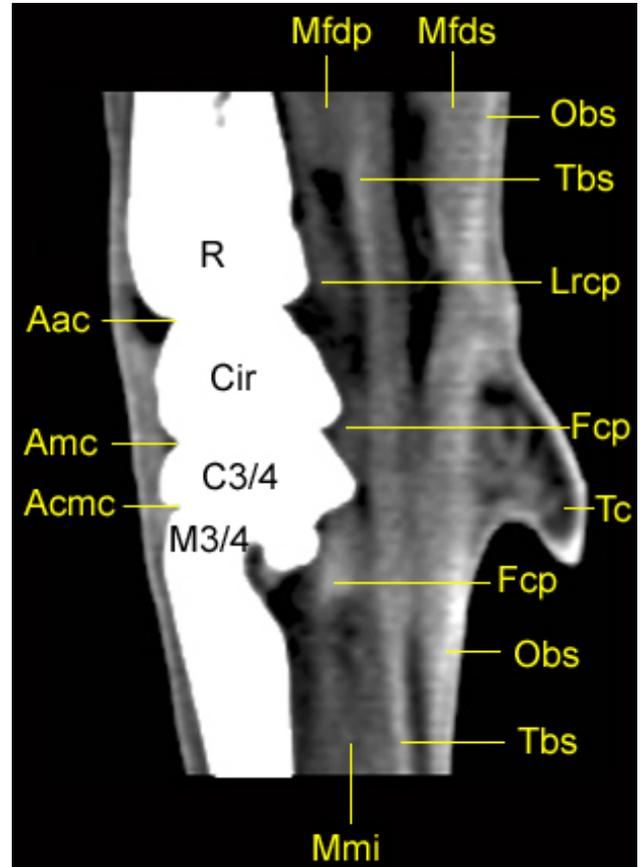
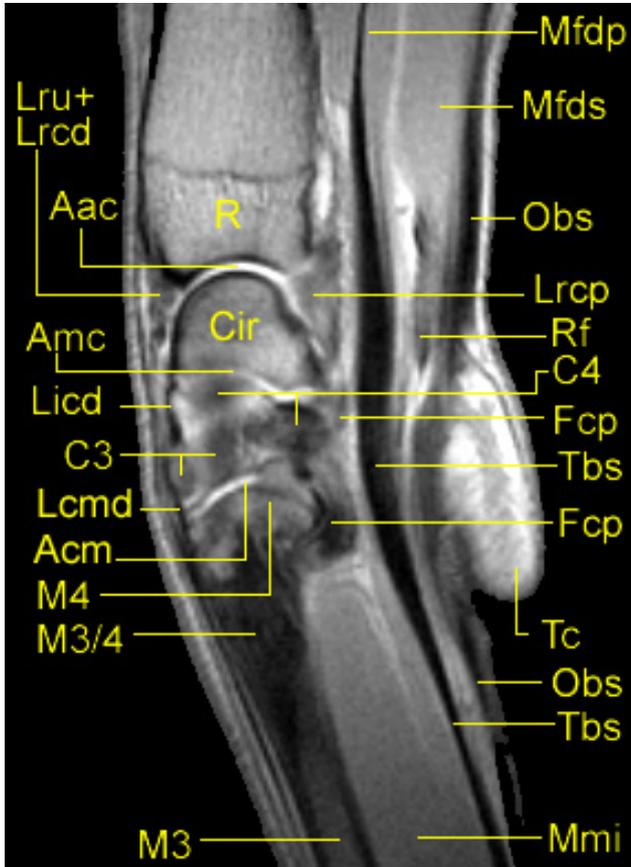
Anatomisches Scheibenplastinat,
Sagittalschnitt Nr.5 von medial



C3	Os carpale tertium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M3	Os metacarpale tertium
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefte Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 26b (links) und Abbildung 26c (rechts):

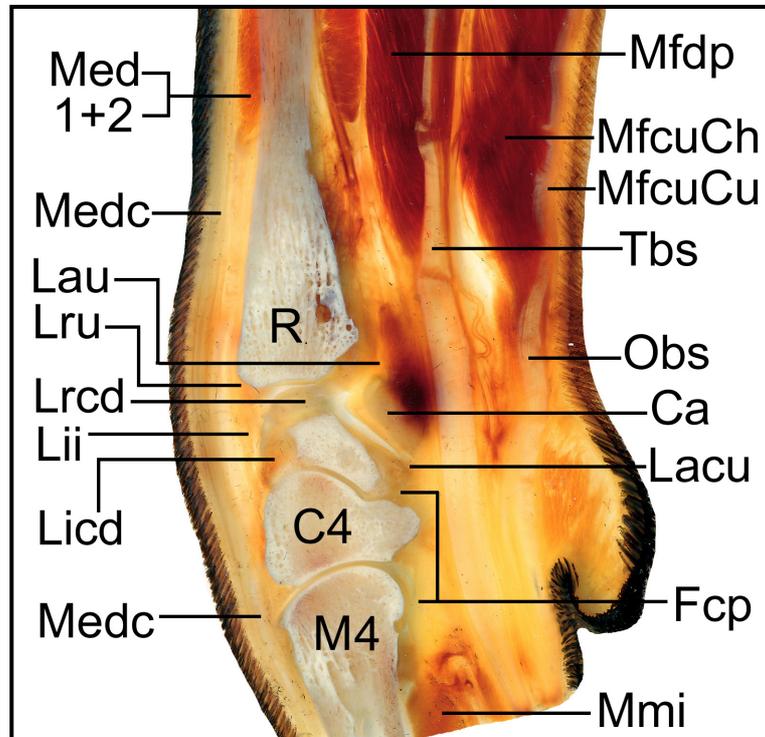
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.5 von medial



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm(c)	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lru	Ligamentum radioulnare distale
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 27a:

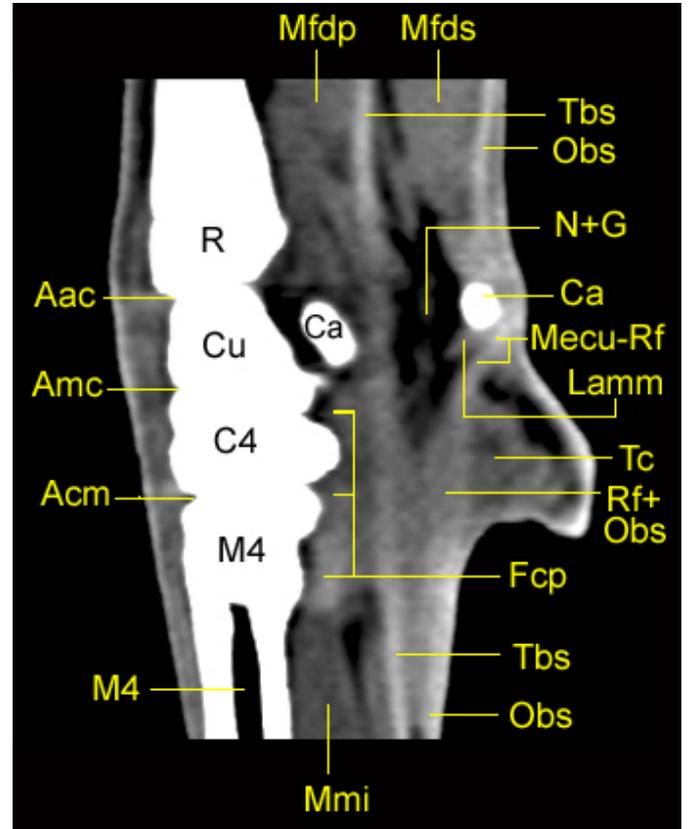
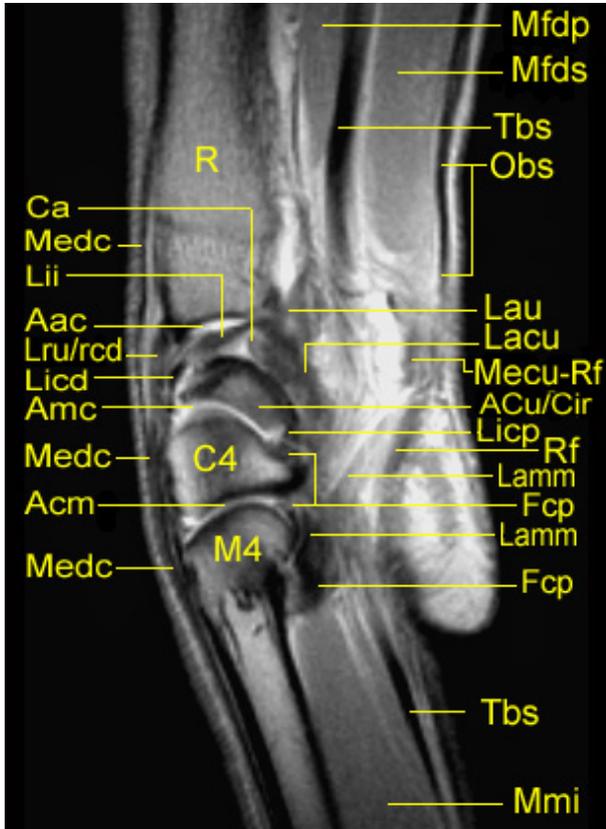
anatomisches Scheibenplastinat,
Sagittalschnitt Nr.6 von medial



C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lru	Ligamentum radioulnare distale
M4	Os metacarpale quartum
Med 1+2	Musculus extensor digiti I und digiti II
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
R	Radius
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 27b (links) und Abbildung 27c (rechts):

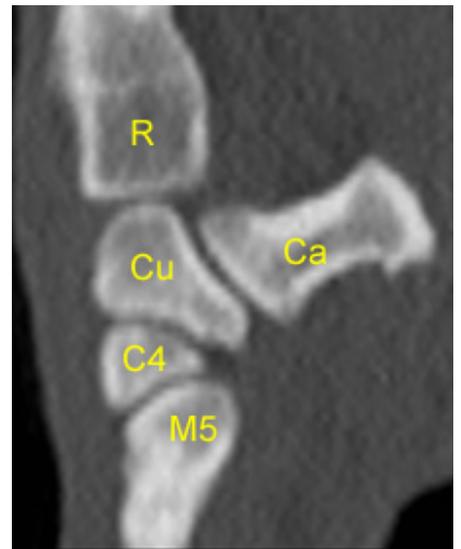
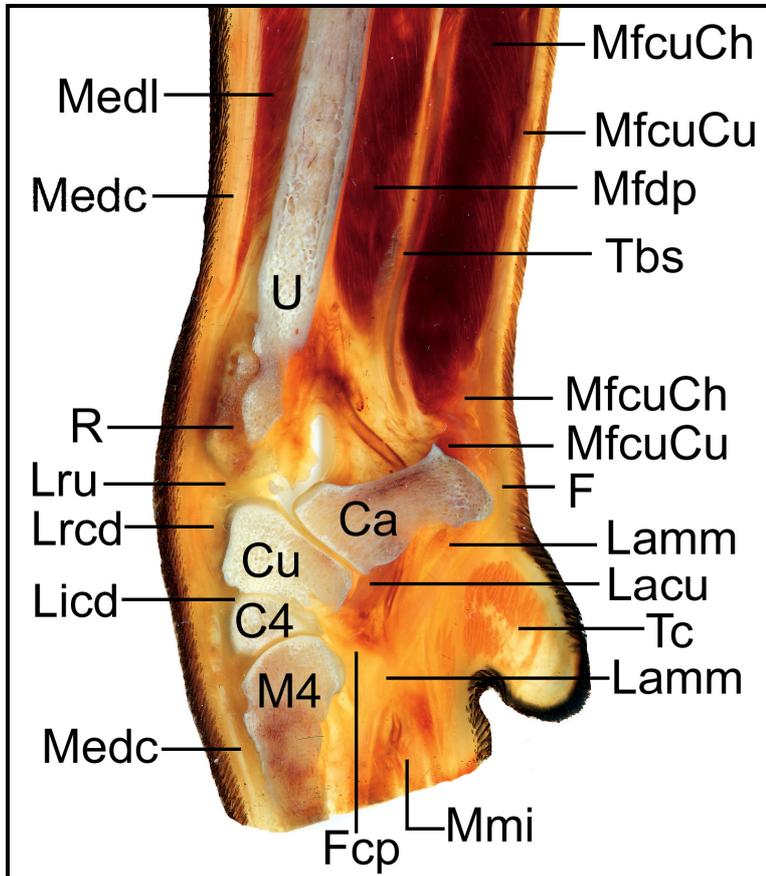
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.6 von medial



ACu/Cir	Artikulation zwischen Os carpi ulnare und Os carpi intermedioradiale
Amc	Articulatio mediocarpea
C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Licp	Ligamentum intercarpeum palmare
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
M4	Os metacarpale quartum
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mmi	Musculi interossei
N+G	Nerven und Gefäße
R	Radius
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 28a (links) und Abbildung 28b (rechts):

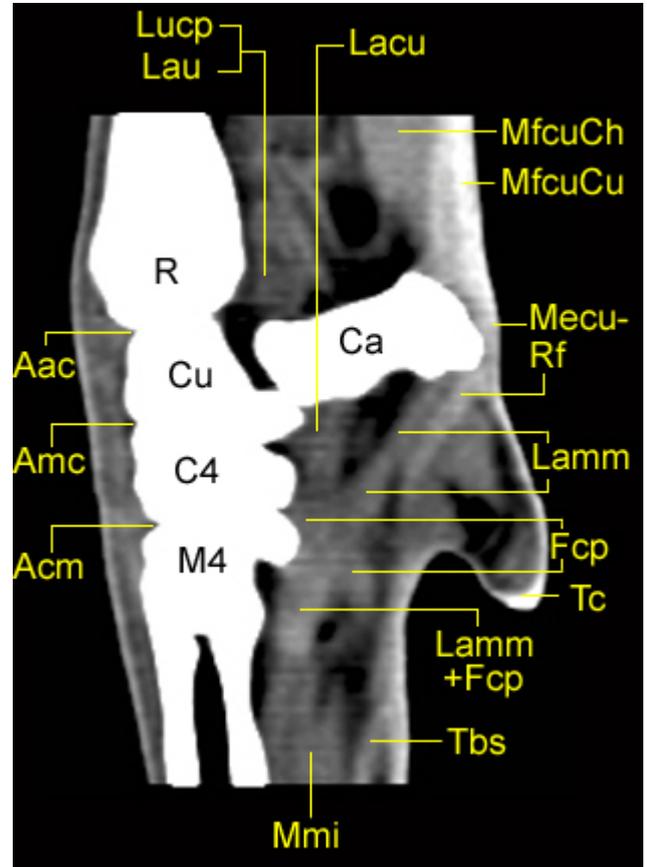
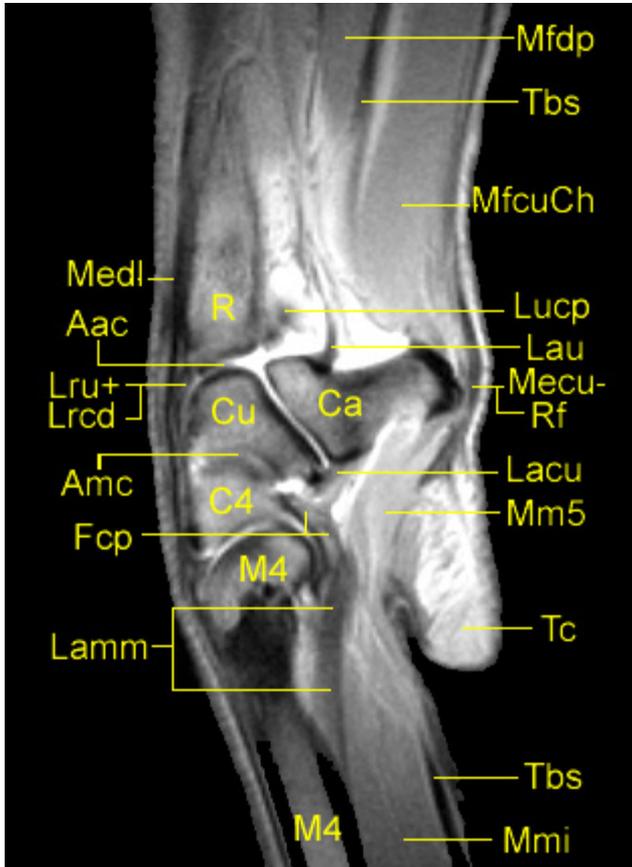
Anatomisches Scheibenplastinat links und CT-Bild (Knochenfenster),
Sagittalschnitt Nr.7 von medial



C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcd	Ligamentum radiocarpum dorsale
Lru	Ligamentum radioulnare distale
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
R	Radius
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
U	Ulna

Abbildung 28c und Abbildung 28d:

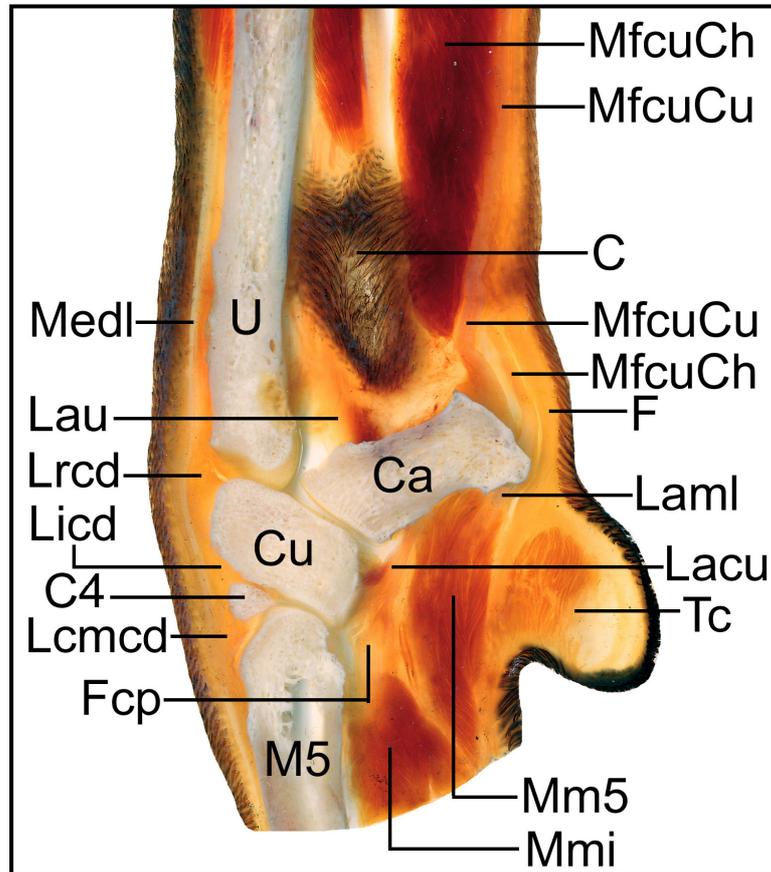
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts, Sagittalschnitt Nr.7 von medial



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C4	Os carpale quartum
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lru	Ligamentum radioulnare distale
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
M4	Os metacarpale quartum
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
R	Radius
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 29a:

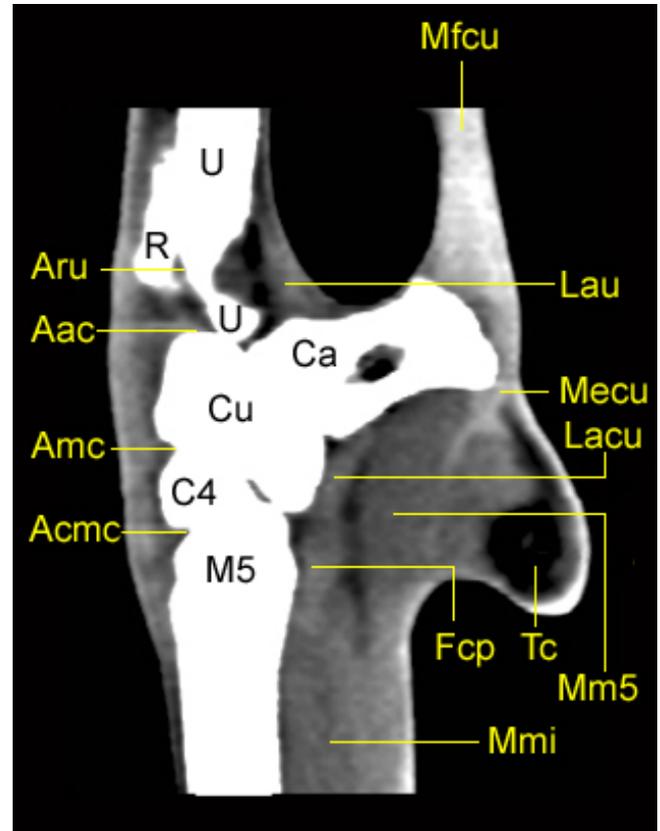
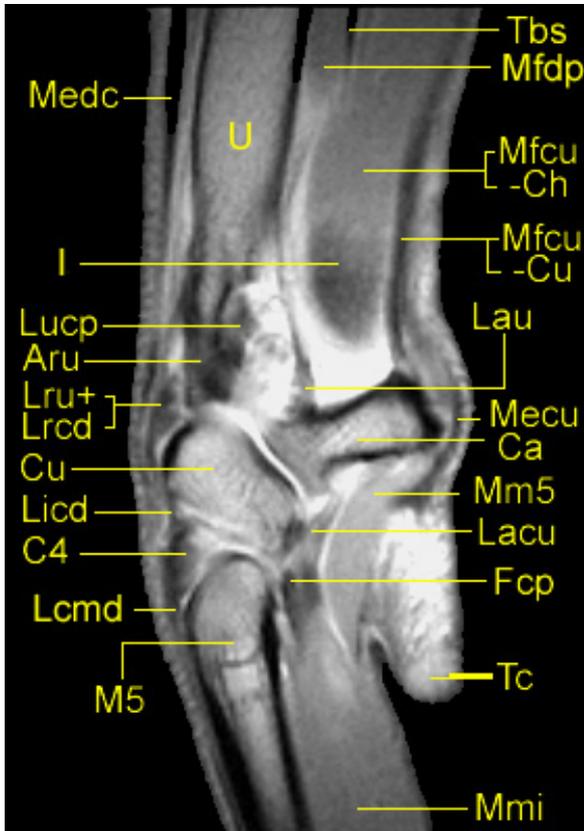
Anatomisches Scheibenplastinat,
Sagittalschnitt Nr.8 von medial



C	Cutis, Haut, Integument
C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cu	Os carpi ulnare
F	Faszienv Verstärkung
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
M5	Os metacarpale quintum
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
U	Ulna

Abbildung 29b (links) und Abbildung 29c (rechts):

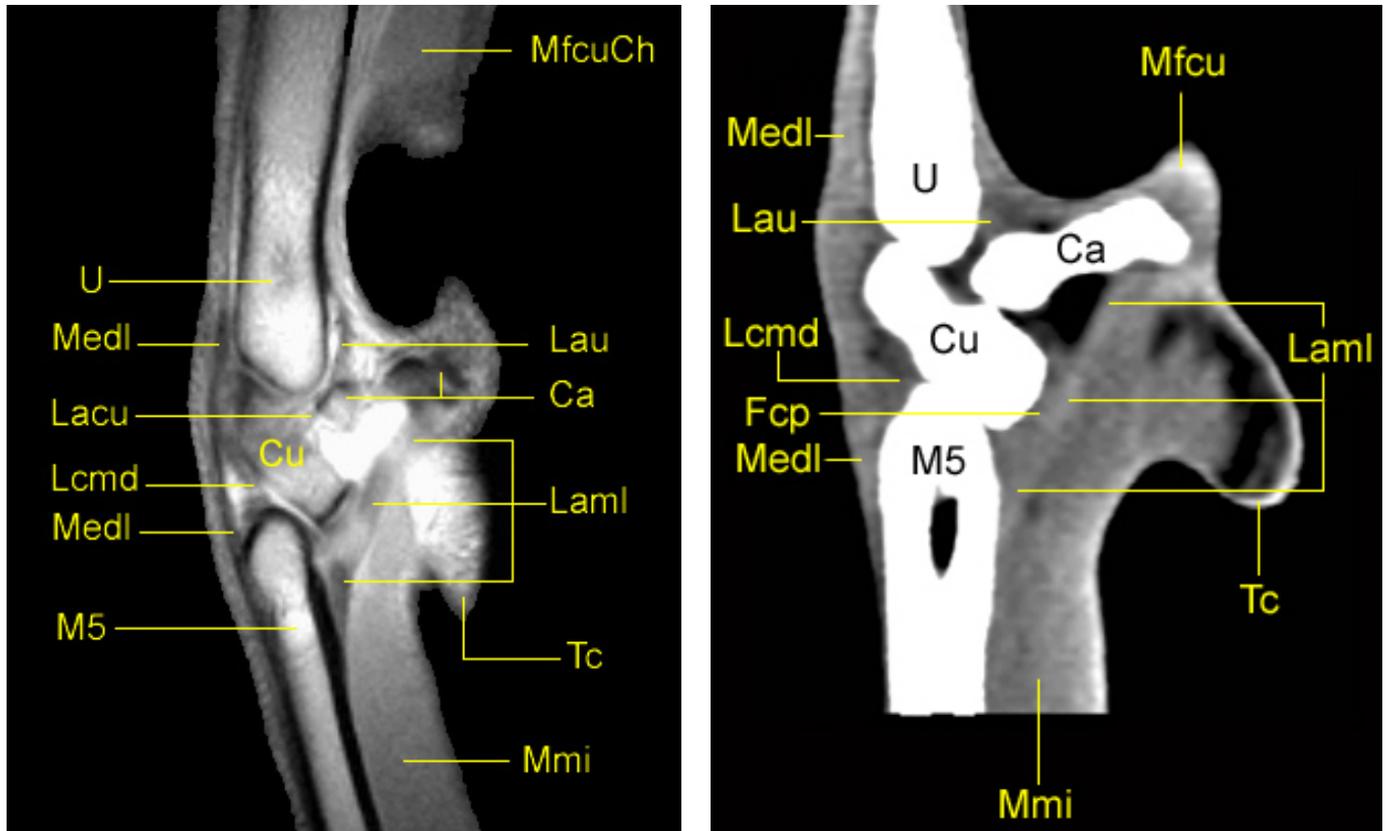
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Sagittalschnitt Nr.8 von medial



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acmc	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
Aru	Articulatio radioulnaris distalis
C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
I	Integument
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lru	Ligamentum radioulnare distale
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
M5	Os metacarpale quintum
Mecu	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

Abbildung 30a (links) und Abbildung 30b (rechts):

MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts, lateraler Sagittalschnitt, Nr.9 von medial

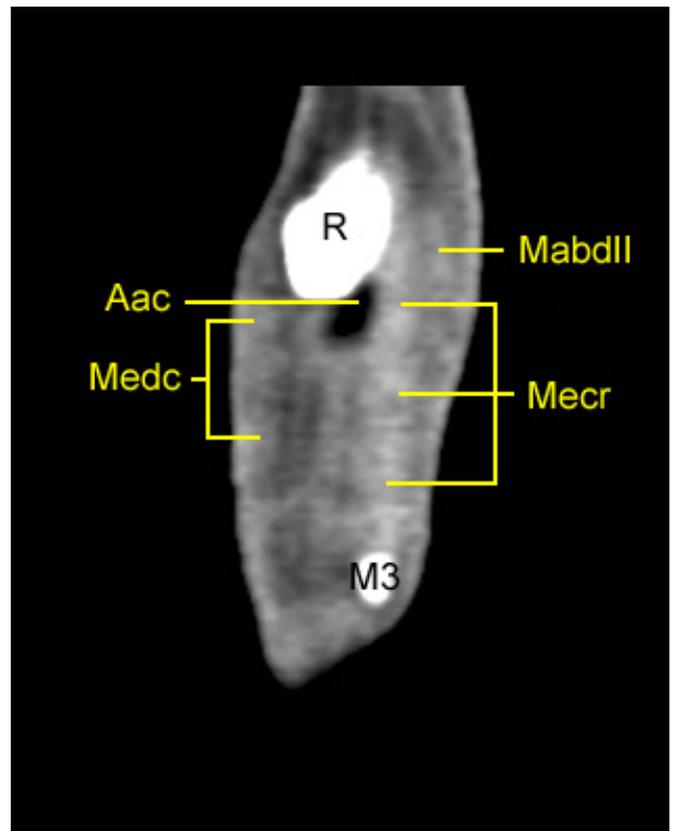
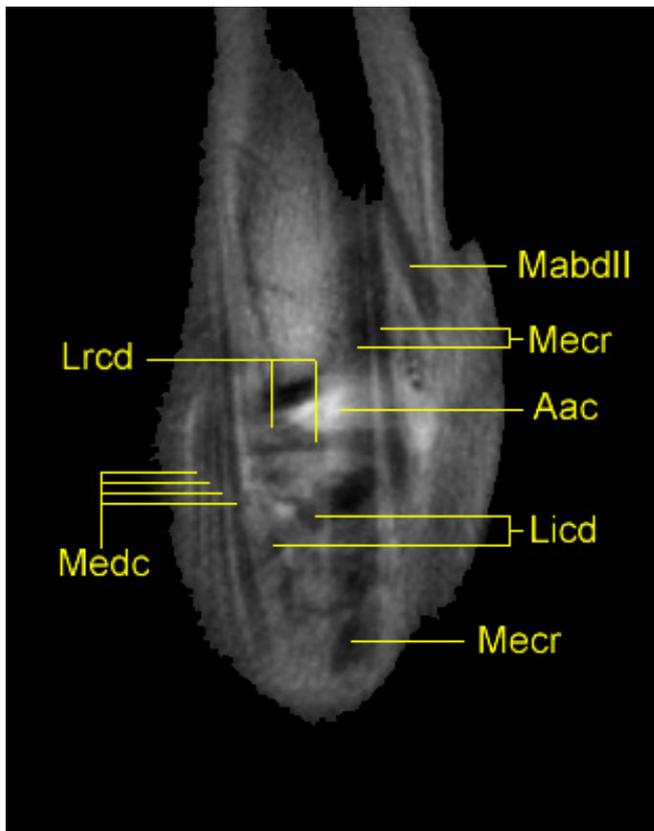


Ca	Os carpi accessorium
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lau	Ligamentum accessorioulnare
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
M5	Os metacarpale quintum
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
Mmi	Musculi interossei
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
U	Ulna

3.7.5 Abbildungen - Dorsale Schnittbildanatomie

Abbildung 31a (links) und Abbildung 31b (rechts):

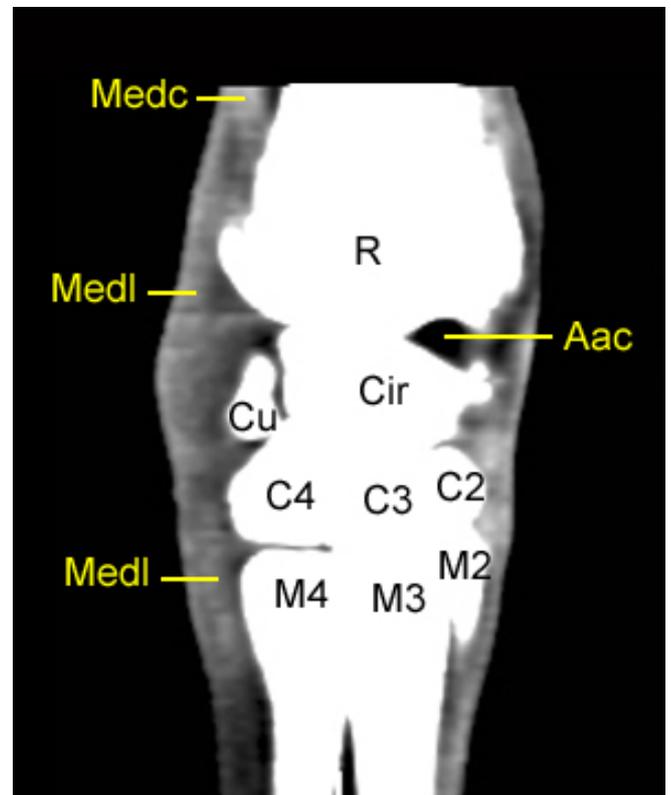
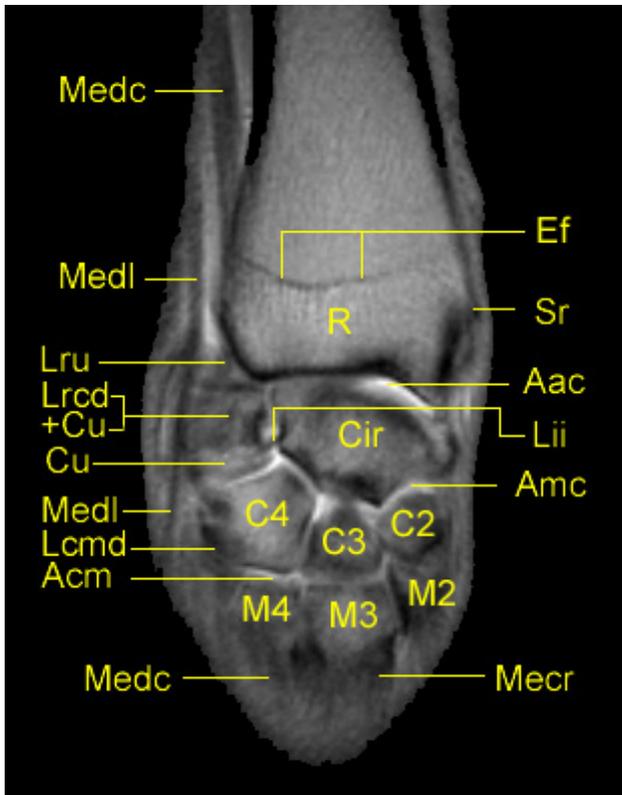
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts, Dorsalschnitt Nr.1, sehr weit kranial bzw. dorsal durch die Strecksehnen



Aac	Articulatio antebrachioCARPEA
Licd	Ligamentum intercarpeum dorsale
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
M3	Os metacarpale tertium
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
R	Radius

Abbildung 32a (links) und Abbildung 32b (rechts):

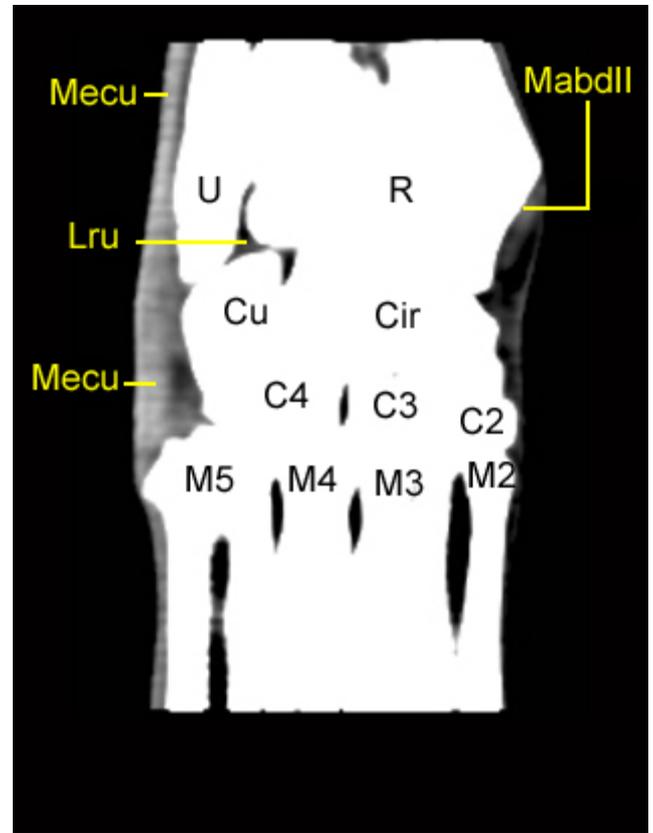
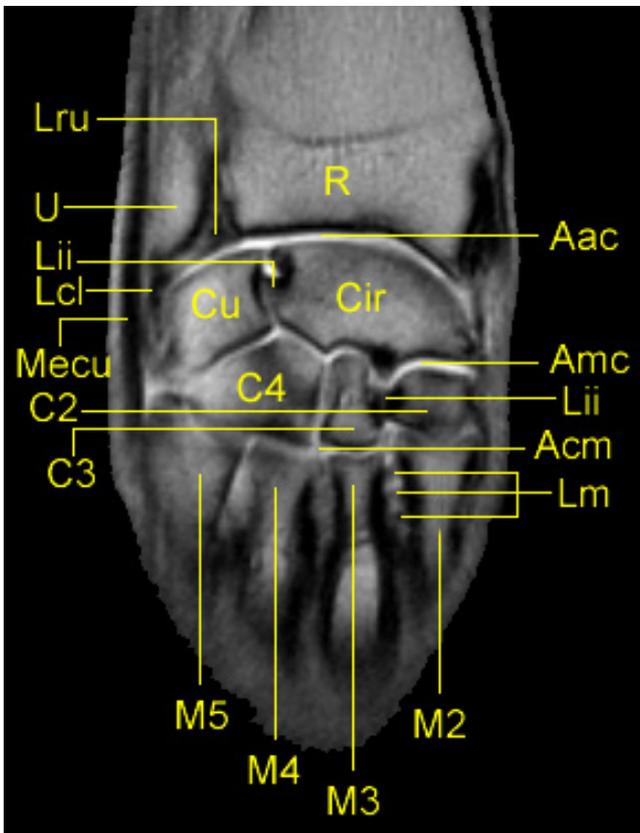
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts, Dorsalschnitt Nr.2 von kranial, kranial durch den gestreckten Karpus



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Ef	Epiphysenfugennarbe
Lcmd	Ligamentum carpometacarpeum dorsale
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Lrcd	Ligamentum radiocarpeum dorsale
Lru	Ligamentum radioulnare distale
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
Mecr	Musculus extensor carpi radialis
Medc	Musculus extensor digitorum (digitalis) communis
Medl	Musculus extensor digitorum (digitalis) lateralis
R	Radius
Sr	Styloid des Radius, Processus styloideus radii

Abbildung 33a (links) und Abbildung 33b (rechts):

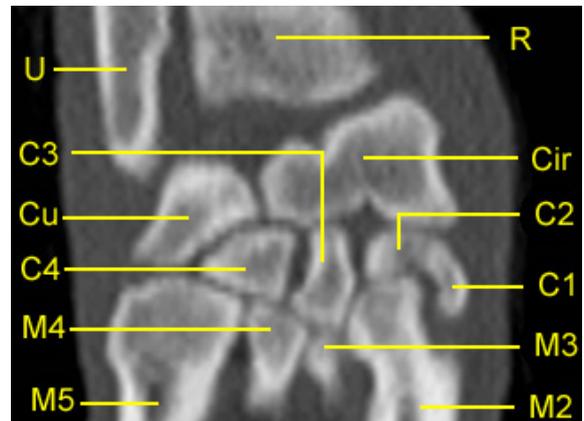
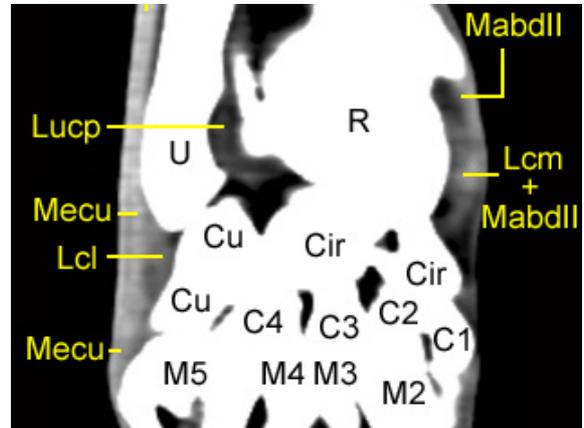
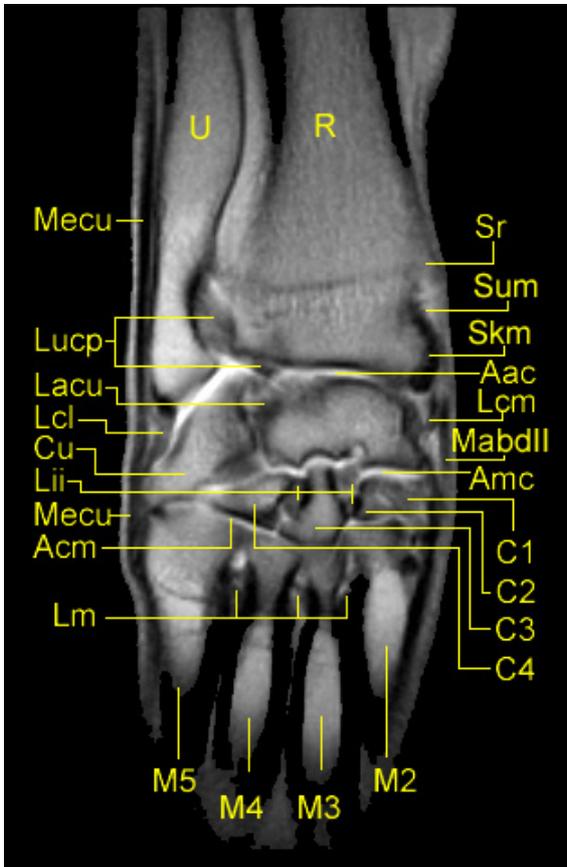
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.3 von kranial



Aac	Articulatio antebrachioacarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Lm	Ligamenta metacarpea
Lru	Ligamentum radioulnare distale
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
MabdlI	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
R	Radius
U	Ulna

Abbildung 34a (links), Abbildung 34b (rechts oben) und Abbildung 34c (rechts unten):

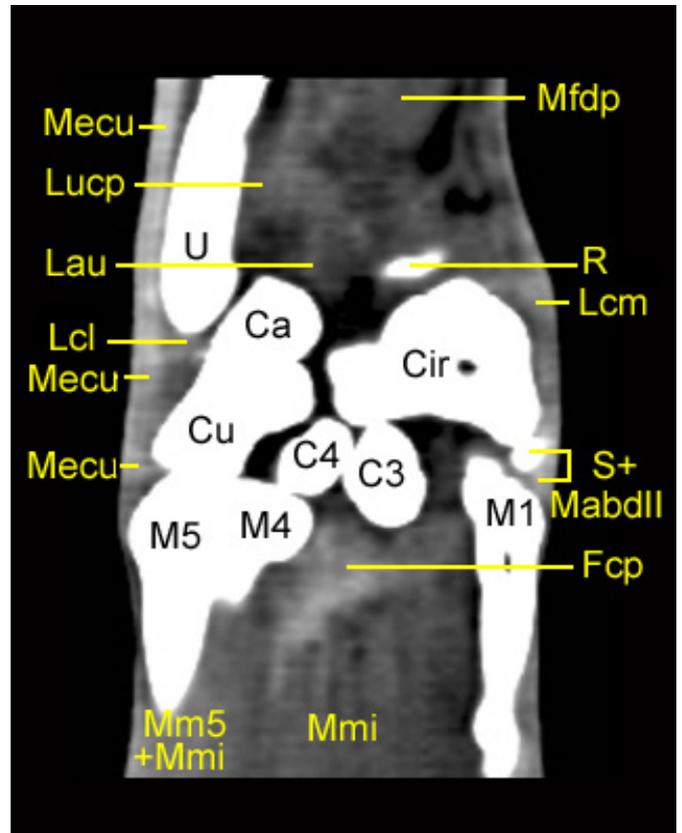
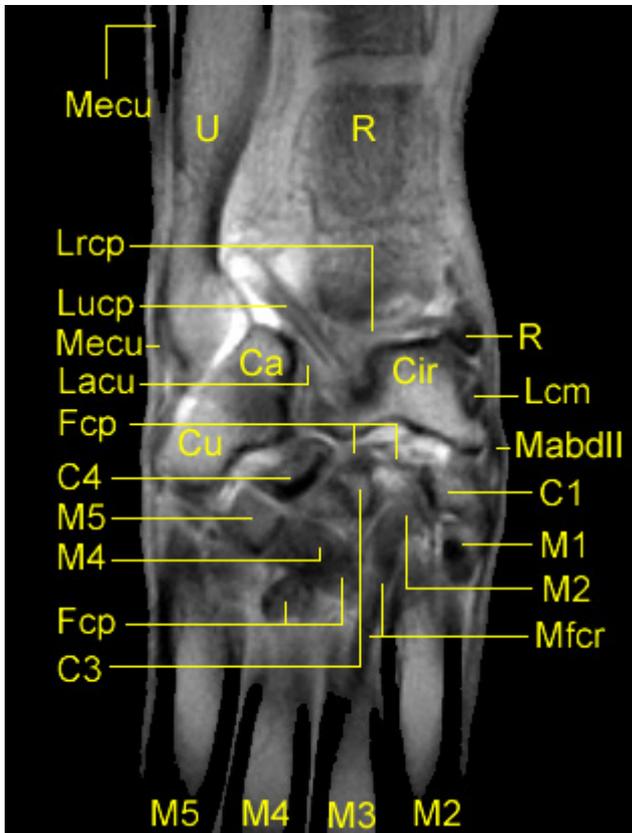
MR-Bild (T1-gewichtet) links, CT-Bild (Weichteilfenster) rechts oben und CT-Bild (Knochenfenster) rechts unten, Dorsalschnitt Nr.4 von kranial, zentral durch den gestreckten Karpus



Aac	Articulatio antebrachioarpea
Acm	Articulatio carpometacarpea
Amc	Articulatio mediocarpea
C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lii	Ligamentum intercarpeum interosseum
Lm	Ligamenta metacarpea
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
R	Radius
Skm	medialer knöcherner Sagitalkamm
Sr	Styloid des Radius, Processus styloideus radii
Sum	medialer Sulcus der Trochlea radii
U	Ulna

Abbildung 35a (links) und Abbildung 35b (rechts):

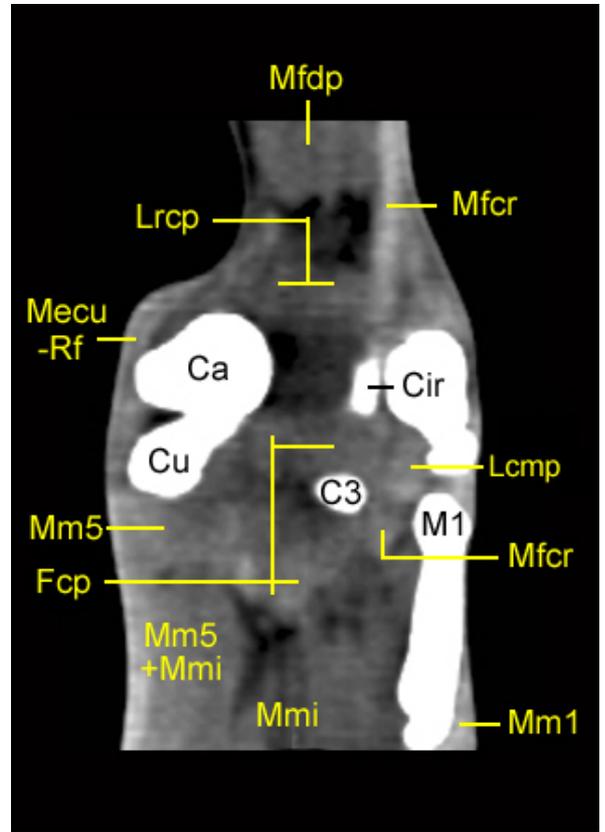
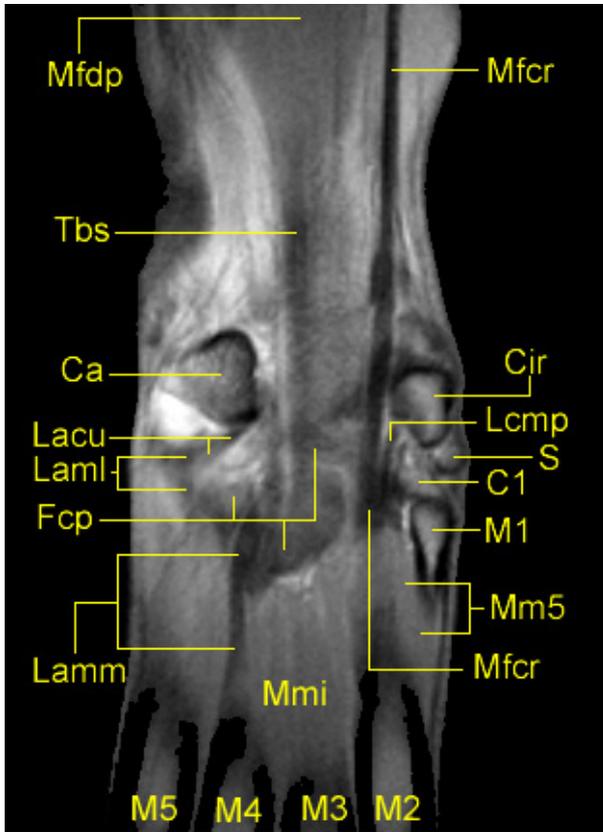
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.5 von kranial



C1	Os carpale primum
C2	Os carpale secundum
C3	Os carpale tertium
C4	Os carpale quartum
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Lcl	Ligamentum collaterale laterale
Lcm	Ligamentum collaterale mediale
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
Lucp	Ligamentum ulnocarpeum palmare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
MabdII	Musculus abductor digiti I longus = M. abductor pollicis longus
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mfdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
R	Radius
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
U	Ulna

Abbildung 36a (links) und Abbildung 36 b (rechts):

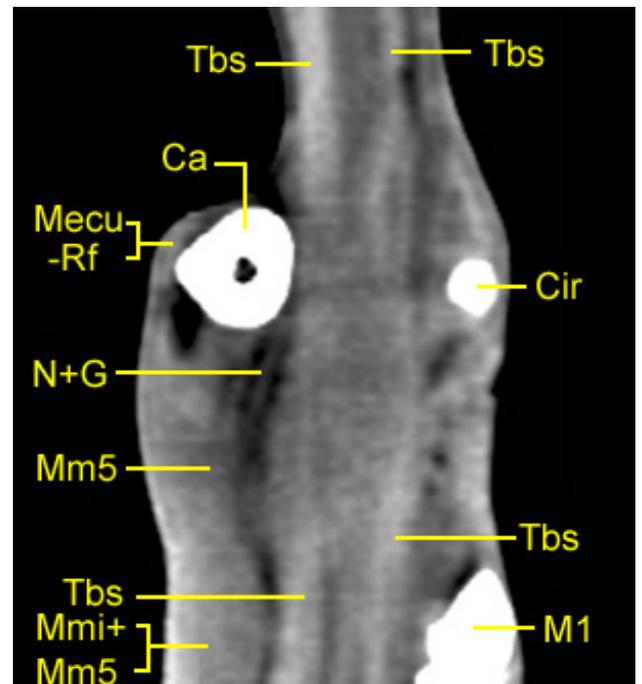
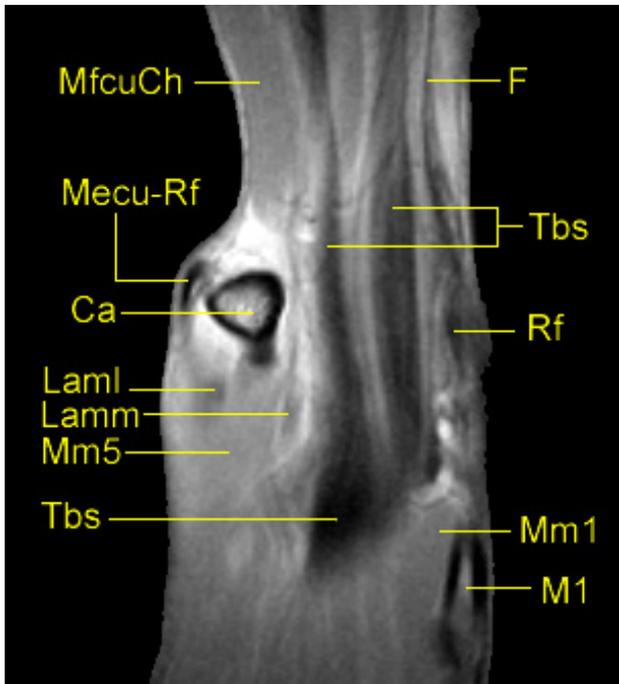
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.6 von kranial, palmar durch die Karpalknochen



C1	Os carpale primum
Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
Cu	Os carpi ulnare
Fcp	Fibrocartilago carpometacarpeum palmare (Lig. carpi palmare profundum)
Lacu	Ligamentum accessoriocarpoulnare
Laml	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
Lamm	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
Lcmp	Ligamentum carpometacarpeum palmare
Lrcp	Ligamentum radiocarpeum palmare
M1	Os metacarpale primum
M2	Os metacarpale secundum
M3	Os metacarpale tertium
M4	Os metacarpale quartum
M5	Os metacarpale quintum
Mdp	Musculus flexor digitorum (digitalis) profundus
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Mfcr	Musculus flexor carpi radialis
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
S	Sesambein in der Endsehne des M. abductor digiti I longus
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 37a (links) und Abbildung 37b (rechts):

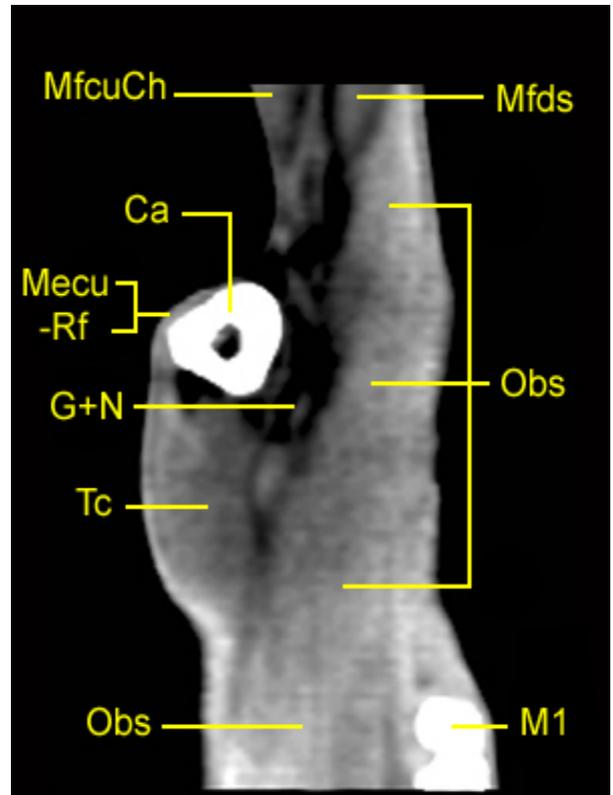
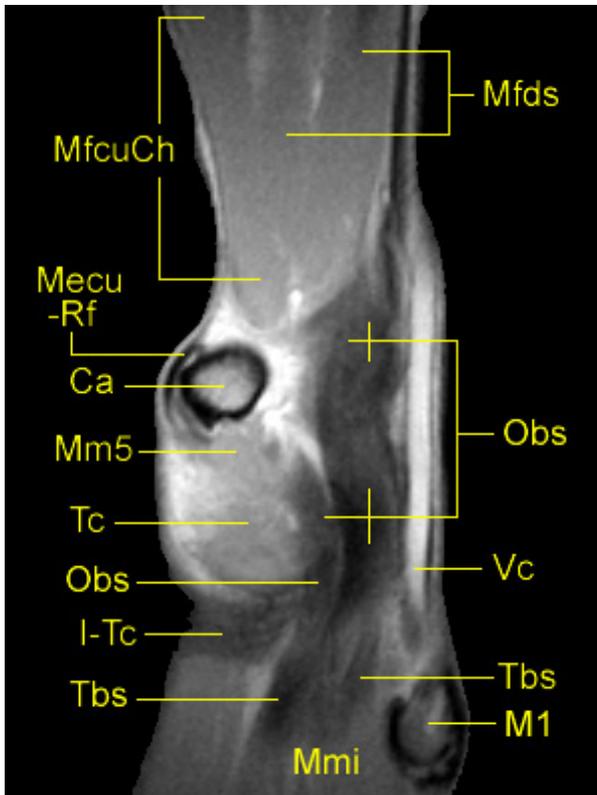
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.7 von kranial, palmar durch das Erbsenbein



Ca	Os carpi accessorium
Cir	Os carpi intermedioradiale
F	Faszienv Verstärkung
LamI	Ligamentum accessoriometacarpeum laterale (V)
LamM	Ligamentum accessoriometacarpeum mediale (IV)
M1	Os metacarpale primum
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
Mm1	Sondermuskeln der ersten Zehe
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
N+G	Nerven und Gefäße
Rf	Retinaculum flexorum
Tbs	tiefe Beugesehne

Abbildung 38a (links) und Abbildung 38b (rechts):

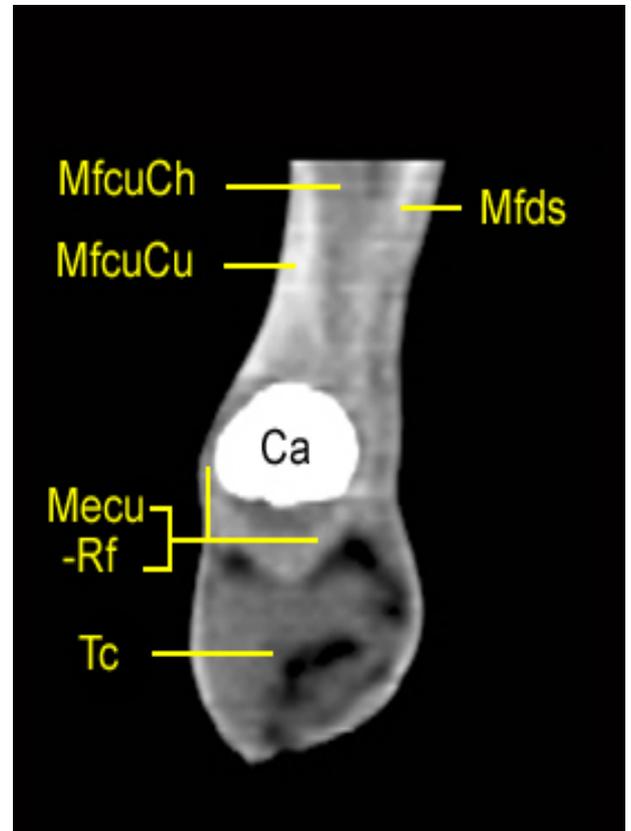
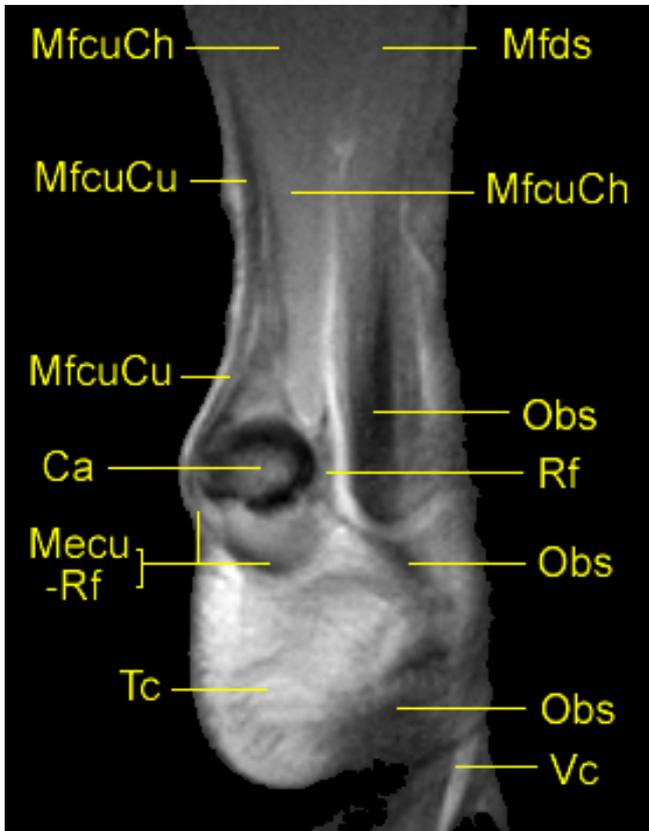
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.8 von kranial, palmar durch das Erbsenbein



Ca	Os carpi accessorium
G+N	Gefäße und Nerven
I-Tc	Integument des Karpalballens (Torus carpeus)
M1	Os metacarpale primum
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Mm5	Sondermuskeln der fünften Zehe
Mmi	Musculi interossei
Obs	oberflächliche Beugesehne
Tbs	tiefe Beugesehne
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 39a (links) und Abbildung 39b (rechts):

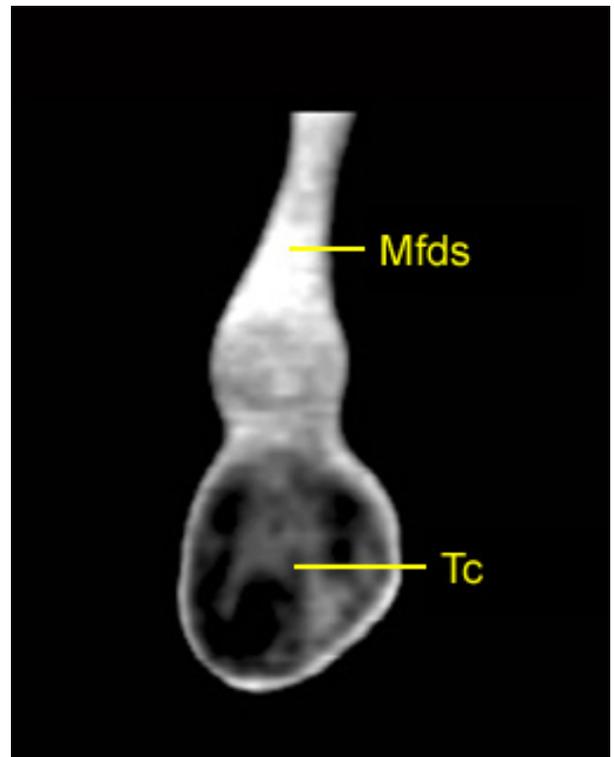
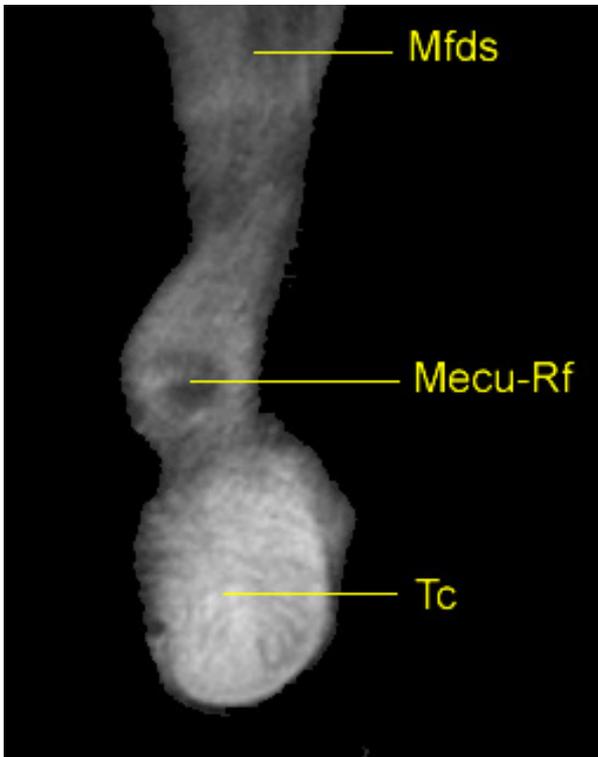
MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.9 von kranial, durch den palmaren Höcker des Erbsenbeins



Ca	Os carpi accessorium
Mecu	Musculus extensor carpi ulnaris
Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Mfcu	Musculus flexor carpi ulnaris
MfcuCh	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput humerale
MfcuCu	Musculus flexor carpi ulnaris, sein Caput ulnare
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Obs	oberflächliche Beugesehne
Rf	Retinaculum flexorum
Tc	Torus carpeus, Karpalballen
Vc	Vena cephalica

Abbildung 40a (links) und Abbildung 40b (rechts):

MR-Bild (T1-gewichtet) links und CT-Bild (Weichteilfenster) rechts,
Dorsalschnitt Nr.10 von kranial, palmar des Erbsenbeins durch den Karpalballen



Mecu-Rf	Abzweig des Musculus extensor carpi ulnaris an das Retinaculum flexorum
Mfds	Musculus flexor digitorum (digitalis) superficialis
Tc	Torus carpeus, Karpalballen

4 DISKUSSION

4.1 Möglichkeiten und Grenzen der Röntgen- und Schnittbilddiagnostik am Karpus

Die diagnostische Aufarbeitung einer Karpalgelenksverletzung beim Hund beginnt in der Regel mit einer speziellen orthopädischen Untersuchung. Schwellungen, Schmerzhaftigkeiten oder ein unphysiologischer Bewegungsumfang sind gängige Befunde, die eine Röntgenuntersuchung indizieren (KÖSTLIN et al., 1986; BRUNNBERG, 1999). Die Darstellung knöcherner Verletzungen steht dabei im Vordergrund. Die Komplexität des caninen Karpalgelenkes mit einer Vielzahl an überlagernden Strukturen macht die Interpretation seiner Röntgenaufnahmen schwierig. Unzureichende Ergebnisse der Standardprojektionen im dorso-palmaren und medio-lateralen Strahlengang erfordern zusätzliche Spezialaufnahmetechniken. Dabei existiert eine Vielfalt an Empfehlungen für Röntgenaufnahmen des Karpus in nahezu allen erdenklichen Winkeln. Das Anfertigen und die Interpretation dieser meist nicht alltäglichen und somit ungewohnten Bilder stellen hohe Anforderungen an das technische Personal und den Tierarzt. Alle diese Aufnahmen im Einzelfall anzufertigen ist sehr aufwendig und mit einer nicht zu unterschätzenden Strahlenbelastung für die anwesenden Personen verbunden. Einen großen Fortschritt bringt dabei die Computertomographie, die feine knöcherne Fissuren und kleine knöcherne Absprengungen am Karpalgelenk überlagerungsfrei darstellen kann und die Strahlenbelastung auf den Patienten beschränkt. Ihre Verfügbarkeit dürfte die Zahl der zusätzlichen Röntgenaufnahmen für die Suche nach feinen Fissuren und kleinen knöchernen Absprengungsfrakturen erheblich reduziert haben.

Bänder, Sehnen oder Muskeln lassen sich im Röntgenbild praktisch nicht differenziert darstellen, können im Falle einer Verletzung jedoch ebenfalls zu Lahmheiten führen. Die Darstellung von Bandverletzungen am Karpalgelenk kann mit der Röntgendiagnostik nur indirekt über aufwendige, gehaltene Funktionsaufnahmen, sogenannte Stressaufnahmen, erfolgen. Die mediale, laterale und palmare Stabilität können im dorso-palmaren und medio-lateralen Strahlengang überprüft werden. Oft müssen Aufnahmen im Stehen bei belasteter Gliedmasse oder Bilder des kontralateralen Karpalgelenkes zum Vergleich gemacht werden. Das Anfertigen guter, diagnostisch verwertbarer Bilder ist anspruchsvoll. Dabei kommt eine große Anzahl an Aufnahmen zusammen, die eine nicht unerhebliche Strahlenbelastung für den Untersucher verursachen. Bisher können diese Funktionsaufnahmen in der Tiermedizin durch kein anderes Verfahren ersetzt werden. Die Diagnose dieser Bandverletzungen wird am Röntgenbild durch ein Aufklappen der Gelenkspalten oder eine artifiziell induzierte Subluxation einzelner Karpalknochen gestellt. Dies ist jedoch nur möglich wenn die betroffenen Bänder rupturiert oder stark elongiert sind. Eine geringgradige Distorsion als Lahmheitsursache kann somit durch Funktionsaufnahmen nicht diagnostiziert werden.

Veränderungen an Sehnen, Muskeln, Nerven oder Blutgefäßen am Karpus können mit der Röntgendiagnostik ebenfalls kaum dargestellt werden. Hier sind beispielsweise traumatisch oder neoplastisch bedingte Veränderungen durchaus denkbar und zum auch Teil bekannt. Die Existenz eines Karpaltunnelsyndroms beim Hund in Analogie zum Menschen halten TURAN und ERDEN (2003) für wahrscheinlich. Sie haben den Karpaltunnel von Schäferhunden vermessen und halten eine Neuropathie des N. medianus aufgrund seiner Lage zwischen der oberflächlichen und tiefen Beugesehne für möglich. Neben einer Tendinitis, Tendovaginitis oder Bursitis können auch an einen peripheren Nerventumor oder eine Neoplasie anderer Genese gedacht werden, die ein Karpaltunnelsyndrom induzieren könnten. Ein weiteres Tunnelsyndrom in der Sehnenrinne kraniomedial am Karpus im Bereich der Endsehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus ist als Lahmheitsursache bekannt (GRUNDMANN und

MONTAVON, 2002). Neben sekundären knöchernen Veränderungen spielt dabei vermutlich primär eine Erkrankung der Sehne oder ihrer Sehnenscheide einer Rolle.

Die Darstellung von Weichteilerkrankungen ist mit der konventionellen Röntgentechnik bisher nur unzureichend möglich oder ist im Falle von Bandverletzungen mit erheblichen Aufwand und starker Strahlenbelastung für den Untersucher verbunden. Da stellt sich die Frage, ob die Computertomographie oder die Kernspintomographie dem Tierarzt in solchen Fällen zukünftig diagnostisch weiterhelfen kann.

Ein Ziel dieser Arbeit war es, geeignete Untersuchungsparameter zu finden, die eine Visualisierung der Weichteilstrukturen am Karpus mit der Computertomographie ermöglichen und die normalanatomischen Verhältnisse dieser Weichteilstrukturen zu beschreiben. Die Darstellung knöcherner Veränderungen am Karpus mittels Computertomographie ist bereits ein gängiges Verfahren. Über Untersuchungen der Weichteile am Karpalgelenk und ihrer Erkrankungen liegen bisher jedoch kaum Beschreibungen vor.

4.2 CT-Untersuchungsparameter

Beim ersten klinisch Einsatz der Computertomographie durch J. Ambrose 1972 wurde ein menschliches Gehirn erfolgreich dargestellt, das auch in der Folgezeit vorrangiges Untersuchungsobjekt blieb. Dabei zeigte sich neben der überlagerungsfreien Darstellung ein im Vergleich zum Röntgen stark verbessertes Kontrastauflösungsvermögen der Weichteile. Röntgendiagnostik und Computertomographie bedienen sich des gleichen röntgenologischen Grundprinzips. Primär basiert dabei das weit überlegene Kontrastauflösungsvermögen der Computertomographie auf der von Hounsfield entwickelten Fenstertechnik.

So war auch in dieser Arbeit die Suche geeigneter Fensterwerte für die computertomographische Darstellung der Weichteilstrukturen am Karpus ein zentraler Punkt. Dabei zeigten sich Einstellungen des Fensterzentrums zwischen 50HE und 110HE sowie eine Fensterlage zwischen 200HE und 300 HE als am besten geeignet. Die Werte schwankten dabei zwischen den einzelnen Präparaten und auch die Darstellung der Bilder auf unterschiedlichen Monitoren veränderte die Bildqualität geringfügig. Eine feste Fenstereinstellung wird an dieser Stelle nicht empfohlen, da geringe Veränderungen der Werte nach oben oder unten im Einzelfall den Bildkontrast und die Visualisierung der Strukturen jeweils noch verbessern konnten. Es hat sich als günstig erwiesen mit einem Fensterzentrum von etwa 80 HE und einer Fensterbreite von 250 HE die Darstellung zu beginnen. Dann wurde eine leicht erkennbare anatomische Struktur, wie beispielsweise die tiefe Beugesehne, betrachtet und ihr Kontrast zur Umgebung bei der Veränderung der Einstellung beurteilt. Die Fensterwerte, die die beste Bildqualität lieferten, wurden dann in dem entsprechenden Fall weiter verwendet. Es ist fraglich, ob dieses Vorgehen bei zukünftigen klinischen Untersuchungen sinnvoll ist. Eine Differenzierungsmöglichkeit pathologisch veränderter Strukturen kann nicht vorausgesetzt werden. Die besten Einstellungen anhand des Kontrastes einer Struktur zu ermitteln, die aufgrund einer Erkrankung oder Verletzung möglicherweise nicht mehr abgrenzbar ist, dürfte ein aussichtsloses Unterfangen sein. Ob man sich in solchen Fällen besser einer fixen Einstellung des Fensterzentrums von beispielsweise 80 HE und der Fensterbreite von 250 HE bedient oder sich an anderen Referenzpunkten orientiert, bleibt abzuwarten. Da die Fensterwerte auch nach der Untersuchung jederzeit beliebig verändert werden können, ist es wahrscheinlich sinnvoll die Bilder in jeweils verschiedenen Fenstern zu betrachten. Dafür müssen sie digital archiviert werden, denn auf ausgedruckten Bildern können die Fensterwerte nicht mehr verändert werden. Die digitale Archivierung ist weiterhin nötig, wenn die Transversalbilder nach der Untersuchung multiplanar rekonstruiert werden sollen. In dieser Arbeit wurden

sagittale und dorsale Bilder angefertigt. Schräg orientierte Bilder entlang des Verlaufs bestimmter anatomischer Strukturen sind im Einzelfall möglicherweise aufschlussreicher, insbesondere wenn Veränderungen an diesen Strukturen dargestellt werden sollen. Die Option auf eine spätere Rekonstruktionsmöglichkeit in anderen Ebenen kann man sich durch die digitale Archivierung der Bilddaten erhalten. Anders verhält es sich mit der Wahl der Rekonstruktionsalgorithmen. Da in der Regel nur die Bilddaten archiviert werden können, muss die Wahl des richtigen Faltungskernes vor dem Löschen des Rohdatensatzes erfolgen. In dieser Arbeit hat sich ein mittlerer, 60ziger Kern für die Beurteilung des Weichteilfensters an einem einzeiligen Spiral-CT der 3. Generation der Firma Siemens vom Typ SOMATOM AR.SP. am geeignetsten erwiesen. Ob diese Einstellung auf andere Modelle oder Geräte anderer Hersteller übertragbar ist, bleibt fraglich. Vermutlich müssen an anderen CT-Scannern auch andere Einstellungen gewählt werden.

Die Qualität der sagittal und dorsal rekonstruierten Bilder war sehr gut und die zusätzlichen Bildebenen lieferten eine gute Darstellung der anatomischen Strukturen. So dürften sagittale, dorsale und gegebenenfalls schräge Bilder auch bei klinischen Fragestellungen wertvolle zusätzliche Informationen liefern.

Digitale Bildbetrachtungsprogramme bieten viele zusätzliche Bearbeitungsmöglichkeiten. Bei der Auswertung der MRT- und CT-Bilder am Monitor für diese Arbeit hat sich die Verwendung eines Navigationssystems als besonderer Vorteil erwiesen. Die Projektion der aktuell betrachteten Bildebene in die zeitgleich am Monitor dargestellten Bilder der beiden anderen Ebenen ermöglichte eine schnellere und präzisere Identifizierung der anatomischen Strukturen als eine isolierte Betrachtung von Einzelbildern oder die Verwendung von ausgedruckten Bildern. Dies ist bei anatomisch komplexen Gelenken wie dem Karpalgelenk besonders hilfreich.

Diesen Vorteil boten die anatomischen Präparate leider nicht. In Analogie zur Schnittbilddiagnostik könnte auch hier für das Karpalgelenk zukünftig an das Zusammenfügen eines detaillierten, anatomischen Bilddatensatzes gedacht werden, aus dem weitere Bildebenen rekonstruiert und mittels Navigationssystem gesteuert werden könnten.

4.3 Wert der Computertomographie bei der Darstellung der Weichteilstrukturen

Mittels Computertomographie konnten viele Weichteilstrukturen, insbesondere die größeren Sehnen und Bänder, am physiologischen Karpalgelenk dargestellt werden. Ob die Computertomographie auch Erkrankungen dieser Strukturen darzustellen vermag müssen weitere Studien klären. Der oft nur geringe Kontrast und die mäßige Abgrenzbarkeit vieler anatomischer Strukturen, insbesondere der kleineren Sehne und Bänder scheinen wenig vielversprechend. Trotzdem könnte es möglich sein, pathologisch veränderte Strukturen zu erkennen, die physiologisch nicht oder nur undeutlich sichtbar sind. Eine verbesserte Darstellung durch eine pathologische Größenzunahme oder eine Veränderung des Kontrastes beispielsweise durch Schwellungen in der Umgebung ist denkbar. Um den diagnostischen Wert der Computertomographie bei der Diagnostik von Erkrankungen der Weichteile in zukünftigen Untersuchungen zu ermitteln, könnte man die CT-Bilder der Karpalgelenke von Patienten, die auf der Suche nach einer knöchernen Läsion computertomographisch untersucht wurden, zusätzlich mit einem zweiten Rekonstruktionsalgorithmus berechnen und in einem Weichteilfenster beurteilen. Die meisten knöchernen Verletzungen gehen nämlich auch mit einem Weichteiltrauma der Umgebung einher.

In dieser Arbeit wurden die Karpalgelenke in gestreckter neutraler Stellung untersucht. Untersuchungen mit anders gewinkelten Gelenken oder gar Stressaufnahmen wären weitere denkbare Schritte.

Die schlechte Darstellung der Nervenfasern im CT-Bild war aufgrund ihrer geringen Größe zu erwarten. Dennoch erfolgte die anatomische Darstellung der Nerven, der Blutgefäße und der synovialen Einrichtungen sehr ausführlich. Die Kenntnis ihrer Lage und ihres Verlaufes am Karpus erlaubt möglicherweise eine Identifikation im Falle einer abnormen Vergrößerung, wie es beispielsweise im Falle eines Tumors denkbar wäre. Auch die Darstellung der nativen Blutgefäße an den Präparaten war erwartungsgemäß nicht möglich. Hier bieten Angiographien ein weiteres Betätigungsfeld. Kontrastmittelgefüllte Blutgefäße dürften mittels Computertomographie gut darstellbar sein und eine Gegenüberstellung mit anatomischen Präparaten von Blutgefäßen wäre möglich. Seltene arteriovenöse Fisteln als Lahmheitsursache sind beschrieben, ihre diagnostisch schwierige Darstellung wäre mittels CT-Angiographie denkbar. Weitere Kontrastmitteldarstellungen am Karpus könnten auch durch die Anwendung der Arthrographie erfolgen. Möglicherweise liefern kontrastmittelgefüllte Gelenke und Gelenktaussackungen interessante Aspekte bei der Beurteilung des Karpalgelenkes. Sehnenscheiden und Schleimbeutel konnten mit der Computertomographie nicht dargestellt werden.

4.4 MR-Untersuchungsparameter

Bandverletzungen werden in der Humanmedizin zunehmend mittels Magnetresonanztomographie diagnostiziert. Dabei können neben vollständigen auch partielle Bandrupturen erkannt werden. Auch hier scheinen vielversprechende Möglichkeiten zu bestehen, die diagnostischen Grenzen am Karpalgelenk des Hundes zu erweitern. Um den Einsatzbereich der Magnetresonanztomographie auf das canine Karpalgelenk ausdehnen zu können, bestand ein weiterer Teil dieser Arbeit aus der Darstellung der normalanatomischen Verhältnisse im kernspintomographischen Bild am caninen Karpus großwüchsiger Hunde, denn bisher existieren darüber nur wenige Publikationen zu diesem Thema.

Es wurde ein offenes Niederfeldsystem der Firma Siemens Medizintechnik (Erlangen, Deutschland) vom Typ Magnetom Open viva verwendet. Zu Beginn der Arbeit wurden geeignete Spulen und Sequenzen gesucht. Nach Vergleich der Bilder unterschiedlicher Spulen und Sequenzen kam schließlich eine kleine Oberflächenspule zum Einsatz und es wurden von allen Präparaten T1-gewichtete und T2-gewichtete Bilder in verschiedenen Schichtdicken von 1mm bis 3mm jeweils in transversaler, sagittaler und dorsaler Orientierung angefertigt.

NORDBERG und JOHNSON (1999) untersuchten Karpalgelenke von Hunden an einem Hochfeldsystem (1,5T) und fertigten in Analogie zur Humanmedizin dorsale und sagittale, aber keine transversalen Bilder an. Welche Orientierung der Bildebene wichtig für die Beurteilung von pathologischen Veränderungen am Karpus ist und welche weniger bedeutsam ist, ist nicht bekannt. Bis zu dieser Erkenntnis sollte man auf keine der drei Ebenen verzichten, zumal in transversalen Bildern bei dieser Untersuchung Strukturen identifiziert wurden, die in den anderen Ebenen nicht dargestellt werden konnte. Auch für die Identifikation mittels Navigationssystem verschenkt man Information ohne eine dritte Ebene. Mit dieser Arbeit konnten sicherlich nicht alle Fragen bezüglich der optimalen Sequenz- und der Spulwahl geklärt werden. Die Spulentechnologie und vor allem die Sequenzentwicklung und -optimierung sind einem ständigen Fortschritt unterworfen. Somit sollte man sich mit den bisher getesteten und verwendeten Sequenzen nicht auf Dauer begnügen.

4.5 Wert der Magnetresonanztomographie bei der Darstellung des Karpus

Mit dem offenen Niederfeldgerät konnten die meisten der am Karpalgelenk vorhandenen Bänder, Sehnen und Muskeln dargestellt werden. Sogar kleine dorsale Bänder konnten

vereinzelt identifiziert werden. Dabei erwiesen sich besonders die transversalen Bilder als geeignet. Die kräftigen palmaren Bänder konnten ebenso dargestellt werden wie die großen Beuge- und Strecksehnen des Karpus und der Zehen. Die Karpalknochen konnten ebenfalls gut dargestellt werden. Lediglich das Os carpale primum und das kleine Sesambein des M. abductor digiti I (pollicis) longus bereiteten gelegentliche Schwierigkeiten bei der klaren Abgrenzung zur Umgebung.

Vereinzelt konnten Blutgefäße und Nervenfasern gesehen, aber meist nicht sicher identifiziert werden. Die Möglichkeiten einer genaueren angiographischen Kontrastmitteldarstellung der Blutgefäße am Karpus dürften an Niederfeldgeräten begrenzt sein. Vielleicht kann dies mit Hochfeldgeräten gelingen. Vermutlich kann auch die Darstellung von Nervenfasern bei der Verwendung spezieller Sequenzen oder höherer Feldstärken noch verbessert werden. Trotz schlechter Darstellung physiologischer synovialer Einrichtungen am Karpus ist die Kenntnis ihrer Existenz und ihrer Lage von Vorteil bei der Beurteilung abnormer Veränderungen. Deshalb wurden ihre topographische Verteilung und ihre Häufigkeit detailliert beschrieben. Ihre Visualisierung könnte vielleicht mit Kontrastmittelinjektionen erfolgen. Intraartikuläre Kontrastmittelinjektionen, im Sinne einer Arthrographie, könnten in Erwägung gezogen werden, um einzelne Gelenkaussackungen zu darzustellen. Auch ist die Auswirkung verschiedener Lagerungstechniken und Gelenkwinkelungen auf die Darstellbarkeit noch nicht beschrieben.

Der diagnostische Wert der Kernspintomographie bei der Untersuchung von Karpalgelenksverletzungen beim Hund muss in weiteren Studien ermittelt werden. Bei der Darstellung der Bänder am Handgelenk des Menschen besteht oft eine geringe Korrelation zwischen MRT-Befunden und dem klinischen Bild (IMHOF et al., 2000)

4.6 Korrelation der Darstellung zwischen anatomischen Plastinaten und Tomogrammen

Bei der Gegenüberstellung der Bilder konnte nie eine völlige Übereinstimmung zwischen Präparatbildern und Tomogrammen gefunden werden. Auch zwischen MR- und CT-Bildern der gleichen Region zeigte sich keine absolute Übereinstimmung. Stets konnten kleine Unterschiede gefunden werden, denn die Wahrscheinlichkeit das Gelenk beim Sägen und bei den bildgebenden Untersuchungen in genau der gleichen Ebene und im identischen Winkel zu treffen ist gering. Trotzdem zeigte sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Präparaten und Bildern, die auf die Bemühungen zurückzuführen sein dürfte, stets genau die transversale, sagittale und dorsale Ebene einzuhalten. Denn nur die strikte und präzise Einhaltung der jeweiligen Ebene ermöglicht reproduzierbare und später beurteilbare Bilder. Dies gilt auch für die Winkelung des Gelenkes. Dabei sind die Lagerung und die Einhaltung bestimmter Projektionsebenen in der Tomographie mit den Lagerungstechniken konventioneller Röntgendiagnostik vergleichbar. Dort schränkt eine fehlerhafte Lagerung die Beurteilung eines Röntgenbildes ebenfalls oft ein. Daneben dürfte der Grad der Übereinstimmung der Bilder von der verwendeten Schichtdicke abhängen. Grundsätzlich stammt die Information eines MR- oder CT-Bildes aus dem Volumen einer Schicht und ist deshalb nie völlig mit der Aufsicht eines anatomischen Sägeschnittes vergleichbar. Bei der Verwendung geringer Schichtdicken sind diese Partialvolumeneffekte der Schnittbilddiagnostik jedoch fast zu vernachlässigen. Eine Reduktion der Schichtdicke bei den anatomischen Präparaten und den Tomogrammen dürfte somit noch zu einer Verbesserung führen. Bei dieser Arbeit wurden Plastinate einer Dicke von 3mm erstellt und Schichtdicken zwischen 1mm und 3 mm kamen bei den bildgebenden Untersuchungen zum Einsatz. Dies waren bereits die geringst möglichen Werte für die jeweiligen Verfahren und die erzielten Bilder ließen eine sehr gute Identifizierung der anatomischen Strukturen zu.

4.7 Vergleich zwischen Magnetresonanz- und Computertomographie

Beide bildgebenden Verfahren vermochten Bänder, Sehnen und Muskeln am gesunden caninen Karpalgelenk darzustellen. Mit der Magnetresonanztomographie konnten diese anatomischen Strukturen wesentlich besser visualisiert, identifiziert und differenziert werden. Ob dieser Vorteil bei der normalanatomischen Darstellung auch zu einer Überlegenheit in der Darstellung von Erkrankungen oder Verletzungen führt, müssen weitere Arbeiten klären. Ein großer Vorteil der Kernspintomographie gegenüber der Computertomographie liegt sicher in der Verfügbarkeit verschiedener Sequenzen mit jeweils unterschiedlicher Betonung einzelner Strukturen.

Die Magnetresonanztomographie arbeitet im Gegensatz zur Computertomographie ohne ionisierende Strahlung. Die Unfallgefahr mit metallischen Gegenständen, die geschossartig in das starke Magnetfeld gezogen werden können, darf jedoch auch nicht unterschätzt werden.

4.8 Ausblick

Der diagnostische Nutzen der Magnetresonanztomographie und der Computertomographie bei der Untersuchung von caninen Karpalgelenken muss in zukünftigen Studien untersucht werden. Sowohl Weichteilverletzungen als auch knöcherner Traumata könnten dabei mit beiden Verfahren parallel untersucht und die Ergebnisse verglichen werden. Diese Arbeit zeigt, dass mittels Kernspintomographie auch eine gute Darstellung der Karpalknochen möglich ist, die in der Diagnostik von Frakturen und feinen Fissuren gute Ergebnisse liefern könnte. So bleibt in Zukunft die Darstellung knöcherner Strukturen wohl nicht mehr die Domäne der Computertomographie. Die Überlegenheit der Kernspintomographie bei der Darstellung von Erkrankungen des Knochenmarkes deutet sich jetzt bereits an. Knochenmarködeme beispielsweise, die mittels MRT gut erkennbar sind, entziehen sich der computertomographischen Darstellung völlig.

Weiterhin könnten Grundlagen für Kontrastmittelstudien am Karpalgelenk angestrebt werden. Hier kann an die Arthrographie oder die Angiographie gedacht werden. Das Interesse zukünftiger Untersuchungen könnte aber auch dem Einfluss unterschiedlicher Gelenkwinkel auf die Darstellung einzelner Strukturen gelten. Dabei könnten neben verschiedenen physiologischen Gelenkwinkeln auch unphysiologische Stellungen in Hyperextension, Hyperflexion, Valgus- oder Varusstellung während der Untersuchung angestrebt werden. Neben einer manuellen Fixation wären einfache technische Hilfsmittel durchaus denkbar. So werden Funktionsaufnahmen am Karpalgelenk des Hundes in Zukunft womöglich nicht mehr im Zentralstrahl einer Röntgenröhre, sondern im Magnetfeld eines Kernspintomographen angefertigt.

Das Auskommen ohne ionisierende Strahlung wird zu einer ständig wachsenden Akzeptanz der Magnetresonanztomographie bei der Bevölkerung führen. Dies wird eine zunehmende Nachfrage nach kernspintomographischen Untersuchungen beim Tierpatienten zur Folge haben. Die Weiterentwicklung und Verbreitung dieser Technologie wird vor der Tierarztpraxis nicht halt machen, was ständig steigende Verkaufszahlen für Magnetresonanztomographen in der Tiermedizin bereits jetzt belegen. Dieser Tatsache sollte bei der studentischen Ausbildung Rechnung getragen werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden die physiologischen anatomischen Verhältnisse am Karpalgelenk großwüchsiger Hunde parallel im kernspintomographischen und computertomographischen Bild beschrieben. Als Referenz dienten anatomische Scheibenplastinate.

Von klinisch und röntgenologisch gesunden Karpalgelenken von Hunden, die aus medizinischen Gründen eingeschläfert wurden, wurden CT- und MR-Bilder in transversaler, sagittaler und dorsaler Orientierung angefertigt. Dabei lag der Schwerpunkt der computertomographischen Untersuchung auf der Darstellung der Bänder, Muskeln und Sehnen in einem Weichteilfenster des Karpalgelenkes. Dafür haben sich Rekonstruktionsalgorithmen mittlerer Härte als geeignet erwiesen. Fensterwerte mit einem Zentrum zwischen 50 und 110 HE sowie einer Breite von 200-300 HE zeigten den besten Weichteilkontrast am Karpus des Hundes. Bei der computertomographischen Untersuchung kam ein einzeiliger Spiral-CT der dritten Generation zum Einsatz, dessen Software eine multiplanare Rekonstruktion der Transversalschnitte in sagittaler und dorsaler Orientierung erlaubte. Die kernspintomographische Untersuchung erfolgte an einem offenen Niederfeldgerät (0,2 T). Es wurden T1- und T2-gewichtete Bilder mit verschiedenen Sequenzen und verschiedenen Schichtdicken in transversaler, sagittaler und dorsaler Orientierung angefertigt. Bilder guter Qualität konnten mit einer T1-gewichteten Spinechosequenz (TR: 640 ms, TE: 26 ms, Schichtdicke 3 mm) erzielt werden. Nach den bildgebenden Untersuchungen wurden zur Identifizierung der anatomischen Strukturen aus den untersuchten Gelenken anatomische Präparate hergestellt. Neben Kryoschnitten wurden Scheibenplastinate angefertigt. Es zeigte sich eine gute und übereinstimmende Darstellung der anatomischen Strukturen zwischen den Kryoschnitten und den Plastinaten. Die Scheibenplastinate, die MR-Bilder und die CT-Bilder wurden einander gegenübergestellt und verglichen. Bei der Betrachtung der MR- und CT-Bilder am Monitor mittels eines Navigationssystems zeigten sich Vorteile im Vergleich zur herkömmlichen Betrachtung einzelner Bilder. Die Projektion der aktuell betrachteten Bildebene in die zeitgleich am Monitor dargestellten Bilder der beiden anderen Ebenen ermöglichte eine schnellere und präzisere Identifizierung der anatomischen Strukturen als eine isolierte Betrachtung von Einzelbildern.

Mit der überlagerungsfreien Darstellung beider Schnittbildverfahren konnten sehr viele einzelne Bänder, Sehnen und Muskeln am Karpalgelenk dargestellt werden. Dabei zeigten sich Sehnen und Bänder im Vergleich zur Muskulatur im CT-Bild leicht hyperdens und im MR-Bild deutlich hypointens. Die palmaren Beugesehnen, die kräftigen palmaren Haltebänder und die Kollateralbänder konnten sowohl auf CT- als auch auf MR-Bildern weitgehend identifiziert werden. Bei der Darstellung der Strecksehnen und der schwächeren dorsalen Bänder stieß die Computertomographie an ihre Grenzen. Hier zeigte sich eine klare Überlegenheit der Kernspintomographie im Vergleich zur Computertomographie, denn sie vermochte auch die meisten Strecksehnen und viele der kleineren Bänder und Sehnen darzustellen.

Eine klare, über die gesamte gemeinsame Verlaufsstrecke durchgängige Abgrenzung des medialen Kollateralbandes von der Endsehne des M. abductor digiti I (pollicis) longus war mit beiden Verfahren nicht möglich. Ähnliche Schwierigkeiten zeigten sich bei der sicheren Abgrenzung des lateralen Kollateralbandes zu seiner Umgebung. Die Ligg. accessoriometacarpeum mediale und accessoriometacarpeum laterale konnten mit beiden Schnittbildverfahren dargestellt werden, sie zeigten sich aber auch im Sagittalbild meistens nur in Anschnitten. Die Fibrocartilago carpo-metacarpeum palmare konnte ebenfalls mit beiden Verfahren identifiziert werden. Sie stellte sich im CT-Bild leicht hyperdens und sehr unregelmäßig begrenzt dar. Im MR-Bild, wo sie sich unregelmäßig signalarm zeigte, konnte

sie besser abgegrenzt werden. Die palmar des Antebrachiokarpalgelenkes gelegenen Bänder konnten mit der MRT dargestellt werden. Mit der Computertomographie konnten sie nur andeutungsweise erkannt werden. Die Muskelbäuche der kurzen Zehenmuskeln konnten mit beiden Verfahren erkannt, aber nicht voneinander differenziert werden. Einzelne Karpalknochen konnten mittels MRT gut beurteilt und abgegrenzt werden. Knöchernen Strukturen konnten auf CT-Bildern im Weichteilfenster kaum voneinander abgegrenzt werden, waren aber im Knochenfenster hervorragend zur Differenzierung. Größere Nervenfasern und Blutgefäße konnten vereinzelt mit der MRT identifiziert werden. Im CT-Bild konnten sie nur anhand ihrer Lage vermutet werden. Die Darstellung einzelner Blutgefäße bleibt zukünftigen Kontrastmitteldarstellungen vorbehalten. Schleimbeutel und Sehnenscheiden wurden auf MR-Bildern andeutungsweise erkannt, waren aber meist nicht sicher abgrenzbar. Auf CT-Bildern war eine Identifizierung nicht möglich.

Da sämtliche Weichteilstrukturen auf MR-Bildern wesentlich besser als auf CT-Bildern zu identifizieren waren, scheint es vielversprechender, künftige klinische Fragestellungen im Bezug auf Weichteilverletzungen und Erkrankungen am Karpalgelenk mittels Kernspintomographie und nicht mittels Computertomographie weiterführend zu untersuchen.

6 SUMMARY

Magnetic resonance imaging and computed tomography of the normal canine carpal joint having special regard to the soft tissue structures

Computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) were used to study the anatomy of clinically and radiographically normal carpal joints in 12 large-breed dogs that were euthanatised for medical reasons. Preparations made by sectioning the carpal joints from these same dogs were used as controls. Computed tomographic and magnetic resonance images were taken in transverse, sagittal and dorsal planes.

The computed tomographic examination focused on the depiction of the ligaments, muscles and tendons of the carpal joint using a soft tissue window. Reconstruction algorithms of a medium-sized kernel proved to be applicable. Window settings with a centre of between 50 and 110 HU and a width of 200 to 300 HU provided the best soft tissue contrast in the carpal region. A single-slice helical third generation CT scanner was used together with software that allowed a multi-planar reconstruction of the transverse slices in sagittal and dorsal planes. A low-field open magnetic resonance unit (0.2 T) was used for MRI. T1 and T2 weighted images with different sequences and different slice thickness were obtained in the transverse, sagittal and dorsal planes. T1 weighted spin echo sequences (TR: 640 ms, TE: 26 ms, slice thickness: 3 mm) provided good quality images. Upon completion of the imaging modalities, the joints were sectioned and anatomical preparations were made. These included cryostat sections and permanent transparent slice plastinations. There was a good correlation between the anatomical structures of the frozen sections and those of the slice plastinations. The computed tomographic and magnetic resonance images and the anatomical sections were compared. Viewing the computed tomographic and magnetic resonance images on a monitor using a navigation system offered more advantages than conventional viewing of single images. Projection of the chosen image together with the corresponding images in the other two planes allowed faster and more precise identification of the anatomic structures than viewing single images alone.

The superimposition-free depiction of computed tomographic and magnetic resonance images allowed good visualisation of ligaments, tendons and muscles of the carpal region. Compared to muscles, the tendons and ligaments appeared slightly hyperdense on computed tomographic images and markedly hypointense on magnetic resonance images. The palmar flexor tendons, the strong palmar ligaments and the collateral ligaments could be identified on images generated by CT and MRI. Magnetic resonance imaging was superior to CT for visualisation of the extensor tendons and the weaker dorsal ligaments.

Most of the extensor tendons and many of the smaller ligaments and tendons could be seen via MRI. Clear differentiation of the medial collateral ligament and the tendon of the long abductor muscle of the first digit (*musculus abductor digiti I longus*) was not possible with either CT or MRI. As well, the lateral collateral ligament could not be clearly differentiated from surrounding tissue. The medial and lateral accessory metacarpal ligaments could be depicted on both computed tomographic and magnetic resonance images. The palmar fibrocartilage could also be visualised; on computed tomographic images, it was slightly hyperdense with an irregular border and with MRI, it had a low and irregular signal and could be better differentiated. The ligaments that are situated palmar to the antebrachiocarpal joint space could be seen better on magnetic resonance images than on computed tomographic images. The short digital muscles could be visualised with both imaging modalities, but could not be differentiated from each other. Individual carpal bones could be easily distinguished

from each other on magnetic resonance images. On computed tomographic images, these bones could not be differentiated well using a soft tissue window, but could be clearly distinguished using a bone window. Some of the large nerves and vessels could be seen on magnetic resonance images; however, reliable identification of these structures was not possible. Contrast studies are required for identification of individual vessels. Synovial bursae and tendon sheaths were barely recognisable on magnetic resonance images and could not be identified on computed tomographic images.

Magnetic resonance imaging was superior to CT for identification of all soft tissue structures of the canine carpus. Therefore, soft tissue injuries of that joint should be evaluated using MRI rather than CT.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- ASSHEUER J, SAGER M. Carpal Joint and Paw, Principles of Imaging Techniques. In: Assheuer J, Sager M. MRI and CT Atlas of the Dog. Berlin: Blackwell. 1997. 228-247, 449-462
- BAE KT. Contrast Injection Techniques and CT Scan Timing. In: Claussen CD, Fischman EK, Marincek B, Reiser, M. Multislice CT. Berlin, Heidelberg: Springer. 2004, 121-126
- BAIRD DK, HATHCOCK JT, KINCAID SA et al. Low field magnetic resonance imaging of early subchondral cyst-like lesions in induced cranial cruciate ligament deficient dogs. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 1998, 39: 87-97
- BAIRD DK, HATHCOCK JT, RUMPH PF. Low field magnetic resonance imaging of the canine stifle joint: normal anatomy. *Veterinary Radiology and Ultrasound*. 1998, 39: 87-97
- BALZER T. Kontrastmittel. In: Reimer P, Parizel PM, Stichnoth FA. Klinische MR-Bildgebung. Berlin, Heidelberg. Springer. 2000. 41-54
- BANFIELD CM, MORRISON WB. Magnetic resonance arthrography of the canine stifle joint: technique and applications in eleven military dogs. *Veterinary Radiology and Ultrasound*. 2000, May-Jun; 41(3): 200-13.
- BERG J, GJ, WALLACE MK. Giant cell tumor of the accessory carpal bone in a dog. *J Am Vet Med Assoc*. 1990, 197(7): 883-5.
- BERRY CR. Physical Principles of Computet Tomography and Magnetic Resonance Imaging. In: Thrall DE. Textbook of Veterinary Diagnostik Radiology. 4th Edition. Philadelphia: WB Saunders Company. 2002, 28-34
- BERRY CR, LOVE NE, THRALL DE. Introduction to Radiographic Interpretation. In: Thrall DE. Textbook of Veterinary Diagnostik Radiology. 4th Edition. Philadelphia: WB Saunders Company. 2002, 42-56
- BRINKER WO, PIERMATTEI DL, FLO GL.. Frakturen des Carpus, Metacarpus und der Phalangen. Lahmheitsuntersuchung. Carpus und Metacarpus. Verletzungen des Carpus und Metacarpus. In: Orthopädie und Frakturbehandlung beim Kleintier. Stuttgart: Schattauer. 1993, 173-182, 222-225, 425-440
- BOCK M. Technische Komponenten. In: Reiser M, Semmler W. Magnetresonanztomographie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 2002, 82-96
- BÖHME G. Armgeflecht und Nerven der Vordergliedmaße. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 4. Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine Drüsen. 3. Auflage. Berlin und Hamburg: Parey. 1992, 241-267
- BRIX G. Physikalische Grundlagen. Abbildungsverfahren. In: Reiser M, Semmler W. Magnetresonanztomographie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 2002, 6-40

- BRIX G, KOLEM H, NITZ WR. Bildkontraste und Bildgebungssequenzen. In: Reiser M, Semmler W. Magnetresonanztomographie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 2002, 41-81
- BRUNNBERG L. Lahmheitsdiagnostik beim Hund.. Berlin: Parey. 1999, 33-34
- CONSTANTINESCU GM. The Thoracic Limb. In: Clinical Anatomy for Small Animal Practiconers. First Edition. Iowa: Iowa State Press. 2002, 223-229
- DENNIS R, KIRBERGER RM, WRIGLEY RH, BARR FJ. Carpus. In: Handbook of Small Animal Radiological Differential Diagnosis. London: WB Saunders. 2001, 47-49
- DIK KJ. Bildgebende Diagnostik in der Chirurgie. In: Schebitz H, Brass W, Wintzer HJ. Allgemeine Chirurgie für Tierärzte und Studierende. 2.Auflage, Berlin, Hamburg: Parey, 1993, 325-346
- DYCE KM, SACK WO, WENSING WO. The Forelimb of the Carnivores. In: Textbook of Veterinary Anatomy. 2nd. Edition. Philadelphia: W.B. Saunders. 1996, 457-468.
- EVANS HE. The Skeleton. Arthrology. The Heart and Arteries. Veins. In: Miller`s Anatomoy of the Dog. 3rd Edition. Philadelphia: W.B. Saunders. 1993, 192-195, 239-243, 638-645, 692-696,
- FISHMAN EK. Multidetector CT and the Future of CT-Scanning – The Coming Revolution in Workflow and Process Design. In: Claussen CD, Fischman EK, Marincek B, Reiser, M. Multislice CT. Berlin, Heidelberg: Springer. 2004, 19-20
- FOLTIN I. Kernspintomographische Kriterien für Hüftgelenksdysplasie, Koxarthrose und Morbus Legg-Calve-Perthes beim Hund. Diss. med. vet., München. 2002
- FOLTIN I, RIEDEN K, MATIS U. Kernspintomographische Darstellung und Beurteilung von Kniegelenkerkrankungen des Hundes. Tierärztl Prax 2004, 32: 1-8
- FREWEIN J. Muskulatur. Peripheres Nervensystem In: Frewein J, Vollmerhaus B. Anatomie von Hund und Katze. Berlin: Blackwell. 1994, 77-79, 110-116, 381-386
- FREWEIN J, KÖNIG HE, WAIBL H. Blutgefäße. In: Frewein J, Vollmerhaus B. Anatomie von Hund und Katze. Berlin: Blackwell. 1994. 265-269
- FROEHLICH JM. MR-Kontrastmittel. In: Weishaupt D, Köchli VD; Marincek, B. Wie funktioniert MRI? Berlin, Heidelberg: Springer. 2003, 91-106
- GALANSKI M, PROKOP M. Grundlagen. In: Ganzkörpercomputertomographie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag. 1998. 3-34
- GAVIN PR. MRI principles in Orthopaedics. MRI: now and the future. Comparison of CT vs. MRI. In: Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich. 10th-12th September 2004, 44-50

- GIELEN I, VAN RYSSSEN B, VAN BREE H. Arthrology – Diagnostic imaging: is CT the answer? In: Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich. 10th-12th September 2004, 140
- GNIRS K, RUEL Y, BLOT S, BEGON D, RAULT D, DELISLE F, BOULOUHA L, COLLE M-A, CAROZZO C, MOISSONNIER P. Spinal subarachnoid cysts in 13 dogs. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, Vol. 44, No 4, 2003, 402-408
- GONZALO-ORDEN JM, ALTONAGA JR, GONZALO-Cordero JM. Magnetic resonance imaging in 50 dogs with stifle lameness. *Eur J Comp An Pract* 2001; 11: 115-118
- GRAU H. Das Muskelsystem. Der aktive Bewegungsapparat. In: Ellenberger-Baum. *Handbuch der Vergleichenden Anatomie der Haustiere*. Berlin: Springer. 1943, 260-264
- GRUNDMANN S, MONTAVON, PM. Stenosing tendosynovitis of the abductor pollicis longus muscle. In: Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress. Munich, 2002, 151
- GUILLIARD MJ, MAYO AK. Subluxation/luxation of the second carpal bone in two racing greyhounds and a Staffordshire bull terrier. *J Small Anim Pract* 2001, 42(7): 356-9
- HATHCOCK, JT. Low field magnetic resonance imaging characteristics of cranial vault meningeomas in 13 dogs. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, Vol. 37, No. 4, 1996, 257-263
- HENSCHEL E. Funktion und vergleichend anatomische Bedeutung des Ligamentum radioulnare der Karnivoren. *Anat Anz* 1983, 133, 445
- HERMANSON JW, EVANS HE. The Muscular System. In: Miller's *Anatomy of the Dog*. 3rd Edition. Philadelphia: W.B. Saunders. 1993, 333-348
- HOFER M. Physikalische und technische Grundlagen. In: Hofer M. *CT-Kursbuch*. 4. Aufl. Düsseldorf: Matthias Hofer Verlag Didamed. 2003, 6-13
- IMHOF H, KAINBERGER F, BREITENSEHER M, GRAMPP S, RAND T. Gelenke. In: Reimer P, Parizel PM, Stichnoth FA. *Klinische MR-Bildgebung*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2000, 204, 239-41
- JOHNSON AL, HULSE DA. Diseases of the Joints. In: *Small Animal Surgery*. St. Louis: Mosby. 2002, 963-964, 1089-1090
- JOHNSON KA. Accessory carpal bone fractures in the racing greyhound. Classification and Pathology. *Vet Surg* 1987, 16(1): 60-4
- JOHNSON KA, DEE JF, PIERMATTEI DL. Screw fixation of accessory carpal bone fractures in racing Greyhounds: 12 cases (1981-1986). *JAVMA* 1989, Vol 194, No. 11, June 1
- KAISER S, CORNELLY D, GOLDER W, GARNER M, WAIBL H, BRUNNBERG L. Magnetic resonance measurements of the deviation of the angle of force generated by contraction of the quadriceps muscle in dogs with congenital patellar luxation. *Vet Surg* 2001, Nov-Dec; 30(6): 552-8

KASER-HOTZ B, SARTORETTI-SCHEFER S, WEISS R. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the normal equine carpus. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 1994, 35: 457-461

KITCHELL RL, EVANS HE. The Spinal Nerves. In: Miller's Anatomy of the Dog. 3rd Edition. Philadelphia: W.B. Saunders. 1993, 844-856

KOCH T, BERG R. Blutgefäßsystem. Nervensystem. In: Lehrbuch der Veterinär-Anatomie. Band 3. Die großen Versorgungs- und Steuerungssysteme. 5., überarbeitete Auflage. Gustav Fischer Verlag Jena. Stuttgart: 1993, 134-136, 239-240, 367-379

KOCH T, BERG R. Osteologie, Gelenk- und Bänderlehre, Arthrologie und Syndesmologie. Spezielle Muskellehre, Spezielle Myologie. In: Lehrbuch der Veterinär-Anatomie. Stuttgart. Band 1. Bewegungsapparat. 5., überarbeitete Auflage. Gustav Fischer Verlag Jena. Stuttgart: 1992, 92-102, 223-227

KÖNIG HE, LIEBICH H-G. Vorder- oder Schultergliedmaßen (Membra thoracica). In: Anatomie der Haussäugetiere. Band 1: Bewegungsapparat. Schattauer. Stuttgart 2001, 142-160

KÖNIG HE, LIEBICH H-G. Periphere Nerven und Ganglien. System nervosum periphericum. In: Anatomie der Haussäugetiere. Band 2: Organe, Kreislauf und Nervensystem. Schattauer. Stuttgart: 2002, 258-260

KÖSTLIN R, MATIS U, WAIBL H. Zur Diagnostik und Therapie der Hyperextensionsverletzungen im Karpalgelenk ("Niederbruch") des Hundes. 1986, *Kleintierpraxis* 31, Heft 3: 97-160.

KRAFT SL, GAVIN PR, DeHaan C, MOORE M, WENDLING LR, LEATHERS CW. Retrospective review of 50 canine intracranial tumors evaluated by magnetic resonance imaging. *J Vet Intern Med*. 1997, 11: 218-225

LAUBENBERGER T, LAUBENBERGER J. Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften, Röntgentechnik, Röntgenröhre und Generator, Digitale Radiographie, Computertomographie, Magnetresonanztomographie. In: Technik der medizinischen Radiologie. 6. Auflage. Köln. Deutscher Ärzte-Verlag. 1994, 35-60, 150-155, 259-264, 323-368

LENEHAN TM, TARVIN GB. Carpal accessorioulnar joint fusion in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 1989, 194(11): 1598-600.

MELLEMA LM, SAMII VF, VERNAU KM, LECOUTEUR RA. Meningeal enhancement on magnetic resonance imaging in 15 dogs and 3 cats. *Veterinary Radiology and Ultrasound*. Vol. 43, No. 1, 2002. 10-15

MORGAN JP, DOVAL J, SAMII V. Karpus, Metakarpus, Zehen. In: Lagerungstechniken in der Röntgendiagnostik beim Hund. Hannover: Schlütersche. 1998, 218-223

NICKEL R, SCHUMMER A, WILLE KH, WILKENS H. Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 1. Bewegungsapparat. 6. Aufl. Berlin, Hamburg: Parey. 1992. 73-83, 217-220, 234-241

- NIENDORF HP, BALZER T, REIMER P. Kontrastmittel. In: Reiser M, Semmler W. Magnetresonanztomographie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 2002, 111-132
- NITZ WR. Grundlegende Prinzipien der MR-Bildgebung. In: Reimer P, Parizel PM, Stichnoth FA. Klinische MR-Bildgebung. Berlin, Heidelberg: Springer. 2000, 1-40
- NOMINA ANATOMICA VETERINARIA. World Association of Veterinary Anatomists. 4th Edition. Zürich, Ithaka, New York. 1994
- NORDBERG CC, JOHNSON KA. Magnetic resonance imaging of normal canine carpal ligaments. Veterinary Radiology and Ultrasound. 1998. Vol. 39, No. 5, 128-136
- OWEN MC, LAMB CR, Lu D, TARGETT MP. Material in the middle ear of dogs having magnetic resonance imaging for investigation of neurologic signs. Veterinary Radiology and Ultrasound. Vol 45, No. 2, 2004, 149-155
- OWENS JM, BIERY DN. Carpus. In: Radiographic Interpretation for the Small Animal Clinician. Second edition. Baltimore: Williams and Wilkins, 1999, 80-81
- PASSARIELLO R, CATALANO C, VENDITTI F, DANTI M. Contrast Medium Injection in MSCT: Present Status and Future Perspectives. In: Claussen CD, Fischman EK, Marincek B, Reiser, M. Multislice CT. Berlin, Heidelberg: Springer. 2004, 129-134
- PENDERIS J, DENNIS R. Use of traction during magnetic resonance imaging of caudal cervical spondylomyelopathy („wobbler syndrome“) in the dog. Veterinary Radiology and Ultrasound, Vol 45, No. 3, 2004, 216-219
- PIRAS A. Radiographic approach to distal extremity injuries. In: Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich. 10th-12th September 2004, 117-120
- PUNZET G. Luxation of the os carpi radiale in the dog - pathogenesis, symptoms and treatment. J Small Anim Pract. 1974, 15-751.
- REISER M, STÄBLER A, GLASER C. Handgelenk. In: Gelenke. In: Haltungs- und Bewegungsapparat. In: Reiser M, Semmler W. Magnetresonanztomographie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 2002, 887-890
- ROOS H, BRUGGER S, RAUSCHER T. Über die biologische Wertigkeit der Bewegungen in den Radioulnargelenken bei Katze und Hund. Anat Histol Embryol. 1992. 21, 199-205.
- SCHALLER S, FLOHR T. Computed Tomography - Past, Present, Future. In: Claussen CD, Fischman EK, Marincek B, Reiser, M. Multislice CT. Berlin, Heidelberg: Springer: 2004, 3-18
- SCHILD HH. MRI made easy. Schering AG. 1990, 7-99
- SCHMALTZ R. Über die Beschreibung der Venen. Berl. Tierärztl. Wschr. 1898, 193-195
- SCHNAPPER A, SORNPHU T, KÄHLER B; WERNITZ U, WAIBL H, BRUNNBERG L. Klinisch angewandte Anatomie zu Anzahl, Größen und Formen der Gelenkflächen im Karpalgelenk des Hundes. Kleintierpraxis. 2002, 47, 71-79

SCHWARZE I. Computertomographische Untersuchungen am Sprunggelenk des Rindes. Diss. med. vet., München. 1998

SEIFERLE E, FREWEIN J. Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 1. Bewegungsapparat. 6. Aufl. Berlin, Hamburg: Parey. 1992, 273-282, 443-465

SHARPE JW, BAILEY CS, JOHNSON RD, KITCHELL RL. Spinal nerve root origin of the median, ulnar and musculocutaneous nerve and their muscle nerve branches to the canine forelimb. Anat Histol Embryol 1990. 19, 359-368

SHARPE JW, BAILEY CS, JOHNSON RD, KITCHELL RL. Spinal root origin of the radial nerve and nerves innervating shoulder muscles of the dog. Anat Histol Embryol 1991. 20, 205-214

SHIRES PK, HULSE DA, KEARNEY MT. Carpal hyperextension in two-month-old pups. J Am Vet Med Assoc 1985, 186(1): 49-52.

SIEMENS AG. Medizinische Technik CTM 2. Computertomographie. Sicherheit, Systembeschreibung. In: Somatom AR/Spiral Referenz Gebrauchsanweisung Somatom AR/Spiral. Forchheim. CAPE. 1995, A1.4-1.8, B1

SIEMENS AG. Bildqualität und Parameter, Sequenztechniken. In: Magnetom Open Applikationshandbuch. Software-Update Numaris 3 Version B33 F, Erlangen. CAPE: 2000, A1-B5

SIEMENS AG. Magnets, Spins and Resonances. Erlangen. Siemens Medical Solutions. 2003

SLOCUM B, DEVINE T. Partial carpal fusion in the dog. JAVMA 1982,180, 1204-1208

STADIE B, KAISER S, BRUNNBERG L, WAIBL H. Die magnetresonanztomographische Untersuchung (MR) des Schultergelenkes gesunder und an der Schulter erkrankter Hunde im Vergleich zur radiologischen Untersuchung. Kleintierpraxis 2004, 49, 477-544

STICKLE RL, HATHCOCK JT. Interpretation of computed tomographic images. Vet Clin North Small Anim Pract 1993, 23: 417-435

THOMAS WB, SORJONEN DC, SCHEULER RO, KORNEGAY JN. Magnetic resonance imaging of brain infarction in seven dogs. Veterinary Radiology and Ultrasound, Vol 37, No. 5, 1996, 345-350

THRALL DE, WIDMER WR. Radiation Physics, Radiation Protection and Darkroom Theory. In: Thrall DE. Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. 4th Edition. Philadelphia: WB Saunders Company. 2002, 1-19

TURAN E, ERDEN H. Computed tomography and morphometry of the carpal canal in the dog. Ann Anat, 2003, Apr, 185 (2): 173-8

VAN RYSSSEN B, GIELEN I, SAMOY Y, VAN BREE H. Elbow incongruity: fact or fiction? In: Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich. 10th-12th September 2004, 137-138

VOLLMERHAUS B, FREWEIN J, ROOS H, KNOSPE C. Skelett. In: Frewein J, Vollmerhaus B. Anatomie von Hund und Katze. Berlin: Blackwell. 1994, 33-39

VOLLMERHAUS B, WAIBL H, ROOS H. Gelenke. In: Frewein J, Vollmerhaus B. Anatomie von Hund und Katze. Berlin: Blackwell. 1994, 63-67

WAIBL H, MAYRHOFER E, MATIS U, BRUNNBERG L, KÖSTLIN R. Schultergliedmaße. Karpalgelenk. In: Atlas der Röntgenanatomie des Hundes. Berlin, Wien: Blackwell. 2003, 79-81

WEISHAUPT D, KÖCHLI VD; MARINCEK, B. Wie funktioniert MRI? Berlin, Heidelberg: Springer. 2003, 1-55, 60-62, 107-114

WERNITZ U. Knochen-, Band- und Gelenkkapselverletzungen im Bereich des Karpalgelenkes beim Hund. Diss. med. vet., München. 1987

WHITTICK WG. Carpal Injuries. In: Canine Orthopedics. 2nd Edition. Philadelphia, London: Lea und Febiger. 1990, 529-534.

WIDMER WR, BUCKWALTER KA, BRAUNSTEIN EM. Radiographic and magnetic resonance imaging of the stifle joint in experimental osteoarthritis of dogs. Veterinary Radiology and Ultrasound, 1994, 35: 371-383

WILKENS H, MÜNSTER W. Arterien, Arteriae. Venen, Venae. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 3. Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane, 2. Auflage. Berlin und Hamburg: Parey. 1984, 83-104, 204-225

YALDEN DW. The functional morphology of the carpal bones in carnivores. Acta Anat. 1970, 77: 481-500

ZIETSCHMANN O. Das Skelettsystem. Der passive Bewegungsapparat. Die Arterien. Die Venen. In: Ellenberger-Baum. Handbuch der Vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage. Berlin: Springer. 1943, 144-146, 148-151, 639-644, 732-7

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. habil. R. Köstlin für die Überlassung des interessanten Themas und für seine anregende Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit recht herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Dr. habil. U. Matis, Vorstand der Chirurgischen Tierklinik, für ihre großzügige Förderung und die tatkräftige Unterstützung der Arbeit.

Bei Herrn Herman Obermayer, Präparator am Institut für Tieranatomie I der LMU München, möchte ich mich ganz besonders bedanken für die Weiterentwicklung der Plastinationstechnik für die Anwendung am Karpalgelenk des Hundes sowie für das arbeitsintensive Anfertigen der anatomischen Scheibenplastinate.

Ferner möchte ich mich bei meinem Kollegen M. Zöllner und meinen ehemaligen Kollegen Dr. S. Hecht und Dr. C. Jorda für die gute Zusammenarbeit und ihre Hilfe bedanken. Den Mitarbeitern der Röntgenabteilung B. Frobel, R. Grauert, F. Marshal und E. Zindel-Sodahon danke ich für ihre Unterstützung und ihr Verständnis.

Herrn Dr. Dr. habil. J. Maierl und Herrn Dr. M. Zengerling danke ich für die Anregungen bei den anatomischen Arbeiten.

Dank gilt auch meiner Freundin Julia Neugebauer für Durchsicht des Manuskripts sowie für ihre Unterstützung und ihr Verständnis.

Zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir das Studium und das Anfertigen der Dissertation überhaupt erst ermöglichten.

Lebenslauf

Name: Andreas Brühschwein
Geburtsdatum: 22.10.1974
Geburtsort: Gunzenhausen
Eltern: Walter Brühschwein, Malermeister
Hildegard Brühschwein, Hausfrau
Geschwister: Christian Brühschwein, Malermeister

Grundschule: Volksschule in Wassertrüdingen, 1981 bis 1985
Gymnasium: Albrecht-Ernst-Gymnasium in Oettingen, 1985 bis 1994
Abitur: Albrecht-Ernst-Gymnasium in Oettingen, Juli 1994

Praktika: bei Ulrich Meyer zu Bexten, Gestüt, Herford, 1994
bei Klaus Reinacher, Reitstall, Coesfeld-Osterwick, 1995

Studium der Tiermedizin: LMU München, 1995 bis 2001
Tierärztliche Vorprüfung: München, September 1997
Tierärztliche Prüfung: München, März 2001
Approbation als Tierarzt: München, April 2001

Praktikum: Hämatologikum der GSF in Großhadern,
Abteilung für experimentelle Knochenmarktransplantation,
Mai bis September 2001

Dissertation: Doktorand an der Chirurgischen Tierklinik
der Tierärztlichen Fakultät der LMU München,
Vorstand: Prof. Dr. Dr. habil. U. Matis,
seit Oktober 2001

aktuelle Tätigkeit: wissenschaftlicher Mitarbeiter der Chirurgischen Tierklinik
der Tierärztlichen Fakultät der LMU München,
Vorstand: Prof. Dr. Dr. habil. U. Matis,