

Aus dem Institut für Tieranatomie  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand:

Prof. Dr. Dr. Dr. habil. F. Sinowatz

Arbeit angefertigt unter der Leitung von  
PD Dr. Sven Reese

**Biomechanische Untersuchungen zur Belastbarkeit  
des Ellbogengelenkes bei Hund, Katze und  
Kaninchen**

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

Vorgelegt von  
Johannes Benjamin Moser  
aus München

München 2010

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. Reese
Koreferent/en:	Univ.-Prof. Dr. Köstlin

Tag der Promotion: 24. Juli 2010

*Für meine Eltern,*

*Inka und Scaramania*

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Literaturübersicht .....	2
2.1.	Anatomie des Ellbogengelenks (Articulatio cubiti) .....	2
2.1.1.	Knöchernen Strukturen .....	2
2.1.1.1.	Humerus .....	3
2.1.1.1.1.	Hund .....	3
2.1.1.1.2.	Katze .....	6
2.1.1.1.3.	Kaninchen .....	8
2.1.1.2.	Radius .....	11
2.1.1.2.1.	Hund .....	11
2.1.1.2.2.	Katze .....	13
2.1.1.2.3.	Kaninchen .....	15
2.1.1.3.	Ulna .....	17
2.1.1.3.1.	Hund .....	17
2.1.1.3.2.	Katze .....	17
2.1.1.3.3.	Kaninchen .....	18
2.1.2.	Gelenkkapsel und Bandapparat .....	19
2.1.2.1.	Hund .....	19
2.1.2.2.	Katze .....	24
2.1.2.3.	Kaninchen .....	28
2.2.	Distorsion / Subluxation / Luxation (Dislokation): .....	32
2.2.1.	Luxatio antebrachii traumatica, Hund .....	32
2.2.2.	Luxatio antebrachii congenitalis, Hund .....	34
2.2.3.	Luxatio antebrachii traumatica, Katze .....	34
2.2.4.	Luxatio antebrachii congenitalis, Katze .....	35
2.2.5.	Luxatio antebrachii traumatica, Kaninchen .....	35
2.2.6.	Luxatio antebrachii congenitalis, Kaninchen .....	36
3	Material und Methoden .....	37
3.1.	Material .....	37
3.1.1.	Datensatzübersicht und makroskopische Untersuchung .....	37
3.1.2.	Hund .....	37
3.1.2.1.	Gestreckte Vordergliedmaße .....	38
3.1.2.2.	90° gebeugte Vordergliedmaße .....	38

## INHALTSVERZEICHNIS

3.1.2.3. Stark gebeugte Vordergliedmaße .....	39
3.1.3. Katze.....	40
3.1.3.1. Gestreckte Vordergliedmaße.....	40
3.1.3.2. 90° gebeugte Vordergliedmaße.....	41
3.1.3.3. Stark gebeugte Vordergliedmaße .....	42
3.1.4. Kaninchen.....	44
3.1.4.1. Gestreckte Vordergliedmaße.....	44
3.1.4.2 90° gebeugte Vordergliedmaße.....	45
3.1.4.3 Stark gebeugte Vordergliedmaße .....	45
3.2. Methode.....	46
3.2.1. Vorbereitung der Probe .....	46
3.2.2. Materialprüfmaschine und Druckuntersuchung.....	48
3.2.3. Befunderhebung an den Versuchsgliedmaßen nach einem Druckversuch .....	54
3.2.4. Statistische Methoden .....	55
4 Ergebnisse .....	56
4.1. Anatomische Verhältnisse bei Fleischfresser und Kaninchen .....	56
4.1.1. Knöcherne Strukturen/ makroskopische Anatomie.....	56
4.1.1.1. Fleischfresser.....	56
4.1.1.2. Kaninchen.....	56
4.1.1.2.1. Humerus .....	56
4.1.1.2.2. Radius.....	57
4.1.1.2.3. Ulna .....	57
4.1.2. Bandapparat Tierart Kaninchen .....	62
4.1.3. Gelenkkapsel Tierart Kaninchen.....	63
4.2. Luxationsversuch .....	64
4.2.1. Hund.....	64
4.2.1.1. Gestrecktes Ellbogengelenk .....	64
4.2.1.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk .....	65
4.2.1.3. Stark gebeugtes Ellbogengelenk .....	65
4.2.2. Katze.....	67
4.2.2.1. Gestrecktes Ellbogengelenk .....	67
4.2.2.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk .....	68
4.2.2.3. Stark gebeugtes Ellbogengelenk .....	68
4.2.3. Kaninchen.....	69
4.2.3.1. Gestrecktes Ellbogengelenk .....	69

## INHALTSVERZEICHNIS

4.2.3.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk .....	70
4.2.3.3. Stark gebeugtes Ellbogengelenk .....	70
4.3. Statistische Auswertung der Daten .....	71
4.3.1. Innertierartlicher Unterschied in der relativen maximalen Belastbarkeit (Fmax in N/kg(KGW)) in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel .....	71
4.3.1.1. Hund .....	72
4.3.1.2. Katze .....	73
4.3.1.3. Kaninchen .....	74
4.3.2. Zwischentierartliche Zusammenhänge zwischen Fmax [N/kg(KGW)] und den einzelnen Gelenkwinkeln .....	75
4.3.2.1. Gestrecktes Ellbogengelenk .....	75
4.3.2.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk .....	77
4.3.2.3. Stark gebeugtes Gelenk .....	79
5 Diskussion .....	81
6 Zusammenfassung .....	89
7 Summary .....	91
8 Literaturverzeichnis .....	92

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> linker Humerus Hund. Kraniolaterale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus, Radius und Ulna, Hund, kraniale Ansicht.....	4
<b>Abbildung 2:</b> Linker Humerus Hund. Kraniomediale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus, Radius und Ulna, Hund, kraniomediale Ansicht.....	5
<b>Abbildung 3:</b> Linker Humerus Katze. Kraniolaterale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus einer Katze, kraniale Ansicht. ....	7
<b>Abbildung 4:</b> Linker Humerus Katze. Kraniomediale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus Katze, kaudale Ansicht.....	8
<b>Abbildung 5:</b> Humerus Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), kraniale und kaudale Ansicht .....	10
<b>Abbildung 6:</b> Humerus Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), laterale und mediale Ansicht .....	10
<b>Abbildung 7:</b> Linkes Unterarmskelett, Hund. Kraniolaterale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus, Radius und Ulna, laterale Ansicht.....	12
<b>Abbildung 8:</b> Linkes Unterarmskelett Katze, kraniolaterale Ansicht., aus Nickel et al. 1992a und linker Radius und Ulna, Katze .....	14
<b>Abbildung 9:</b> Unterarmknochen Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), kraniale und kaudale Ansicht .....	16
<b>Abbildung 10:</b> Unterarmknochen Kaninchen, Baron und Pavaux (1973), laterale und mediale Ansicht .....	16
<b>Abbildung 11:</b> Ellbogengelenk Katze, Lateralansicht links und Medialansicht rechts, aus Vollmerhaus und Waibl (1994b).....	25
<b>Abbildung 12:</b> Ellbogengelenk Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), mediale Ansicht	29
<b>Abbildung 13:</b> Ellbogengelenk Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), kraniale und laterale Ansicht.....	30
<b>Abbildung 14:</b> Standzylinder mit den Distanzscheiben auf der Kugellagerfläche der Z010...	49
<b>Abbildung 15:</b> Aluminiumbecher mit eingestecktem Standzylinder.....	50
<b>Abbildung 16:</b> Vordergliedmaßenpräparat in gestreckter Gelenkwinkelung eingespannt.....	51
<b>Abbildung 17:</b> Vordergliedmaßenpräparat in 90° gebeugter Gelenkwinkelung eingespannt	52
<b>Abbildung 18:</b> Vordergliedmaßenpräparat bei stark gebeugtem Winkel eingespannt.....	53
<b>Abbildung 19:</b> Typischer Kurvenverlauf für die Testserie bei 90° gebeugtem Ellbogengelenk .....	54

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 20: Kraniale und laterale Ansicht von linkem Humerus, Radius und Ulna, Kaninchen.....	58
<b>Abbildung 21:</b> Kraniale Ansicht, Condylus humeri und kaudale Ansicht, Condylus humeri, Kaninchen.....	59
<b>Abbildung 22:</b> Proximale Ansicht der Fovea capitis, linker Radius und rechter Radius, kranial, Kaninchen .....	60
<b>Abbildung 23:</b> Rechte Ulna und mediale Ansicht, linker Humerus, Radius und Ulna, Kaninchen.....	61
Abbildung 24: Ligamentum olecrani .....	63
<b>Abbildung 25:</b> mediale Kollateralbandüberdehnung an getesteter und präparierter Gliedmaße. ....	66
<b>Abbildung 26:</b> Überblick über die Fmax-Werte bei den unterschiedlichen Testwinkeln bei der Tierart Hund. Linien = Mediane. ....	72
<b>Abbildung 27:</b> Überblick über die Fmax-Werte bei den unterschiedlichen Testwinkeln bei der Tierart Katze. Linien = Mediane. ....	73
<b>Abbildung 28:</b> Überblick über die Fmax- Werte bei den unterschiedlichen Testwinkeln bei der Tierart Kaninchen. Linien = Mediane. ....	74
<b>Abbildung 29:</b> Überblick über die Fmax-Mediane bei den drei Tierarten im gestreckten Gelenk. Linien = Mediane.....	76
<b>Abbildung 30:</b> Intertierartlicher Überblick über die Fmax-Mediane bei den drei Tierarten im 90° gebeugten Gelenk. Linien = Mediane.....	77
<b>Abbildung 31:</b> Überblick über die Fmax-Mediane bei den drei Tierarten im stark gebeugten Gelenk. Linien = Mediane.....	79
<b>Abbildung 32:</b> distaler Humerus bei Hund, Katze und Kaninchen, vergleichend.....	86
Abbildung 33: Humerus, Radius und. Ulna, Kaninchen. Kraniale Ansicht.....	87

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchstierdaten gestreckte Vordergliedmaße Hund.....	38
Tabelle 2: Versuchstierdaten 90° gebeugte Vordergliedmaße Hund.....	39
Tabelle 3: Versuchstierdaten stark gebeugte Vordergliedmaße Hund.....	40
Tabelle 4: Versuchstierdaten gestreckte Vordergliedmaße Katze .....	41
Tabelle 5: Versuchstierdaten 90 ° gebeugte Vordergliedmaße Katze.....	42
Tabelle 6: Versuchstierdaten stark gebeugte Vordergliedmaße Katze .....	43
Tabelle 7: Versuchstierdaten gestreckte Vordergliedmaße Kaninchen .....	44
Tabelle 8: Versuchstierdaten 90 ° gebeugte Vordergliedmaße Kaninchen.....	45
Tabelle 9: Versuchstierdaten stark gebeugte Vordergliedmaße Kaninchen .....	46
Tabelle 10: Überblick über festgestellte Schäden bei gestreckten Ellbogengelenken bei 20 Hundevordergliedmaßenpräparaten .....	64
Tabelle 11: Überblick über festgestellte Schäden bei 90° gebeugten Ellbogengelenken bei 12 Hundevordergliedmaßenpräparaten .....	65
Tabelle 12: Überblick über festgestellte Schäden bei stark gebeugten Ellbogengelenken bei 10 Hundevordergliedmaßenpräparaten .....	65
Tabelle 13: Überblick über festgestellte Schäden an gestreckten Ellbogengelenken bei 15 Katzenvordergliedmaßenpräparaten.....	67
Tabelle 14: Überblick über festgestellte Schäden bei 90° gebeugten Ellbogengelenken bei 18 Katzenvordergliedmaßenpräparaten.....	68
Tabelle 15: Überblick über festgestellte Schäden bei stark gebeugten Ellbogengelenken bei 15 Katzenvordergliedmaßenpräparaten.....	68
Tabelle 16: Überblick über festgestellte Schäden bei gestreckten Ellbogengelenken bei 18 Kaninchenvordergliedmaßenpräparaten.....	69
Tabelle 17: Überblick über festgestellte Schäden bei 90° gebeugten Ellbogengelenken bei 12 Kaninchenvordergliedmaßenpräparaten.....	70
Tabelle 18: Überblick über festgestellte Schäden bei stark gebeugten Vordergliedmaßen bei 10 Kaninchenvordergliedmaßenpräparaten.....	70
Tabelle 19: Überblick zwischen Fmax (Gelenkwinkel) und Signifikanz (Fmax) bei der Tierart Hund .....	72
Tabelle 20: Überblick zwischen Fmax (Gelenkwinkel) und Signifikanz (Fmax) bei der Tierart Katze.....	73
Tabelle 21: Überblick zwischen Fmax (Gelenkwinkel) und Signifikanz (Fmax) bei der Tierart Kaninchen.....	74

## TABELLENSVERZEICHNIS

Tabelle 22: Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax) bei gestreckten Gelenken .....	75
Tabelle 23: Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax) bei 90 ° gebeugten Gelenken.....	78
Tabelle 24: Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax) bei stark gebeugten Gelenken .....	80

## Abkürzungsverzeichnis

Art.	Articulatio
cm	Zentimeter
dist.	distal
For.	Foramen
geb.	gebeugt
gestr.	gestreckt
° C	Grad Celsius
Inc.	Incisura
kg	Kilogramm
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
mm	Millimeter
Mm.	Musculi
Proc.	Processus (singular)
Procc.	Processus (plural)
prox.	proximal

# 1 Einleitung

Im klinischen Alltag werden Tiere mit traumatischen Ellbogengelenkluxationen regelmäßig vorgestellt. Die Häufigkeit des Auftretens, die Luxationsform, die Luxationsrichtung und die entstandenen Schadensbilder unterscheiden sich bei Hund, Katze und Kaninchen nach klinischen Erfahrungen deutlich. Die genaue Pathogenese, die zu einer Ellbogengelenkluxation führt, konnte bisher bei diesen Tierarten nicht genau geklärt werden. Des Weiteren wurden bisher noch keine Untersuchungen vorgenommen, warum dieses Schadensbild bei diesen Tierarten in unterschiedlicher Häufigkeit auftritt. Ursächlich für traumatische Ellbogengelenkluxationen werden Autounfälle, Stürze aus großer Höhe oder das Springen über eine Hürde beschrieben. Zumindest bei den Tierarten Katze und Kaninchen kann ein Sturztrauma als die häufigste Ursache angesehen werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen biomechanischen Versuchsaufbau zu erstellen, der die Belastung des Ellbogengelenks in den verschiedenen Phasen eines Sturztraumas simuliert. Mit Hilfe dieses Versuchsaufbaus soll gezeigt werden, wie hoch die Belastbarkeit der Ellbogengelenke ist und welche Schadensbilder dabei auftreten.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1. Anatomie des Ellbogengelenks (*Articulatio cubiti*)

Nach der *Nomina Anatomica Veterinaria* (NAV, 2005) besteht das Ellbogengelenk (*Art. cubiti*) tierartlich unabhängig aus einer *Art. humeroulnaris* und einer *Art. humeroradialis*, die von einer gemeinsamen Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) umschlossen werden. Zu dem Bandapparat werden das *Ligamentum collaterale cubiti mediale*, das *Ligamentum collaterale cubiti laterale* und das *Ligamentum olecrani* gezählt. Das Ellbogengelenk ist ein zusammengesetztes, synoviales Gelenk, in dem der *Condylus humeri* mit der *Incisura trochlearis ulnae* einerseits und andererseits mit dem *Caput radii* artikuliert, woraus sich die *Art. humeroulnaris* und die *Art. humeroradialis* ableiten (Berg 1992a, Evans 1993, Horne und Craigie 1957/1960, König 1992, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994a). Nicht zum Ellbogengelenk (*Art. cubiti*) wird das zwischen der *Circumferrentia articularis radii* und der *Incisura radialis ulnae* ausgebildete proximale Radioulnargelenk gezählt. Dieses ist ein Zapfengelenk (*Art. trochoidea*) und ermöglicht bei Hund und Katze, im Zusammenspiel mit der *Art. radioulnaris distalis* und dem zugehörigen Bandapparat, Rotationsbewegungen des Unterarmes (Roos 1989, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994b). Beim Kaninchen werden Rotationsbewegungen des Unterarmes durch *Ligg. interossea*, die eine feste Verbindung von Radius und Ulna bewirken, verhindert und der Unterarm in Pronationsstellung fixiert (Horne und Craigie 1957/1960). Das Ellbogengelenk ist der Form der Gelenkenden nach ein Walzengelenk (*Art. condylaris*) und gehört innerhalb dieser Gruppe zu den Scharniergelenken (*Ginglymus*). Das Gelenk ist funktionell ein Wechselgelenk, das nur Beugung und Streckung ermöglicht. Die Drehachse verläuft in der Achse der Gelenkwalze und die Beuge- und Streckbewegungen erfolgen in einer senkrechten Ebene zu dieser. Der Zwangslauf des Gelenks wird durch senkrecht zur Drehachse des Gelenks ausgerichtete Führungskämme mit zugehörigen Führungsrinnen sowie durch kräftige Seitenbänder bedingt (Horne und Craigie 1957/1960, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008b).

#### 2.1.1. Knöchernen Strukturen

An der Bildung des Ellbogengelenks sind als knöchernen Strukturen das distale Endstück des Humerus und die proximalen Anteile von Radius und Ulna beteiligt.

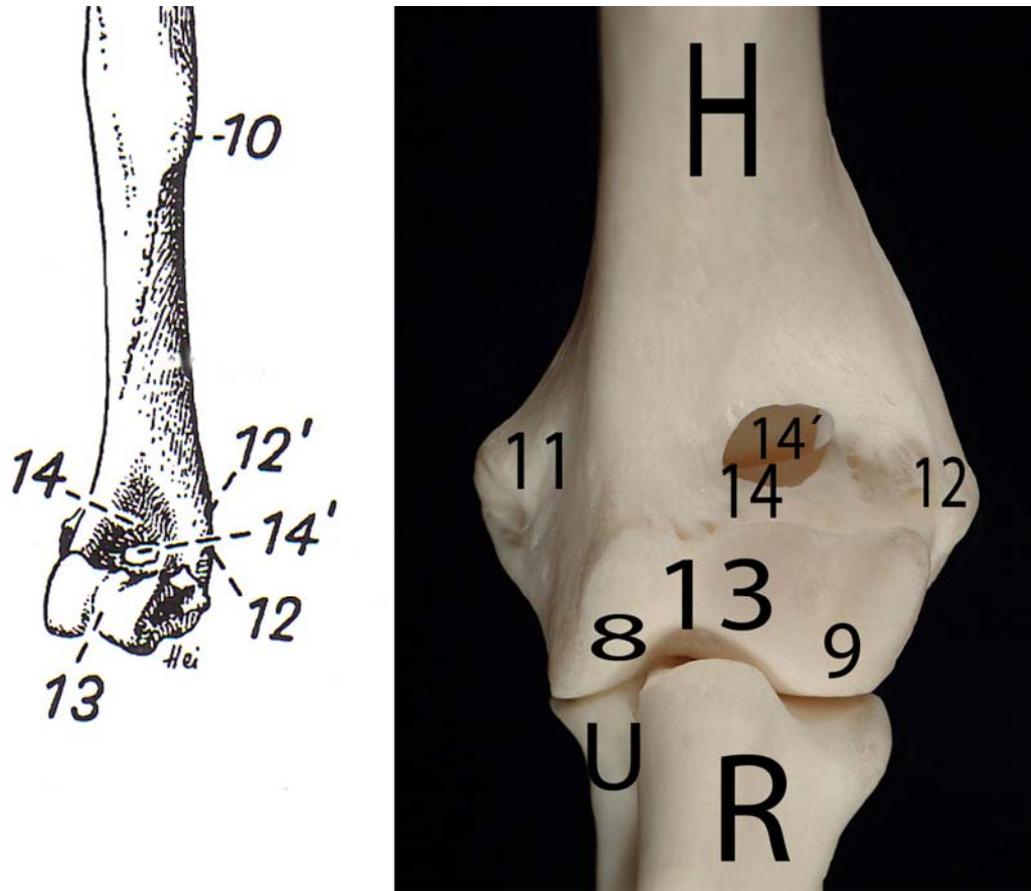
## 2.1.1.1. Humerus

### 2.1.1.1.1. Hund

Das distale Ende des Humerus wird von dem Gelenkknorrn (Condylus humeri) (Abb. 1, 2) gebildet. Dieser unterteilt sich in einen kleineren lateralen und größeren medialen Gelenkflächenanteil (Evans und deLahunta 1980, Evans 1993, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008b). Der laterale Anteil artikuliert als Köpfchen (Capitulum humeri) mit der Fovea articularis radii (Abb. 1) und somit nur mit dem Radius (Evans und deLahunta 1980). Der mediale Anteil, die Gelenkrolle (Trochlea humeri), artikuliert mit der Incisura trochlearis ulnae (Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994a). An der lateralen und medialen Seitenfläche des Gelenkknorrens (Condylus humeri) befinden sich gut ausgebildete Bandhöcker und schwächer ausgebildete Bandgruben für den Ursprung der Seitenbänder des Ellbogengelenks (Evans und deLahunta 1980, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Das kaudolaterale Ende des Gelenkknorrens (Condylus humeri) bildet der kleinere laterale Muskelknorren (Epicondylus lateralis) (Abb. 1), der auch als Streckknorren bezeichnet wird (Evans und deLahunta 1980, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a), weil dieser als Ursprung für die Streckmuskeln am Unterarm dient (Evans und deLahunta 1980, Evans 1993, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Kaudomedial wird der Gelenkknorren von dem größeren medialen Muskelknorren (Epicondylus medialis) (Abb. 1, 2) begrenzt. Dieser ist Ursprungsfläche für die Beugemuskeln des Unterarmes und wird auch als Beugeknorren bezeichnet (Evans und deLahunta 1980, Evans 1993, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). An der kranialen Fläche der Gelenkwalze (Trochlea), zwischen den beiden Epikondylen, liegt proximal die Fossa radialis (Abb. 1, 2). Diese hat bei Beugung des Gelenks Kontakt mit der Speiche (Radius). Eine Fossa coronoidea fehlt dem Hund, da der Processus coronoideus der Ulna keinen Kontakt mit der Fossa radialis bei Beugung des Ellbogengelenks hat (Evans 1993). An der kaudalen Fläche der Gelenkwalze (Trochlea) ist die Fossa olecrani ausgebildet. Diese nimmt in gestreckter Stellung des Ellbogengelenks den Hakenfortsatz (Processus anconaeus) der Ulna auf (Evans 1993, Salomon 2008a). Das Foramen supratrochleare (Abb. 1, 2) verbindet bei den meisten Hunderassen die Fossa radialis mit der gegenüberliegenden Fossa olecrani (Evans und deLahunta 1980, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a) und kann bei kleinen Hunden (Salomon 2008a), also bei kleineren Oberarmbeinen (Evans 1993) sowie typischer Weise beim Dachshund (Vollmerhaus et al. 1994a) fehlen. Proximal schließt sich dem Gelenkknorren (Condylus humeri) der schlankere Humerusschaft (Corpus humeri) an. Dieser ist im Mittelteil fast drehrund und nur durch die

## LITERATURÜBERSICHT

Crista supracondylaris lateralis und die Crista humeri modelliert. Diese schließen den Sulcus musculi brachialis ein (Vollmerhaus et al. 1994a).



**Abbildung 1:** linker Humerus Hund. Kraniolaterale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus, Radius und Ulna, Hund, kraniale Ansicht.

Legende für Abb. 1:

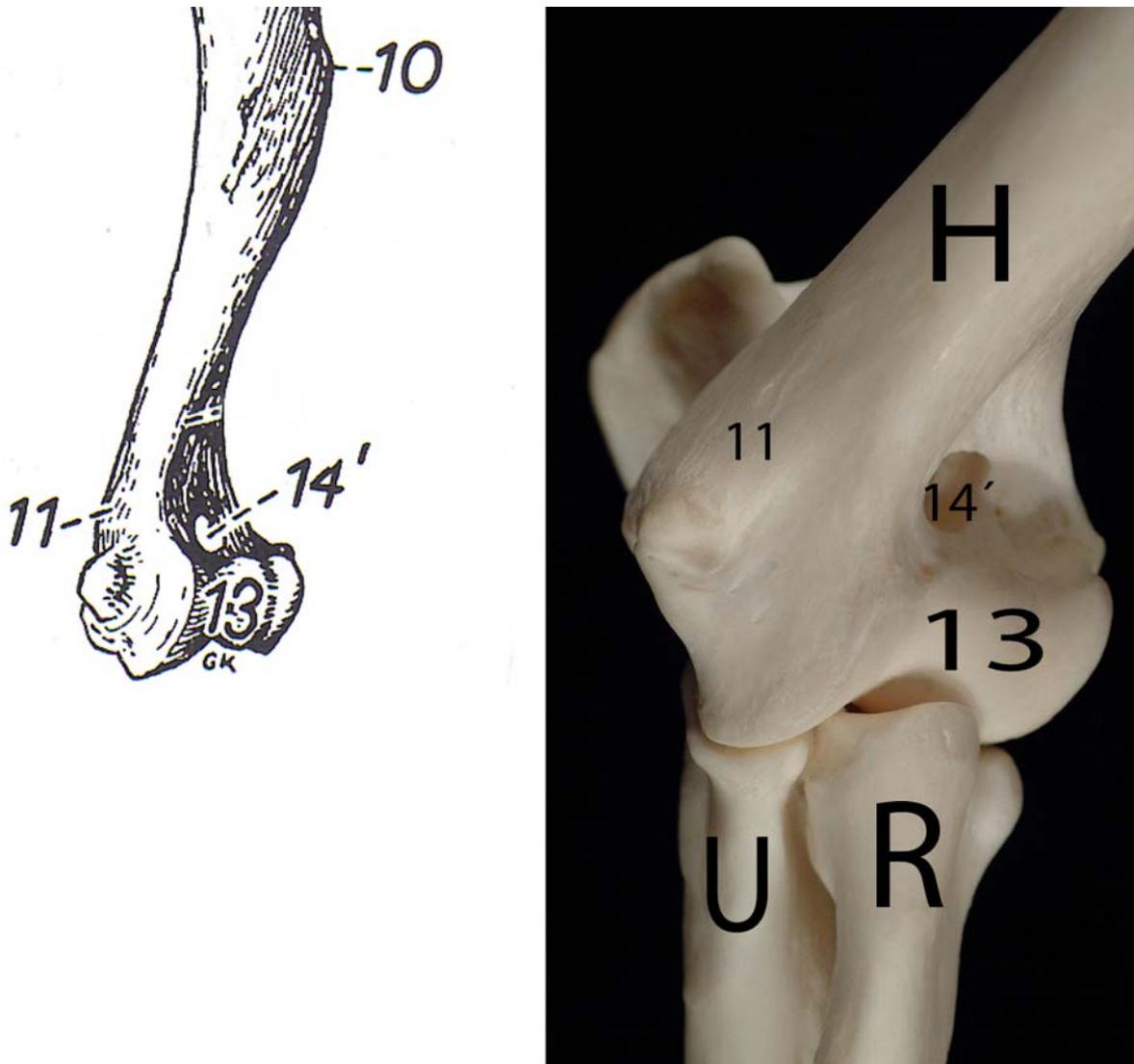
H = Humerus, R = Radius, U = Ulna.

8 Trochlea humeri 9 Capitulum, 10 Tuberositas deltoidea, 11 Epicondylus medialis, 12 Epicondylus lateralis, 12' Crista supracondylaris lateralis, 13 Condylus, 14 Fossa radialis, 14' Foramen supra-trochleare

Der Humerusschaft ist in der Längsachse verdreht, so dass die Querachsen des Oberarmbein-gelenkkopfes (Caput humeri) und des Gelenkknorrens (Condylus humeri) einen nach lateral offenen Winkel von  $15^\circ$  bilden. Die Querachse des Condylus humeri und Corpus humeri stehen senkrecht zueinander (Vollmerhaus et al. 1994a). Eine Ausnahme bildet das Ellbogen-gelenk des Dackels, denn bei diesem ist die Querachse des Gelenkknorrens (Condylus) um  $10^\circ$  nach dorsolateral verschoben. Die Folge ist, dass bei dieser Rasse dadurch ein Schrau-

## LITERATURÜBERSICHT

bengelenk (Art. cochlearis) entsteht, das bei Gelenkbeugung zu einer Auswärtsbewegung von  $15^\circ$  führt (Maierl 2003, Vollmerhaus et al. 1983).



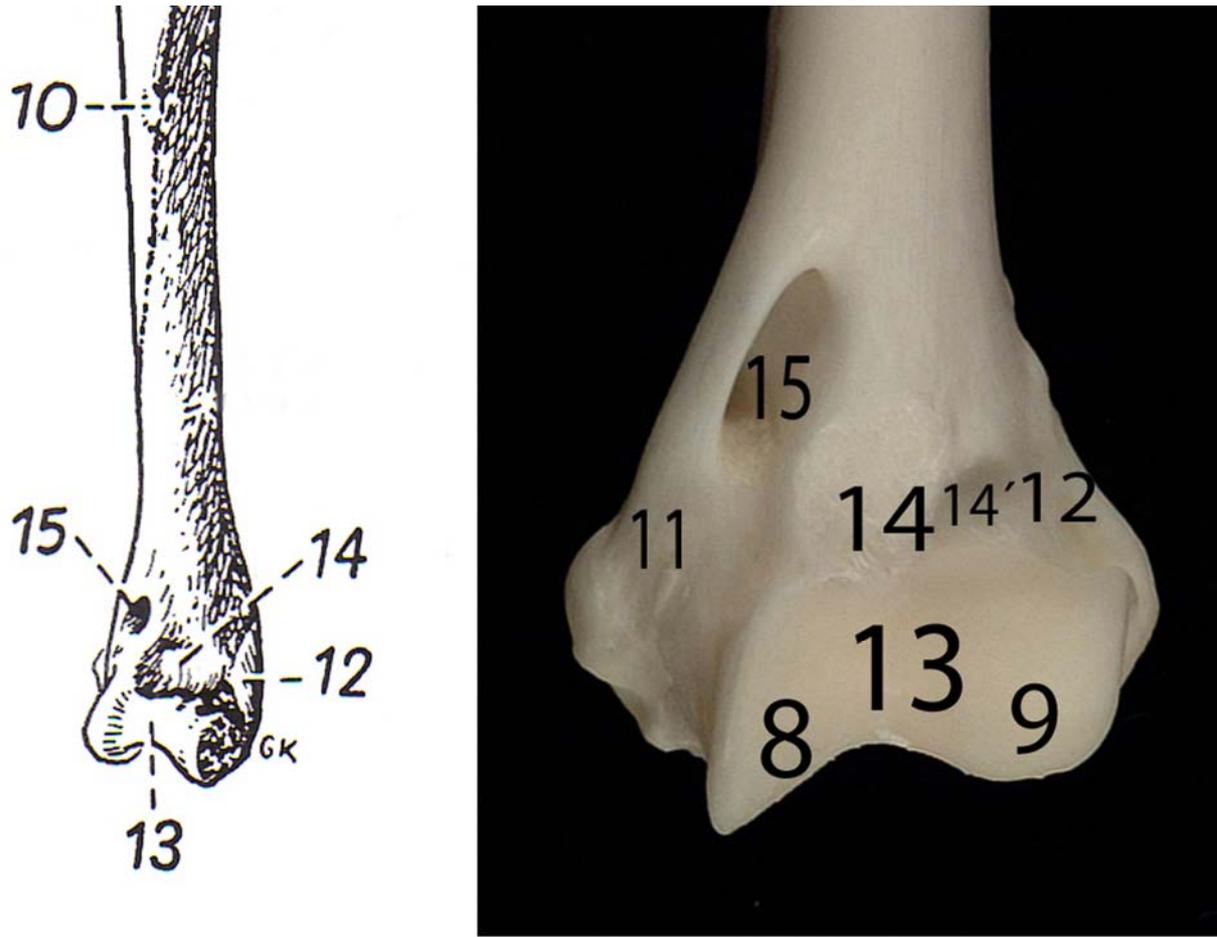
**Abbildung 2:** Linker Humerus Hund. Kraniomediale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus, Radius und Ulna, Hund, kraniomediale Ansicht.

Legende für Abb. 2:

H = Humerus, R = Radius, U = Ulna. 10 Tuberositas deltoidea, 11 Epicondylus medialis, 13 Condylus, 14' Foramen supratrochleare

**2.1.1.1.2. Katze**

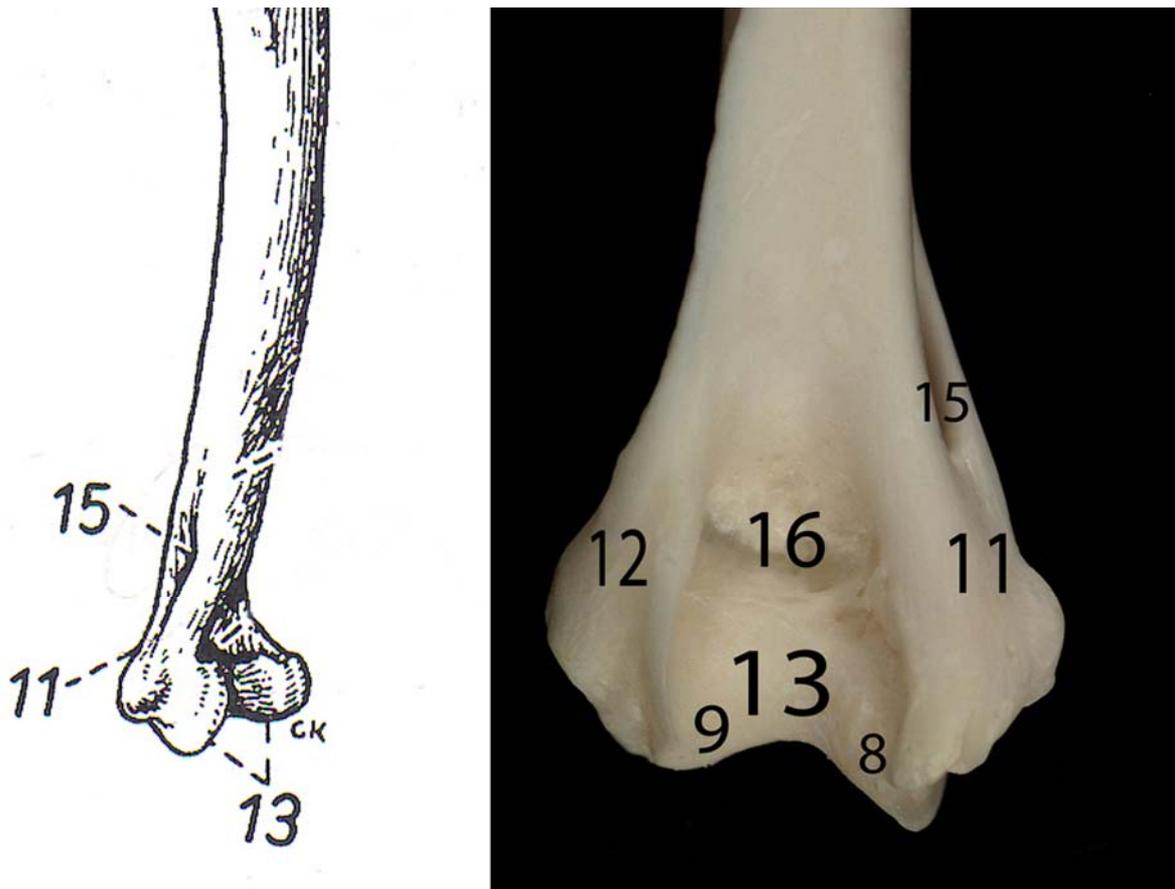
Das distale Ende des Humerus wird von dem Gelenkknorrn (Condylus humeri) (Abb. 3, 4) gebildet. Dieser unterteilt sich in einen kleineren lateralen und größeren medialen Gelenkflächenanteil (König 1992, Mc Clure et al. 1973, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Der laterale Anteil artikuliert als Köpfchen (Capitulum humeri) (Abb. 3, 4) mit der Fovea articularis radii und der mediale Anteil, die Gelenkrolle (Trochlea humeri), mit der Incisura trochlearis ulnae (König 1992, Vollmerhaus et al. 1994a). An der lateralen und medialen Seitenfläche des Gelenkknorrens befinden sich gut ausgebildete Bandhöcker und schwach angedeutete Bandgruben für den Ursprung der Seitenbänder des Ellbogengelenks (König 1992, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Das kaudolaterale Ende des Condylus humeri bildet der kleinere laterale Muskelknorrn (Epicondylus lateralis) (Abb. 3, 4), der auch als Streckknorrn bezeichnet wird und den Streckmuskeln des Unterarmes als Ursprung dient (DeLahunta und Habel 1986, König 1992, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Kaudomedial wird der Condylus humeri von dem größeren medialen Muskelknorrn (Epicondylus medialis) (Abb. 3) begrenzt. Dieser ist Ursprungsfläche für die Beugemuskeln des Unterarmes (DeLahunta und Habel 1986, König 1992, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). An der kranialen Fläche der Gelenkwalze (Trochlea) liegt proximal, zwischen den Epikondylen, die Fossa radialis und medial von dieser die Fossa coronoidea. Die Fossa radialis hat bei maximaler Beugung des Gelenks Kontakt mit der Speiche (Radius) und die Fossa coronoidea mit dem medialen Kronfortsatz (Processus coronoideus medialis) der Ulna (DeLahunta und Habel 1986, Mc Clure et al. 1973, Vollmerhaus et al. 1994a). An der kaudalen Fläche der Trochlea ist die Fossa olecrani ausgebildet (Abb. 4). Diese nimmt in gestreckter Stellung des Ellbogengelenks den Hakenfortsatz (Processus anconaeus) der Ulna auf (Mc Clure et al. 1973, Salomon 2008a). Das Foramen supratrochleare, das bei den meisten Hunderassen die Fossa radialis mit der gegenüberliegenden Fossa olecrani verbindet, fehlt der Katze (Nickel et al. 1992a, Vollmerhaus et al. 1994a). Über dem Epicondylus medialis besitzt die Katze ein spaltförmiges Foramen supracondylare (Abb. 3, 4), durch das der Nervus medianus und die Arteria brachialis ziehen (König 1992, Mc Clure et al. 1973, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Proximal schließt sich dem Gelenkknorrn (Condylus humeri) der schlankere Humerusschaft (Corpus humeri) an. Dieser ist im Mittelteil fast drehrund und nur durch die Crista supracondylaris lateralis und die Crista humeri modelliert. Diese schließen den Sulcus musculi brachialis ein (Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a).



**Abbildung 3:** Linker Humerus Katze. Kraniolaterale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus einer Katze, kraniale Ansicht.

Legende zu Abb. 3:

8 Trochlea, 9 Capitulum, 10 Tuberositas deltoidea, 11 Epicondylus medialis, 12 Epicondylus lateralis, 13 Condylus, 14 Fossa radialis, 14' Fossa coronoidea, 15 Foramen supracondylare.



**Abbildung 4:** Linker Humerus Katze. Kranio-mediale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus Katze, kaudale Ansicht.

Legende für Abb. 4:

8 Trochlea, 9 Capitulum, 11 Epicondylus medialis, 12 Epicondylus lateralis, 13 Condylus, 14 Fossa olecrani, 15 Foramen supracondylare, 16 Fossa olecrani.

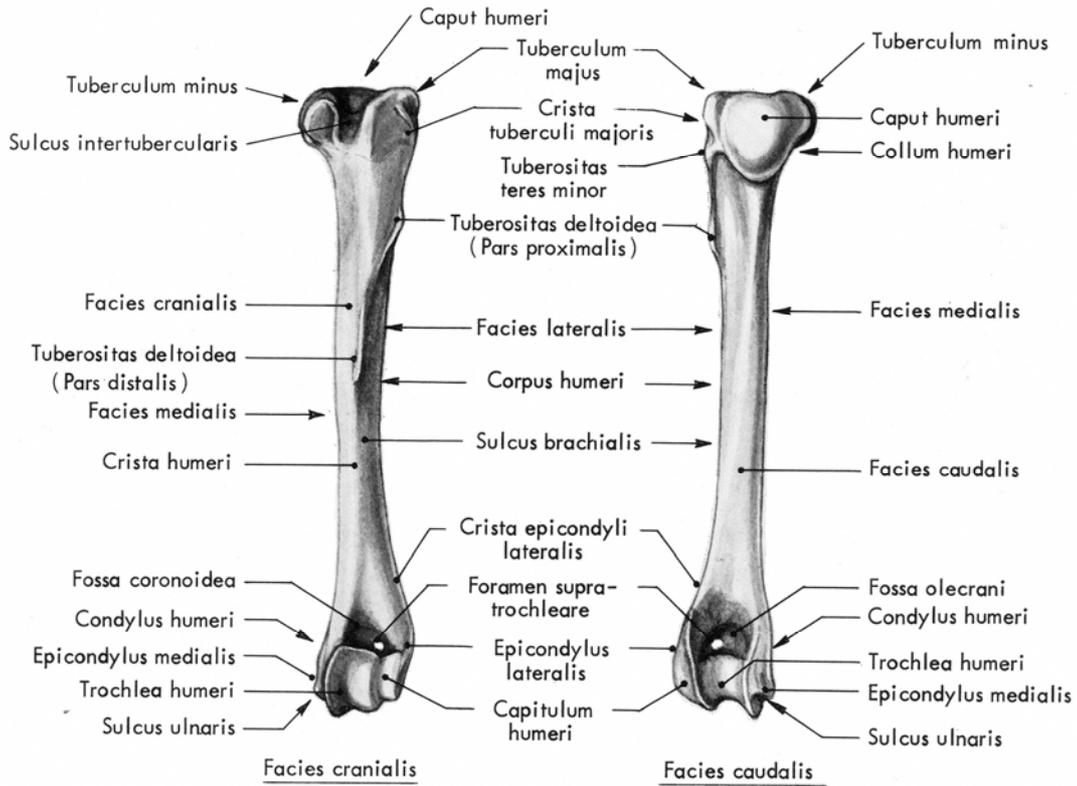
### 2.1.1.1.3. Kaninchen

Das distale Ende des Humerus besteht aus dem Condylus, der eine gerillte Gelenkfläche darstellt. Die Gelenkfläche besteht aus einem medialen Anteil, der Trochlea humeri, und einem lateralen Anteil, dem Capitulum humeri (Abb. 5, 6) (Barone et al. 1973, Horne und Craigie 1957/1960). Die Trochlea artikuliert sowohl mit dem Radius, als auch mit Teilen der Ulna. Das Capitulum, das lateral gelegen ist, artikuliert nur mit dem Radius (Horne und Craigie 1957/1960). Dies erinnert an die Verhältnisse, die man beim Fleischfresser vorfindet. Doch unterscheiden sich die Artikulationsverhältnisse zwischen Kaninchen und Fleischfresser in der Hinsicht, dass beim Fleischfresser die Trochlea ausschließlich mit der Ulna und das Capitulum nur mit der Gelenkfläche des Radiuskopfes artikulieren (Salomon 2008a,

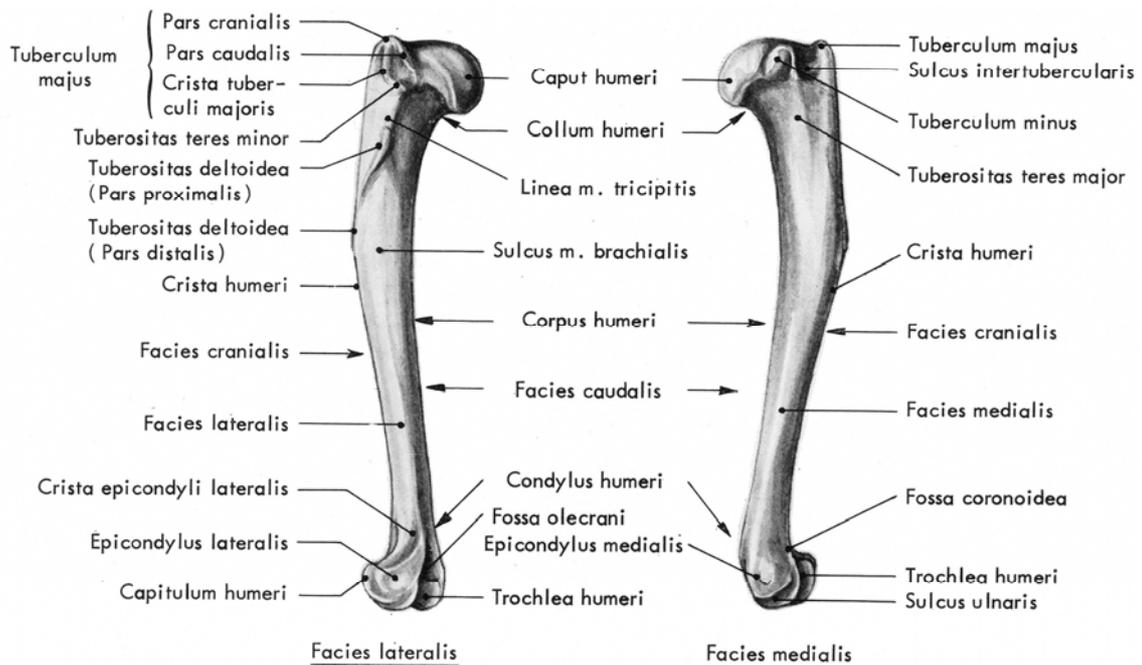
## LITERATURÜBERSICHT

Vollmerhaus et al. 1994a). Die Trochlea beim Kaninchen ist medial durch eine scharfe Rollkante abgegrenzt (Abb. 5, 6). An der lateralen und medialen Seitenfläche der Trochlea befinden sich der laterale Epikondylus und der stärker ausgebildete mediale Epikondylus (Berg 1992b, Gruber 1995, Horne und Craigie 1957/1960). Zwischen dem Epicondylus medialis und der Trochlea liegt der Sulcus ulnaris (Abb. 5, 6) (Barone et al. 1973, Berg 1992b, Gruber 1995). Wie beim Fleischfresser entspringen die Streckmuskeln des Unterarmes am Epicondylus lateralis und die Beugemuskeln am Epicondylus medialis (Horne und Craigie 1957/1960). Horne und Craigie (1957/1960) beschreiben das Capitulum als eine Gelenkfläche, die sich lateral der Trochlea befindet. Berg (1992c) beschreibt das Capitulum als distale Fortsetzung des lateralen Epikondylus. Diese Sichtweise von Berg (1992c) ist nicht konform mit der Definition der NAV 2005, in der der Condylus humeri als komplettes distales Humerusendstück, ausgenommen der Epikondylen, beschrieben ist. Proximokranial der Trochlea, zwischen den Epikondylen, befindet sich die Fossa radialis und dieser gegenüber an der kaudalen Seite die Fossa olecrani (Berg 1992b, Horne und Craigie 1957/1960). Die Fossa radialis wird von Berg 1992c auch als Fossa coronoidea bezeichnet. Dies begründet er mit der Tatsache, dass der Proc. coronoideus radii, der beim Kaninchen im Unterschied zum Fleischfresser ausgebildet ist, bei Beugung des Gelenks in der Fossa radialis zu liegen kommt. Das Foramen supratrochleare (Abb. 5), das die Fossa radialis mit der Fossa olecrani verbindet, wird als ein meist ausgebildetes Foramen (Berg 1992c) mit variabler Größe beschrieben (Berg 1992b, Horne und Craigie 1957/1960). Nach proximal schließt sich dem distalen Endstück des Humerus der schlankere Humerusschaft (Corpus humeri) an. Dieser ist durch eine rasch verstreichende Crista epicondyli lateralis und die Crista humeri modelliert (Abb. 6). Diese schließen den schwach ausgebildeten Sulcus musculi brachialis ein (Barone et al. 1973, Berg 1992c).

## LITERATURÜBERSICHT



**Abbildung 5:** Humerus Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), kraniale und kaudale Ansicht



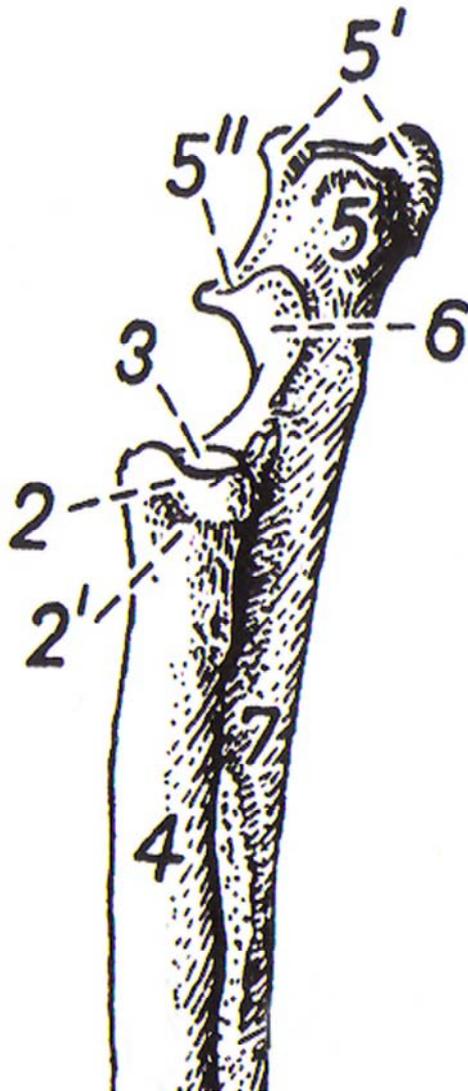
**Abbildung 6:** Humerus Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), laterale und mediale Ansicht

## 2.1.1.2. Radius

### 2.1.1.2.1. Hund

Die Speiche (Radius) verläuft in der Pronationsstellung des Unterarmes von proximolateral nach distomedial (Vollmerhaus et al. 1994a) als schlanke, mäßig kranial durchgebogene Röhre, deren distales Ende (Trochlea radii) breiter ist als die proximale Epiphyse (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Der Radius ist im Längenverhältnis zur Ulna kürzer (Evans und deLahunta 1980, Evans 1993, Salomon 2008a). Der Radiuskopf ist queroval geformt und deutlich vom Radiuschaft durch das Collum radii abgesetzt. An diesem befindet sich eine Gelenkfläche, die Fovea articularis (Abb. 7) (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Diese dient zur Artikulation des Capitulum humeri mit dem Radiuskopf (Evans und deLahunta 1980) in der Art. humeroradialis. Am kaudalen Rand des Radiuskopfes befindet sich eine konvexe, halbzyklindrische Gelenkfläche, die Circumferentia articularis (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Diese verbindet den Radius mit der passenden Gegenfläche der Ulna, der Incisura radialis ulnae, und bildet so die knöcherne Grundlage für das proximale Radioulnargelenk (Vollmerhaus et al. 1994a).

Lateral und medial des Radiuskopfes sind Bandhöcker für den Ansatz der Seitenbänder des Ellbogengelenks ausgebildet (Salomon 2008a). Der laterale Bandhöcker ist stärker ausgebildet als der mediale Bandhöcker. Der mediale Bandhöcker liegt im Bereich der Tuberositas radii, einer Rauigkeit zum Ansatz des Musculus biceps brachii (Evans und deLahunta 1980, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Nach distal schließt sich der Radiuschaft an. Dieser hat im proximalen Drittel des Radiuschaftes Kontakt mit der Ulna. In diesem Bereich ist der Radiuschaft angeraut (Nickel et al. 1992a).



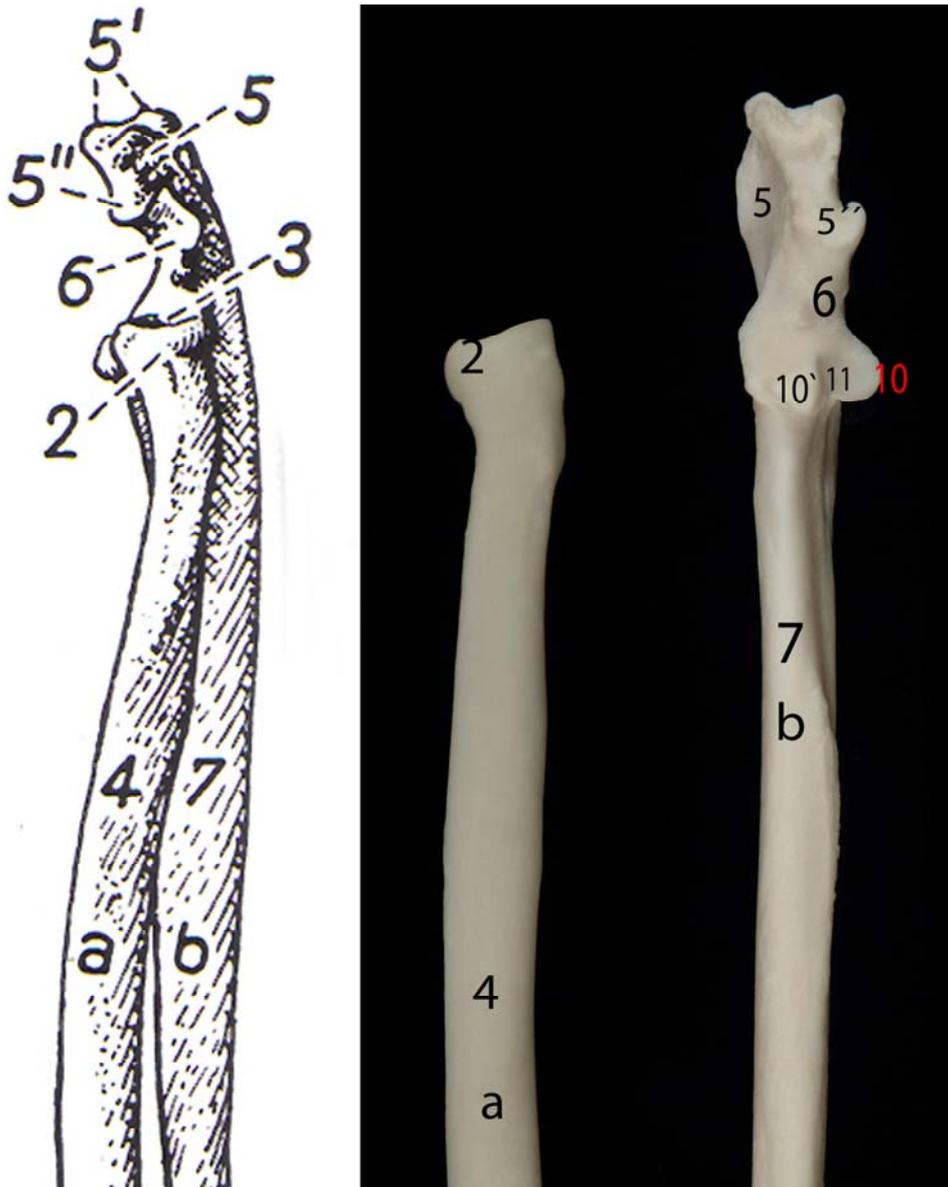
**Abbildung 7:** Linkes Unterarmskelett, Hund. Kraniolaterale Ansicht, aus Nickel et al. 1992a und linker Humerus, Radius und Ulna, laterale Ansicht.

Legende zu Abb. 7:

H = Humerus, R = Radius, U = Ulna 2 Caput radii, 2' Collum radii, 3 Fovea capitis radii, 4 Corpus radii, 5 Olecranon, 5' Tuber olecrani, 5'' Processus anconaeus, 6 Incisura trochlearis, 7 Corpus ulnae, 10 Processus coronoideus lateralis, 14' Foramen supratrochleare.

### 2.1.1.2.2. Katze

Die Speiche (Radius) verläuft in der Pronationsstellung des Unterarmes von proximolateral nach distomedial (Vollmerhaus et al. 1994a) als schlanke mäßig kranial durchgebogene Röhre, deren distales Ende (Trochlea radii) breiter ist als die proximale Epiphyse (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Die Speiche ist im Längenverhältnis zur Elle kürzer (Salomon 2008a). Der Radiuskopf ist queroval geformt und deutlich vom Radiuschaft durch das Collum radii abgesetzt. An diesem befindet sich eine Gelenkfläche, die Fovea articularis (Abb. 8) (König 1992, Mc Clure et al. 1973, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Diese dient zur Artikulation von dem Capitulum humeri mit dem Radiuskopf in der Art. humeroradialis. Am kaudalen Rand des Radiuskopfes befindet sich eine konvexe, halbzyklindrische Gelenkfläche, die Circumferrentia articularis (Mc Clure et al. 1973, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a), die bei der Katze auch bis zum medialen Rand reicht (Vollmerhaus et al. 1994a). Diese verbindet den Radius mit der passenden konkaven Gegenfläche der Ulna (König 1992, Salomon 2008a), der Incisura radialis ulnae, und bildet so die knöcherne Grundlage für das proximale Radioulnargelenk (Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994a). Lateral und medial des Radiuskopfes sind Bandhöcker für den Ansatz der Seitenbänder des Ellbogengelenks ausgebildet (Salomon 2008a). Der laterale Bandhöcker ist stärker ausgebildet als der mediale Bandhöcker. Der mediale Bandhöcker liegt im Bereich der Tuberositas radii, weiter kaudal als beim Hund, und bietet dem Musculus biceps brachii Ansatz (Nickel et al. 1992a, Roos 1989, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Distal schließt sich der Radiuschaft an. Dieser hat im proximalen Drittel Kontakt mit der Ulna und ist in diesem Bereich fast glatt (Nickel et al. 1992a).



**Abbildung 8:** Linkes Unterarmskelett Katze, kranio-laterale Ansicht., aus Nickel et al. 1992a und linker Radius und Ulna, Katze

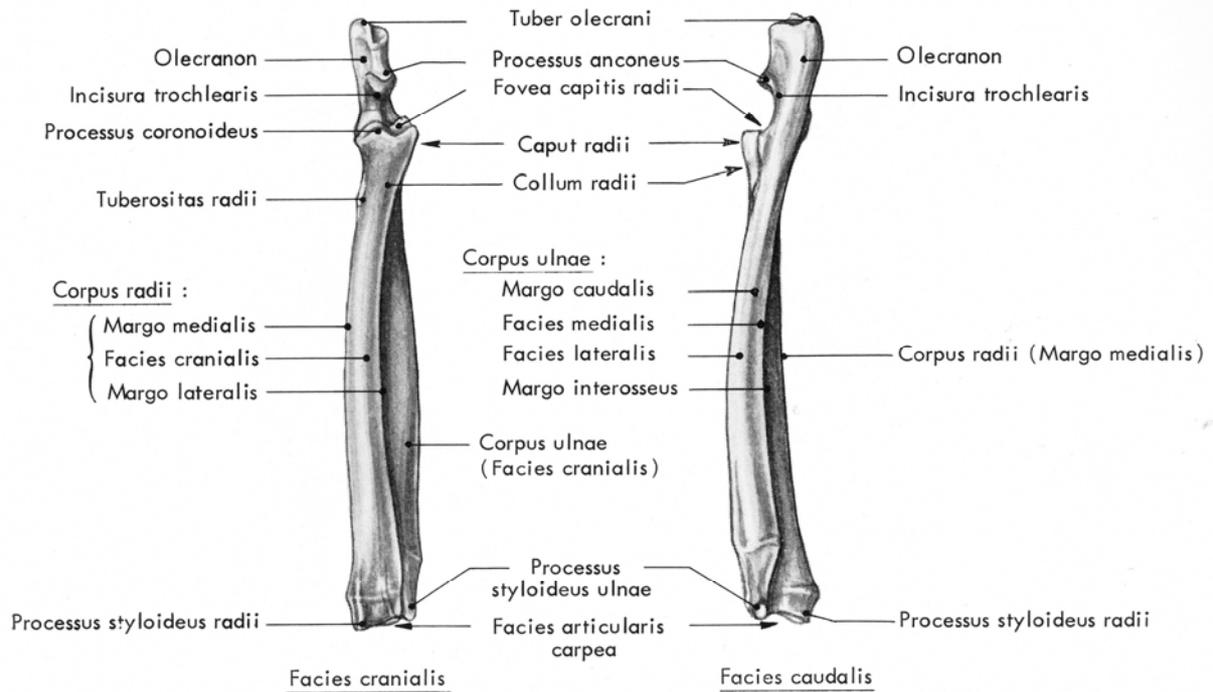
Legende zu Abb. 8:

a = Radius, b = Ulna, 2 Caput radii, 3 Fovea capitis radii, 4 Corpus radii, 5 Olecranon, 5' Tuber olecrani, 5'' Processus anconaeus, 6 Incisura trochlearis, 7 Corpus ulnae, 8 Processus styloideus ulnae, 9 Tuberositas radii, **10 Processus coronoideus lateralis**, 10' Processus coronoideus medialis, 11 Incisura radialis ulnae.

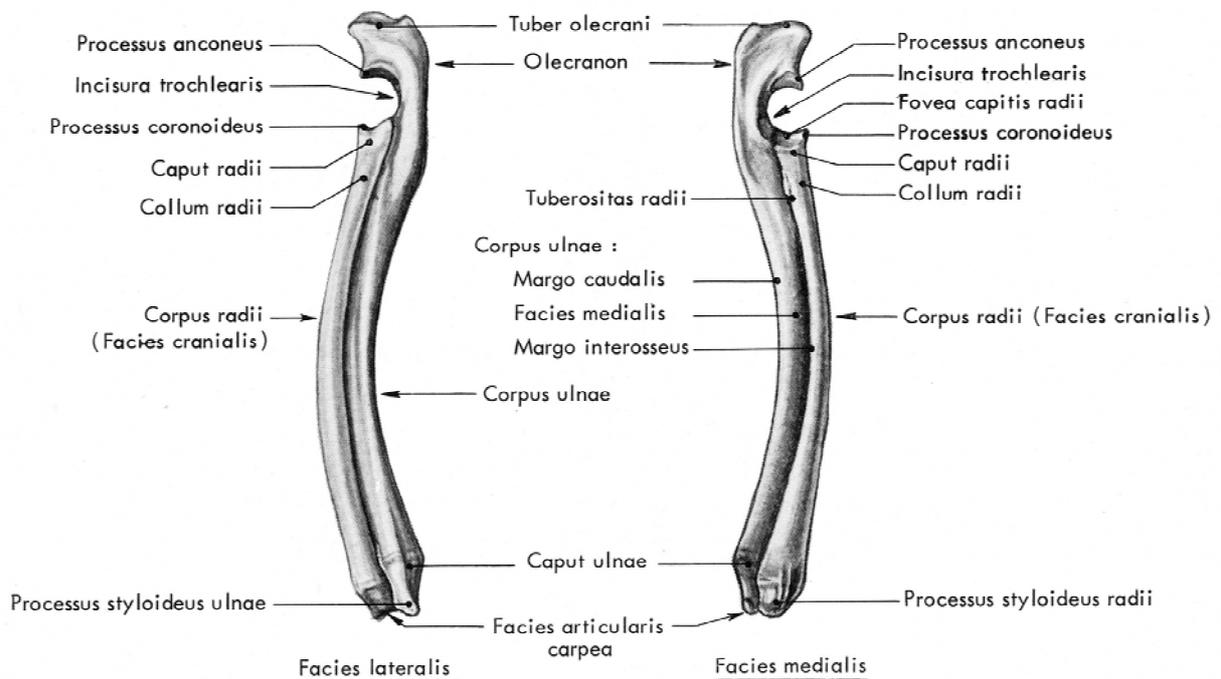
### 2.1.1.2.3. Kaninchen

Der Radius ist kürzer und schwächer ausgebildet als die Ulna (Berg 1992b, Horne und Craigie 1957/1960). Die Ossa antebrachii sind dorsal und medial konvex gebogen und liegen fast ohne interosseären Zwischenraum aneinander. Beide Ossa antebrachii sind fest über Ligamenta interossea miteinander verbunden (Horne und Craigie 1957/1960). Der Radius liegt anterodorsal, fast parallel zur Ulna, wobei der proximale Teil, das Caput radii, lateral und die distale Epiphyse medial zu liegen kommt (Horne und Craigie 1957/1960). Ähnlich wie beim Fleischfresser ist das Caput radii deutlich durch ein Collum radii vom Corpus radii abgegrenzt (Abb. 9, 10). An dem Radiuskopf findet sich proximal eine vertiefte passgenaue Gelenkfläche, die Fovea capitis radii, zur Artikulation mit der Trochlea humeri (Berg 1992b). Die Fovea articularis ist an ihrem kranialen Rand zu einem Processus coronoideus (Barone et al. 1973, Berg 1992b, Gruber 1995) ausgezogen. Dieser Knochenpunkt wird in der Literatur nicht regelmäßig als Processus coronoideus benannt. Als Beispiel sei das „Rabbit dissection manual“ von Wingerd 1985 oder der Röntgenatlas von Silverman und Tell 2005 genannt. Der Processus coronoideus greift bei starker Beugung des Gelenks in die Fossa radialis humeri. Deshalb kann die Fossa radialis humeri auch als Fossa coronoidea bezeichnet werden (Berg 1992b). Die Gelenkfläche am Radiuskopf wird von Berg (1992b) als etwas vertieft beschrieben, um die Trochlea humeri passgenau aufzunehmen. Gruber (1995) beschreibt an derselben Stelle eine Furche, die die Gelenkfläche in einen größeren lateralen und einen kleineren medialen Anteil gliedert. Die Tuberositas radii ist medial im Übergangsbereich zwischen Collum und Corpus radii gelegen und stellt eine dornförmige Rauigkeit zum Ansatz des Musculus biceps brachii dar (Berg 1992b, Wingerd 1985). Das distale Endstück weist eine abgestufte Facies articularis carpea und einen Processus styloideus auf.

## LITERATURÜBERSICHT



**Abbildung 9:** Unterarmknochen Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), kraniale und kaudale Ansicht



**Abbildung 10:** Unterarmknochen Kaninchen, Baron und Pavaux (1973), laterale und mediale Ansicht

## 2.1.1.3. Ulna

### 2.1.1.3.1. Hund

Die Ulna besteht aus einem proximalen Abschnitt, dem Olekranon, einem mittleren Anteil, dem Ulnaschaft (*Corpus ulnae*) und dem distalen Ende (*Caput ulnae*) (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Die Basis des vierkantigen Olekranons ist durch die *Incisura trochlearis* (Abb. 7) zur Artikulation mit der *Trochlea humeri* eingeschnitten (Evans und deLahunta 1980, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Die Gelenkfläche wird proximal von dem hakenförmigen *Processus anconaeus* und distal von dem medialen und lateralen Kronfortsatz (*Processus coronoidei medialis et lateralis*) begrenzt. Der *Processus coronoideus medialis*, der dem *M. brachialis* Ansatz bietet, ist prominenter ausgeprägt als der laterale (Evans 1993, Nickel et al. 1992a, Vollmerhaus et al. 1994a). Proximal der Ulnabasis befindet sich kaudomedial das *Tuber olecrani*. Dieses weist an der kaudalen Fläche einen stumpfen Muskelhöcker und zwei scharfe Muskelleisten zum Ansatz des *Musculus triceps brachii* auf (Evans 1993, Nickel et al. 1992a, Vollmerhaus et al. 1994a). Zwischen dem medialen und lateralen Kronfortsatz ist die konkave *Incisura radialis ulnae* ausgebildet. Diese bildet zusammen mit der *Circumferrentia articularis radii* die Grundlage für das proximale Radio-ulnargelenk (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Nach distal folgt der dreikantige Ulnaschaft (*Corpus ulnae*), der sich verjüngt. Das distale Endstück weist einen *Processus styloideus* auf. Medial befinden sich die konvexe *Circumferrentia articularis ulnae* zur Artikulation mit der *Incisura ulnaris radii*. Diese bilden die Grundlage für das distale Radioulnargelenk (*Art. radioulnaris distalis*).

### 2.1.1.3.2. Katze

Die Ulna besteht aus einem proximalen Abschnitt, dem Olekranon, einem mittleren Anteil, dem Ulnaschaft (*Corpus ulnae*) und dem distalen Ende (*Caput ulnae*) (Mc Clure et al. 1973, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a). Die Basis des rechteckigen Olekranons ist durch die *Incisura trochlearis* zur Artikulation mit der *Trochlea humeri* eingeschnitten (Vollmerhaus et al. 1994a). Die Gelenkfläche wird proximal von dem hakenförmigen *Processus anconaeus* und distal von dem medialen und lateralen Kronfortsatz (*Processus coronoidei medialis et lateralis*) begrenzt (König 1992, Roos 1989, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Proxi-

## LITERATURÜBERSICHT

mal der Ulnabasis befindet sich kaudomedial das Tuber olecrani. Dieses weist an der kaudalen Fläche einen stumpfen Muskelhöcker und zwei scharfe Muskelleisten zum Ansatz des Musculus triceps brachii auf (Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Zwischen dem medialen und lateralen Kronfortsatz ist die konkave Incisura radialis ulnae ausgebildet. Diese bildet zusammen mit der Circumferrentia articularis radii die Grundlage für das proximale Radioulnargelenk (Art. radioulnaris proximalis) (König 1992, Nickel et al. 1992a, Salomon 2008a, Vollmerhaus et al. 1994a). Der mediale Kronfortsatz ist stärker ausgebildet und bietet dem Musculus brachialis und dem Musculus cleidobrachialis Ansatz (König 1992, Roos 1989). Distal folgt der in der proximalen Hälfte säbelartige Ulnaschaft (Corpus ulnae), der sich dann in dreikantiger Form weiter verjüngt (Roos 1989). Das distale Endstück (Caput ulnae) weist einen Processus styloideus auf (König 1992, Mc Clure et al. 1973, Roos 1989). Medial befindet sich die konvexe Circumferrentia articularis ulnae zur Artikulation mit der Incisura ulnaris radii (König 1992). Diese bilden die Grundlage für das distale Radioulnargelenk (Art. radioulnaris distalis).

### 2.1.1.3.3. Kaninchen

Die Ulna besteht aus einem proximalen Abschnitt, dem Olekranon, einem mittleren Anteil (Corpus ulnae), und dem distalen Ende (Caput ulnae) (Abb. 9, 10). Die Basis des beidseitig flachen Olekranons ist durch die Incisura trochlearis zur Artikulation mit der Trochlea humeri eingeschnitten (Berg 1992b, Horne und Craigie 1957/1960, Wingerd 1985). Am Tuber olecrani liegt proximal eine Längsrinne und kranial der Processus anconaeus. Der Processus anconaeus wird von Gruber (1995) als deutlich hakenförmiger und spitzer als bei der Katze beschrieben. Kaudal fällt das Tuber olecrani fast senkrecht bis zur kaudalen Konkavität des Corpus ulnae ab. In Bezug auf die Processus coronoidei medialis et lateralis ulnae, die beim Fleischfresser die Incisura trochlearis medial und lateral begrenzen, gibt es beim Kaninchen unterschiedliche Angaben in der Literatur.

So beschreiben Gruber (1995) und Ertelt et al. 2006 schwach ausgebildete Processus coronoidei medialis et lateralis. Nach Wingerd (1985) ist nur ein Processus coronoideus, ventral der Incisura trochlearis ausgebildet. Von Barone et al. 1973, Berg (1992b), Horne und Craigie (1957/1960) und Silverman und Tell (2005) werden keine Processus coronoidei ulnae erwähnt. Die Incisura radialis ulnae wird von Wingerd (1985) erwähnt und liegt lateral des Processus coronoideus. Von Barone und Pavaux (1973), Berg (1992b), Horne und Craigie

## LITERATURÜBERSICHT

(1957/1960) und Silverman und Tell (2005) wird keine *Incisura radialis* beschrieben. Das *Caput ulnae* weist einen *Processus styloideus* auf, mit einer Gelenkfläche für das *Os carpi ulnare* (Berg 1992b, Horne und Craigie 1957/1960, Silverman und Tell 2005). Die *Ulna* berührt im distalen Bereich den *Radius* nur noch linear (Berg 1992b).

### 2.1.2. Gelenkkapsel und Bandapparat

#### 2.1.2.1. Hund

##### Gelenkkapsel:

Die Gelenkkapsel besteht aus einem *Stratum fibrosum* und einem *Stratum synoviale*. Die beiden Schichten entspringen räumlich getrennt voneinander (Staszyk und Gasse 2001b) und sind über ein Fasergeflecht, in dem teilweise reichlich Fettzellen eingelagert sein können, miteinander verbunden (Vollmerhaus et al. 1994b). Somit können an einem synovialen Gelenk ein intraartikulärer Raum und ein intrasynovialer Raum unterschieden werden. Der intraartikuläre Raum wird vom *Stratum fibrosum* begrenzt und der intrasynoviale Raum wird vom *Stratum synoviale*, außer im Bereich des Gelenkknorpels, umschlossen (Staszyk und Gasse 2001b). Das *Stratum fibrosum* besteht aus straffem und kollagenfaserigen Bindegewebe und geht je nach dem Grad der mechanischen Beanspruchung (während der Gelenkbewegung) direkt in das Periost oder über Sharpeysche Fasern in den Knorpel oder in den Knochen über (Künzel und Knospe 1990, Staszyk und Gasse 2001a). Die Bindegewebsfasern verlaufen gekreuzt und lokal auch parallelfaserig, um Gelenkbänder zu bilden (Künzel und Knospe 1990). Das *Stratum synoviale* ist eine relativ lockere Bindegewebsschicht, die viele Gefäße, marklose Nervenfasern und Lymphkapillaren enthält und an den Rändern des Gelenkknorpels ansetzt (Nickel et al. 1992b, Staszyk und Gasse 2001a). Die Ansatzlinie des *Stratum fibrosum* verläuft proximal des *Condylus humeri* am Rand der *Fossa radialis* und der *Fossa olecrani* (Staszyk und Gasse 2001a), wobei die *Fossa olecrani* ganz von der Gelenkkapsel eingeschlossen wird (Maierl 2003, Staszyk und Gasse 2001a). Das die beiden *Fossae* verbindende *Foramen supratrochleare* ist durch bindegewebige, einander berührende Kapselauskleidungen (Vollmerhaus et al. 1981) oder von einer ca. 1mm dicken, mehrschichtigen Bindegewebsmembran mit einem kranialen und kaudalen synovialen Überzug verschlossen (Staszyk und Gasse 2001b). Dadurch ist das

## LITERATURÜBERSICHT

Foramen supratrochleare intraartikulär, aber extrasynovial gelegen (Staszuk und Gasse 2001b). Lateral an der Trochlea humeri setzt die Gelenkkapsel wenige Millimeter entfernt zum Gelenkrand an (Maierl 2003), während diese auf der medialen Seite kranial und kaudal des medialen Bandhöckers kleine Ausbuchtungen ausbildet (Maierl 2003). Diese bilden sehnenscheidenartige Gleiteinrichtungen für die Ursprungsstellen des Musculus flexor carpi radialis und Musculus pronator teres sowie für den Ansatzbereich des Musculus brachialis (Maierl 2003). An der Ulna befestigt sich die Gelenkkapsel entlang dem Randgebiet der Incisura trochlearis und bildet am Processus anconaeus eine Ausbuchtung aus (Staszuk und Gasse 2001b). Am Processus coronoideus medialis ist der Kapselansatz etwas weiter entfernt vom Gelenkspalt und bildet so eine Gleiteinrichtung für die gemeinsame Sehne des Musculus biceps brachii und des Musculus brachialis (Maierl 2003). Am Radius ist die Gelenkkapsel kranial und kaudal am Gelenkrand befestigt, medial und lateral bildet diese schleimbeutelartige Buchten, um die Endsehne des Musculus biceps brachii, sowie den Musculus extensor carpi radialis und den Musculus extensor digitorum communis zu unterlagern (Maierl 2003). Die Gelenkkapsel bildet 3 (Nickel et al. 1992b, Vollmerhaus et al. 1994b) bzw. 4 Aussackungen (Kaser 1998, Maierl 2003). Grundlegend werden ein Recessus craniolateralis, Recessus craniomedialis und ein Recessus caudalis beschrieben (Vollmerhaus et al. 1994b). Erst die histologische Unterteilung des kaudalen Rezessus in einen Recessus caudomedialis und caudolateralis ergeben in der Summe dann 4 Recessus (Kaser 1998):

- Der Recessus craniolateralis befindet sich unterhalb des Musculus extensor digitorum communis (Vollmerhaus et al. 1994b) und wird kaudal vom Ligamentum collaterale cubiti laterale begrenzt, sowie vom Ligamentum anulare radii unterteilt (Kaser 1998).
- Der Recessus craniomedialis liegt unter dem Musculus biceps brachii und kaudal zwischen dem Olekranon und dem Epicondylus lateralis humeri (Vollmerhaus et al. 1994b). Dieser befindet sich zwischen dem Ligamentum obliquum und dem Ligamentum collaterale cubiti mediale (Kaser 1998, Maierl 2003).
- Der Recessus caudolateralis befindet sich zwischen dem Olekranon, zieht zum Epicondylus lateralis humeri und setzt lateral an der Fossa olecrani an (Kaser 1998, Maierl 2003).

## LITERATURÜBERSICHT

- Der Recessus caudomedialis verläuft vom Olekranon zum Epicondylus medialis humeri. Beide kaudalen Ausbuchtungen stehen über die Fossa olecrani miteinander in Verbindung (Kaser 1998, Maierl 2003).

### Gelenkbänder:

Zu den Bändern des Ellbogengelenks zählen laut NAV (2005):

Das Ligamentum collaterale cubiti mediale, das Ligamentum collaterale cubiti laterale und das Ligamentum olecrani. Das mediale und das laterale Seitenband des Ellbogengelenks sind jeweils zweischenkelig (Evans 1993, Vollmerhaus et al. 1994b).

- Das Ligamentum collaterale cubiti mediale:

### Ursprung:

Als Ursprung wird die Bandgrube des Epicondylus medialis humeri (Maierl 2003, Nickel et al. 1992b, Vollmerhaus et al. 1994b), die Bandgrube und dessen Bandhöcker (Hemmes 2004) sowie der Epicondylus medialis humeri selbst (Evans 1993, Liebich et al. 2009b, Salomon 2008b) genannt.

### Verlauf:

Proximal entspringt es am medialen Epikondylus, kreuzt dann distal das Ligamentum anulare radii und teilt sich dann in einen schwächeren kranialen und einen stärkeren kaudalen Schenkel auf (Evans 1993, Vollmerhaus et al. 1994b).

### Ansatz:

Der schwächere kraniale Schenkel setzt medial am Radius proximal der Tuberositas radii an (Evans 1993), beziehungsweise an dem medialen Bandhöcker des Radius (Liebich et al. 2009b, Nickel et al. 1992b). Der stärkere kaudale Schenkel zieht tief in das Spatium interosseum und setzt hauptsächlich an der Ulna, jedoch auch teilweise am Radius an (Evans 1993).

## LITERATURÜBERSICHT

- Das Ligamentum collaterale cubiti laterale:

Ursprung:

Das Ligamentum collaterale cubiti laterale entspringt in der Bandgrube des Epicondylus lateralis humeri (Liebich et al. 2009b, Maierl 2003, Vollmerhaus et al. 1994b) oder am Epicondylus lateralis humeri (Evans 1993, Salomon 2008b).

Verlauf:

In dessen Verlauf teilt sich dieses distal in einen kräftigeren radialen und einen schwächeren ulnaren Schenkel (Evans 1993, Maierl 2003, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994b).

Ansatz:

Der radiale Schenkel setzt am Bandhöcker des Radius an und der ulnare Schenkel am Processus coronoideus lateralis ulnae (Maierl 2003, Vollmerhaus et al. 1994b). Am kranialen Rand des Seitenbandes, an der Stelle, an der das Ligamentum anulare radii einfließt, ist eine Knorpel­einlagerung vorhanden (Maierl 2003, Vollmerhaus et al. 1994b). An dieser Stelle kann oft auch ein Sesambein als Gleitdruckeinrichtung ausgebildet sein (Evans 1993, Maierl 2003). Dieses ist trotz seines fakultativen Vorkommens als physiologisch anzusehen und ist radio­logisch meist beidseits, frühestens ab dem 4. Lebensmonat nachweisbar (Maierl 2003).

- Ligamentum olecrani:

Engelke et al. 2005 untersuchten den histologischen Aufbau des Bandes und fanden heraus, dass es sich nicht um ein elastisches Band, wie es von der Mehrzahl der Autoren beschrieben wurde, sondern um ein straffes kollagenfaseriges Band handelt.

Ursprung:

Das Ligamentum olecrani hat seinen Ursprung am axialen Rand des Epicondylus medialis humeri (Engelke et al. 2005, Liebich et al. 2009a, Vollmerhaus et al. 1994b) oder am medialen Rand der Fossa olecrani (Salomon 2008b).

Verlauf:

Es zieht an der Streckseite der Gelenkkapsel vom Epicondylus medialis humeri proximal zum Processus anconaeus der Ulna, ist mit der Gelenkkapsel verbunden und hält den kaudalen

## LITERATURÜBERSICHT

Kapselabschnitt unter Spannung (Engelke et al. 2005, Liebich et al. 2009b, Maierl 2003, Vollmerhaus et al. 1994b). Nach Salomon (2008a) zieht es an das Olekranon.

Ansatz:

Das Ligamentum olecrani setzt am Olekranon (Engelke et al. 2005, Salomon 2008b), dem Processus anconaeus (Liebich et al. 2009b, Maierl 2003, Vollmerhaus et al. 1994b) und dem vorderen medialen Höcker des Olekranons an (Nickel et al. 1992b).

- Ligamentum obliquum:

Das Ligamentum obliquum ist eine Verstärkung in der Gelenkkapsel auf der Beugeseite des Gelenks. Es entspringt am dorsalen Rand des Foramen supratrochleare und zieht an der Beugeseite der Gelenkkapsel distomedial (Evans 1993, Salomon 2008b). Es zieht zu den Endsehnen des Musculus biceps brachii und des Musculus brachialis und teilt sich in direkter Nachbarschaft zum Ligamentum anulare radii in zwei Anteile. Der kürzere Bandanteil verbindet sich mit dem medialen Seitenband des Ellbogengelenks. Der längere Bandanteil umhüllt die Endsehnen der oben erwähnten zwei Muskeln und setzt an der medialen Fläche des Radius an (Evans 1993, Maierl 2003, Salomon 2008b).

- Ligamentum anulare radii:

Dieses Band ist nach der NAV (2005) zu der Art. radioulnaris proximalis zu rechnen. Das proximale Radioulnargelenk steht mit der Art. cubiti in Verbindung und wird von ihrer Gelenkkapsel mit umschlossen (Evans 1993, Nickel et al. 1992b, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994b).

Ursprung/Verlauf/Ansatz:

Das Ligamentum anulare radii entspringt auf der Beugeseite des Ellbogengelenks unter dem Ligamentum collaterale cubiti mediale am medialen Processus coronoideus ulnae, umfasst ringförmig den Radiuskopf und verläuft unter dem lateralen Seitenband des Ellbogengelenkes zum Processus coronoideus lateralis ulnae, wobei es in dieses auch einstrahlt (Evans 1993, Maierl 2003, Nickel et al. 1992b, Vollmerhaus et al. 1994b).

## 2.1.2.2. Katze

### Gelenkkapsel:

Die Gelenkkapsel des Ellbogengelenks ist bei der Katze, wie auch vorher schon beim Hund beschrieben, aus einem Stratum fibrosum und einem Stratum synoviale aufgebaut. Diese umschließt die Art. radioulnaris proximalis. Der Kapselansatz bei der Katze schließt nach Roos (1989) die Fossa radialis, die Fossa coronoidea und die Fossa olecrani mit ein. Lateral und medial verläuft der Kapselansatz zwischen Capitulum und Trochlea einerseits und andererseits zwischen den Epikondylen. An den Ossa antebrachii verläuft dieser entlang der Fovea capitis radii kranial und kaudal unmittelbar seitlich. An der Ulna heftet sich die Kapsel am Rand der Incisura trochlearis und der Incisura radialis an und umschließt die Processus coronoidei und den Processus anconaeus (Roos 1989). Die Gelenkkapsel ist mit den Kollateralbändern und dem Ringband verwachsen. Kraniolateral ist die Kapselwand mit den Ursprüngen des Musculus extensor digitorum communis sowie des Musculus extensor carpi radialis verwachsen. An der medialen Fläche ist die Kapsel mit den Ursprüngen der Musculi flexores digitorum profundus et carpi radialis verwachsen (Roos 1989). Die Kapselwand bildet drei Ausbuchtungen (Roos 1989):

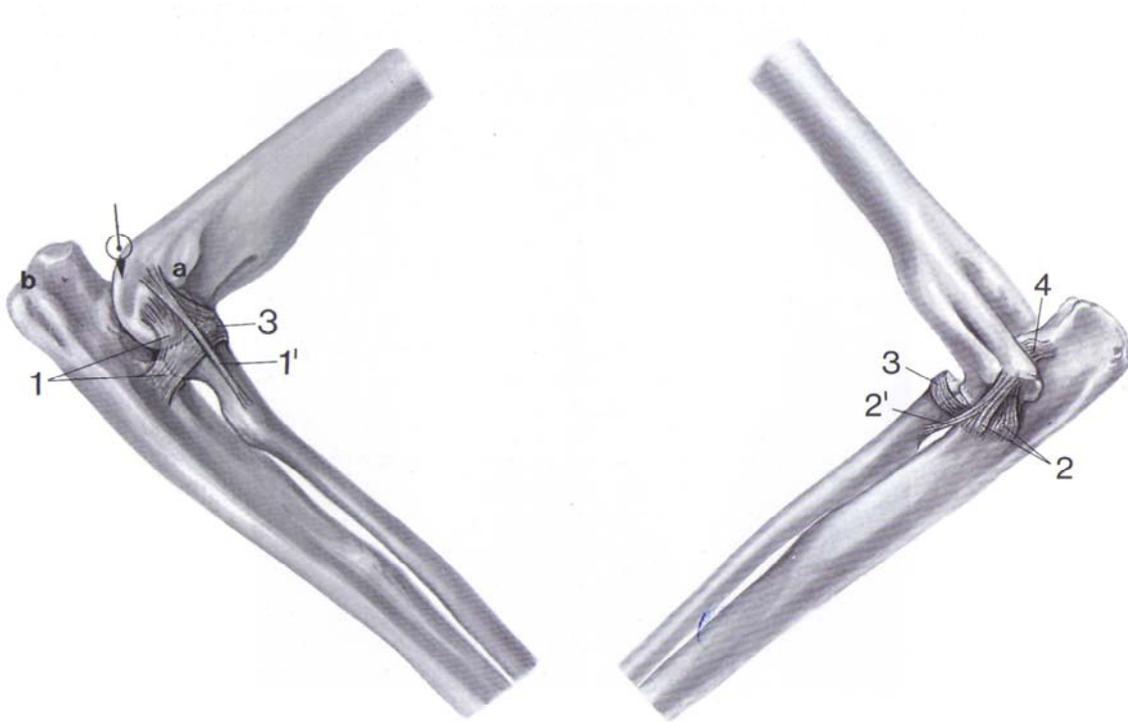
- Recessus caudalis: Dieser befindet sich zwischen dem Epicondylus lateralis humeri und dem Ligamentum olecrani.
- Recessus craniolateralis: Dieser erstreckt sich unter den Musculus extensor digitorum communis.
- Recessus craniomedialis: Dieser buchtet sich unter dem Musculus biceps brachii aus.

### Gelenkbänder:

Zu den Bändern des Ellbogengelenks zählen laut NAV (2005):

Das Ligamentum collaterale cubiti mediale, das Ligamentum collaterale cubiti laterale und das Ligamentum olecrani. Das mediale und das laterale Seitenband des Ellbogengelenks sind jeweils zweischenklig (Gruber 1995, König 1992, Roos 1989, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994b).

## LITERATURÜBERSICHT



**Abbildung 11:** Ellbogengelenk Katze, Lateralansicht links und Medialansicht rechts, aus Vollmerhaus und Waibl (1994b)

Legende zu Abb. 11:

1, 1' Ligamentum collaterale laterale (1 ulnarer Schenkel, 1' radialer Schenkel), 2, 2' Ligamentum collaterale mediale (2 ulnarer, 2' radialer Schenkel), 3 Ligamentum anulare radii, 4 Ligamentum olecrani.

- Das Ligamentum collaterale cubiti mediale:

Ursprung:

Als Ursprung wird der Epicondylus medialis (Salomon 2008b), bzw. die Bandgrube des Epicondylus medialis humeri (Nickel et al. 1992b, Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b) genannt.

Verlauf:

Das Band spaltet sich in einen schwächeren kranialen (radialen) Schenkel und einen stärkeren kaudalen (ulnaren) Schenkel (Gruber 1995, König 1992, Roos 1989, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994b). Der kraniale (radiale) Schenkel überspringt das Lig. anulare radii,

## LITERATURÜBERSICHT

zieht zum Processus coronoideus medialis ulnae und zur Tuberositas radii. Der kaudale (ulnare) Schenkel zieht zum Processus coronoideus medialis ulnae und ist zudem mit der Ursprungssehne des Musculus flexor carpi ulnaris verbunden.

Ansatz:

Der kraniale (radiale) Schenkel setzt im allgemeinen an der Spitze des Processus coronoideus medialis sowie proximal der Tuberositas radii an (Roos 1989). In Ausnahmefällen verliert sich der kraniale (radiale) Schenkel im Bindegewebe des Spatium interosseum. Der kaudale (ulnare) Schenkel setzt an der Basis des Processus coronoideus medialis an und ist mit der Ursprungssehne des Musculus flexor carpi ulnaris verbunden. Nach Gruber (1995) setzt der kraniale (radiale) Schenkel knapp distal des Radiuskopfes im Spatium interosseum antebrachii und mit einer dünnen Abspaltung unter dem Processus coronoideus medialis an. Des weiteren verliert sich ein kranialer Teil des Bandes im Lig. anulare radii. Der kaudale (ulnare) Schenkel setzt an der Ulna, knapp distal der Insertionsstelle des Musculus cleidobrachialis, an (Gruber 1995). Salmonon (2008a) beschreibt, dass der kraniale (radiale) Schenkel des Bandes, beim Fleischfresser, an der Tuberositas radii und der kaudale (ulnare) Schenkel hauptsächlich an der Ulna, zum Teil auch am Radius inseriert.

- Das Ligamentum collaterale cubiti laterale:

Ursprung:

Das Ligamentum collaterale cubiti laterale entspringt am Epicondylus lateralis (Gruber 1995, Salomon 2008b), bzw. in der Bandgrube des Epicondylus lateralis (König 1992, Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b).

Verlauf:

In dessen distalen Verlauf teilt sich dieses in einen kranialen (radialen) und einen ulnaren (kaudalen) Schenkel.

Ansatz:

Der radiale Schenkel setzt am Radius (König 1992, Salomon 2008b), deutlich unterhalb des Collum radii an (Gruber 1995, Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b). Der ulnare Schenkel setzt am Processus coronoideus lateralis ulnae (Gruber 1995, König 1992, Roos 1989,

## LITERATURÜBERSICHT

Vollmerhaus et al. 1994b) an. Am kranialen Rand des Seitenbandes, an der Stelle, an der das Ligamentum anulare radii einfließt, ist eine Knorpel­einlagerung vorhanden (Gruber 1995, König 1992, Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b). Die besondere mechanische Beanspruchung dieses Bandes leitet Roos (1989) aus der Tatsache ab, dass:

- Aus diesem das Lig. anulare radii entspringt.
- An dieser Stelle Knorpelgewebe eingelagert ist.
- Die Ursprungssehnen der Mm. extensor carpi radialis et anconaeus aus diesem hervorgehen.

- Ligamentum olecrani:

Engelke et al. (2005) untersuchten den histologischen Aufbau des Bandes und fanden heraus, dass es sich nicht um ein elastisches Band, wie es von der Mehrzahl der Autoren beschrieben wurde, sondern um ein straffes Bandes handelt.

Ursprung:

Das Ligamentum olecrani hat seinen Ursprung am axialen Rand des Epicondylus medialis humeri zusammen mit der Gelenkkapsel (Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b). Nach Salomon (2008a) und Gruber (1995) entspringt dieses Band am medialen Rand der Fossa olecrani. Nach König (1992) entspringt dieses oberhalb des Processus anconaeus am kranialen Rand des Olekranons.

Verlauf:

Es zieht an der Streckseite der Gelenkkapsel proximal zum Olekranon (Salomon 2008b), bzw. zum Processus anconaeus ulnae (Gruber 1995, Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b), ist mit der Gelenkkapsel verwachsen und hält den kaudalen Kapselabschnitt unter Spannung (Vollmerhaus et al. 1994b), um ein Einklemmen der Kapselausbuchtung in der Fossa olecrani humeri zu verhindern (Roos 1989). Nach König (1992) zieht dieses vom Olekranon zum Epicondylus medialis humeri.

Ansatz:

Das Ligamentum olecrani setzt oberhalb des Processus anconaeus an dessen kranialen Rand an (Gruber 1995, Roos 1989, Vollmerhaus et al. 1994b). Nach König (1992) inseriert dieses

## LITERATURÜBERSICHT

am Epicondylus medialis humeri, an dessen lateralen Fläche in der Fossa olecrani. Nach Engelke et al. (2005) erfolgt der Ansatz des Bandes an der kranialen Oberfläche des Olekrans und an proximalen Anteilen des Processus anconaeus ulnae.

- Ligamentum obliquum:

Dieses Band wird, im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Hund, in der Literatur bei der Katze nicht explizit erwähnt.

- Ligamentum anulare radii:

Dieses Band ist nach der NAV (2005) zu der Art. radioulnaris proximalis zu rechnen. Das proximale Radioulnargelenk steht mit der Art. cubiti in Verbindung und wird von ihrer Gelenkkapsel mit umschlossen (Nickel et al. 1992b, Roos 1989, Salomon 2008b, Vollmerhaus et al. 1994b).

Ursprung/Verlauf/Ansatz:

Das Ligamentum anulare radii entspringt entweder direkt, also gemeinsam mit dem Ligamentum collaterale cubiti laterale am Epicondylus lateralis humeri (König 1992) oder aus dem Lig. collaterale cubiti laterale (bzw. aus dessen radialem Schenkel (Gruber 1995)). Somit entspringt das Band indirekt vom Epicondylus lateralis humeri. In seinem Verlauf umfasst es den Radiuskopf unterhalb des Gelenkspaltes, unterkreuzt das mediale Kollateralband und heftet sich am Processus medialis ulnae an (König 1992, Roos 1989, Salomon 2008b). Bei Vollmerhaus et al. (1994b) sind der Ursprung und der Ansatz des Bandes umgekehrt beschrieben, ansonsten verhält sich das Band identisch.

### **2.1.2.3. Kaninchen**

Gelenkkapsel:

Die Gelenkkapsel des Ellbogengelenks des Kaninchens ist, wie auch vorher schon bei Hund und Katze beschrieben, aus einem Stratum fibrosum und einem Stratum synoviale aufgebaut und folgt dem allgemeinen Aufbau (Gruber 1995). Der Kapselansatz entspricht dem der Katze (Gruber 1995).

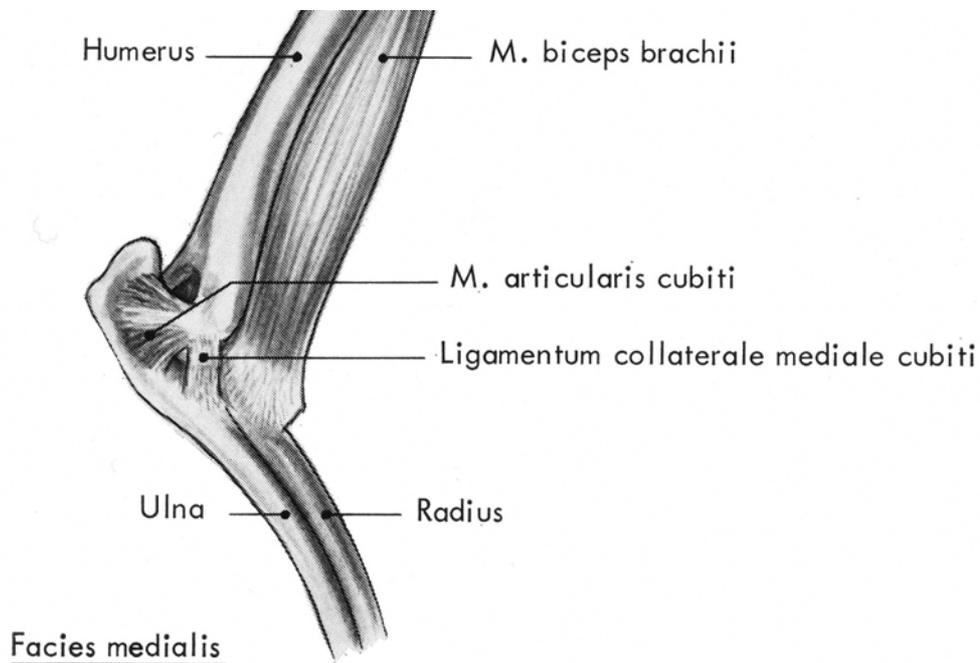
## LITERATURÜBERSICHT

Die Kapselwand bildet drei Ausbuchtungen (Gruber 1995):

- Recessus caudalis: Dieser befindet sich zwischen dem Epicondylus lateralis humeri und dem Ligamentum olecrani.
- Recessus craniolateralis: Dieser erstreckt sich unter den Musculus extensor digitorum communis, den Musculus extensor carpi radialis und den Musculus supinator.
- Recessus craniomedialis: Dieser buchtet sich unter dem Musculus biceps brachii aus.

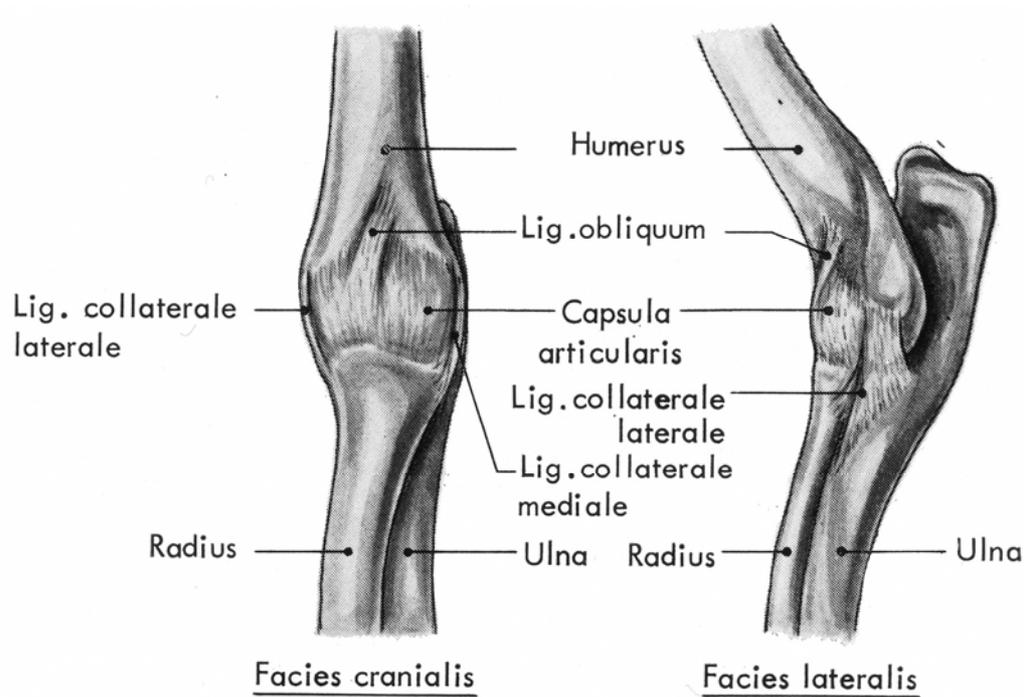
### Gelenkbänder:

Nach Berg (1992b), unterscheidet sich das Ellbogengelenk des Kaninchens von dem der Fleischfresser durch das Fehlen des Lig. anulare radii. Ansonsten verhalten sich die Gelenkbänder praktisch wie bei den Fleischfressern (Berg 1992b).



**Abbildung 12:** Ellbogengelenk Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), mediale Ansicht

## LITERATURÜBERSICHT



**Abbildung 13:** Ellbogengelenk Kaninchen, aus Baron und Pavaux (1973), kraniale und laterale Ansicht

- Ligamentum collaterale cubiti mediale:

Ursprung:

Das Band entspringt am Epicondylus medialis humeri (Berg 1992b)

Verlauf:

In seinem Verlauf teilt es sich in einen kranialen und einen kaudalen Schenkel.

Ansatz:

Der kraniale Schenkel setzt distal des Radiuskopfes an. Der kaudale Schenkel setzt an der Ulna an (Berg 1992b, Gruber 1995).

- Ligamentum collaterale cubiti laterale:

Ursprung:

Es entspringt am Epicondylus lateralis humeri (Gruber 1995).

## LITERATURÜBERSICHT

Verlauf:

Es teilt sich in zwei Schenkel.

Ansatz:

Die Schenkel setzen distal des Radiuskopfes und distal des Processus coronoideus lateralis ulnae an (Gruber 1995).

- Ligamentum olecrani:

Die Angaben zur Existenz dieses Bandes sind in der Literatur unterschiedlich. Berg (1992b) bezeichnet das Ellbogengelenk des Kaninchens als vergleichbar mit dem der Fleischfresser, mit dem Unterschied, dass das Lig. anulare radii fehlt. In den Untersuchungen von Gruber (1995) konnte dieses Band nicht dargestellt werden, jedoch wird die Existenz des Bandes nicht widerlegt und in den Untersuchungen von Engelke et al. (2005) wird die Existenz des Bandes bei der Tierart Kaninchen erwähnt.

Ursprung:

Es entspringt am kaudalen Rand des Epicondylus medialis humeri (Gruber 1995).

Verlauf:

Es verläuft zwischen dem Epicondylus medialis humeri und dem Processus anconaeus ulnae, bedeckt vom Musculus articularis cubiti (Gruber 1995).

Ansatz:

Es setzt an der kaudomedialen Fläche des Processus anconaeus ulnae an (Gruber 1995).

- Ligamentum obliquum:

In dem Anatomieatlas von Baron und Pavaux (1973) wird dieses Band an der Beugeseite des Ellbogengelenks erwähnt. In den Untersuchungen von Gruber (1995) konnte dieses Band nicht nachgewiesen werden.

- Ligamentum anulare radii:

Dieses ist beim Kaninchen nicht ausgebildet (Berg 1992b).

## **2.2. Distorsion / Subluxation / Luxation (Dislokation):**

Unter einer Distorsion verbirgt sich das Bild einer Verstauchung. Es handelt sich dabei um eine gedeckte Gelenkverletzung mit einer mehr oder weniger starken Überdehnung und Verletzung der Gelenkbänder und der Gelenkkapsel, je nach dem Dislokationsgrad (Bonath und Prieur 1998, Wiesner und Ribbeck 2000). Als Ursache wird z. B. eine außergewöhnlich starke Beanspruchung des Gelenkmechanismus beschrieben (Wiesner und Ribbeck 2000). Bei einer Subluxation handelt es sich um eine unvollständige Luxation, da die Gelenkflächen eines subluxierten Gelenks noch teilweise miteinander in Kontakt bleiben (Wiesner und Ribbeck 2000).

Eine Luxation (Dislokation) liegt dann vor, wenn sich einander gegenüberliegende Gelenkflächen in unphysiologischer Lage zueinander befinden (Bonath und Prieur 1998), begleitet von partiellen oder totalen Zerreißungen der Gelenkbänder oder der Gelenkkapsel (Wiesner und Ribbeck 2000). Nach ihrer Ätiologie unterscheidet man traumatische Luxationen von kongenitalen Luxationen (Bonath und Prieur 1998). Gründe für die Entstehung einer traumatischen Luxation können Traumata sein, die zu einer hohen Energieeinwirkung auf betroffene Strukturen führen. Allgemein wird in der Literatur die Luxationsrichtung und Luxationsform nach der Position der distalen Gelenkflächen im Verhältnis zu den proximalen Gelenkflächen benannt (Bonath und Prieur 1998, Wiesner und Ribbeck 2000).

### 2.2.1. Luxatio antebrachii traumatica, Hund

Traumatische Ellbogengelenkluxationen kommen durch die Verlagerung von einem oder beider Unterarmknochen zustande und können mit Frakturen kombiniert sein (Kene et al. 1982, Salvodelli et al. 1996). Die möglichen Luxationsformen sind eine Luxatio antebrachii lateralis, medialis, caudalis und eine isolierte Radiusköpfchenluxation kranial oder lateral, meist kombiniert mit einer Ulnafraktur (Monteggiafraktur) (Bidlingmaier 1988, Eisenmenger 1981, Fehr und Meyer-Lindenberg 1992, Meyer-Lindenberg et al. 1991, Pass und Ferguson 1971, Salvodelli et al. 1996, Schaeffer et al. 1999). Aufgrund anatomischer Gegebenheiten des äußerst stabilen Scharniergelenks ist diese bei der Tierart Hund relativ selten. Nach klinischen Erfahrungen ist der Hund im Vergleich mit den verschiedenen anderen Kleintierarten am häufigsten betroffen und die bevorzugte Luxationsform ist die Luxatio antebrachii traumatica lateralis (Bidlingmaier 1988, Billings et al. 1992a, Brinker et al. 1993, Farrel et al. 2007, Farrel et al. 2009, Fehr und Meyer-Lindenberg 1992, Kriegsheim 2001, Meyer-Lindenberg et al.

## LITERATURÜBERSICHT

1991, O'Brien et al. 1992, Salvodelli et al. 1996, Schaeffer et al. 1999). So ist der eckige Epicondylus medialis humeri größer als der abgerundete Epicondylus lateralis humeri und die Gelenkfläche des medialen Epikondylus ragt schräg distal vor, wodurch die Verlagerung der Unterarmknochen medial erschwert wird (Billings et al. 1992a, Brinker et al. 1993, Farrel et al. 2009, Meyer-Lindenberg et al. 1991, O'Brien et al. 1992, Salvodelli et al. 1996). Hinzu kommt, dass laterale (valgus) und mediale (varus) Bewegungen der Unterarmknochen durch die Kollateralbänder verhindert werden (Milton und Montgomery 1987, Schaeffer et al. 1999), wobei das laterale Kollateralband signifikant stärker belastbar ist als das mediale Kollateralband (Vogelsang et al. 1997). In gestreckter Gelenkstellung wird eine Ellbogengelenkluxation durch die Sperrwirkung des Proc. anconaeus ulnae, der maximal in der Fossa olecrani humeri eingerastet ist, durch die Beschaffenheit des medialen Epikondylus und durch die starken Kollateralbänder weitestgehendst verhindert (O'Brien et al. 1992, Schaeffer et al. 1999). Eine Luxation wird mit zunehmender Beugstellung des Gelenks wahrscheinlicher, da der Proc. anconaeus nicht mehr so tief in der Fossa olecrani zu liegen kommt (Salvodelli et al. 1996). Bonath und Prieur (1998) führten an, dass eine Ellbogengelenkluxation erst bei so starker Beugung des Gelenks möglich ist, wenn der Processus anconaeus sich nicht mehr in der knöchernen Führung der Fossa olecrani befindet. Brinker et al. (1993) beschreiben, dass es dem Processus anconaeus ab einem Beugewinkel des Unterarmes von weniger als  $90^\circ$  möglich ist, die Crista epicondyli lateralis bei entsprechender Krafteinwirkung zu überspringen. Andere Autoren halten eine Luxation durch direkte Krafteinwirkung erst ab einem Beugewinkel von weniger als  $45^\circ$  für möglich (Bidlingmaier 1988, Flipo 1964, Meyer-Lindenberg et al. 1991, Pass und Ferguson 1971, Schaeffer et al. 1999). Die häufigsten Ursachen für eine Ellbogengelenkluxation lassen sich auf direkte oder indirekte Traumata zurückführen, bei denen auf eine einzelne belastete Gliedmaße (Meyer-Lindenberg et al. 1991, O'Brien et al. 1992, Farrel et al. 2009) oder eine belastete und im Ellbogengelenk abgebogene Gliedmaße plötzlich indirekte Rotationskräfte einwirken (Farrel et al. 2009, Meyer-Lindenberg et al. 1991, Salvodelli et al. 1996). Als häufigste Ursachen sind Autounfall, Sturz aus großer Höhe, Kämpfe und das Springen über eine Hürde zu nennen (Bonath und Prieur 1998, Farrel et al. 2007, Farrel et al. 2009, Meyer-Lindenberg et al. 1991, O'Brien et al. 1992, Salvodelli et al. 1996, Schaeffer et al. 1999). Es wird angenommen, dass direkte oder indirekte Krafteinwirkungen eher zu Knochenfrakturen, als zu einer reinen Luxation führen (Farrel et al. 2007, Flipo 1964, O'Brien et al. 1992, Pass und Ferguson 1971, Schaeffer et al. 1999).

## LITERATURÜBERSICHT

### 2.2.2. Luxatio antebrachii congenitalis, Hund

Die Ursachen, die zu einer angeborenen Ellbogengelenkluxation führen, sind noch nicht ausreichend bekannt (Fafard 2006, Milton und Montgomery 1987, Schulz 2002, Stoyak 1987). Diese kongenitale Missbildung kann gemeinsam mit weiteren angeborenen anatomischen Missbildungen auftreten (Bingel und Riser 1977, Fafard 2006, Montgomery und Tomolinson 1985, Stoyak 1987). Zudem ist es meist angezeigt, das Leben missgebildeter Welpen, aus tierschützerischen oder wirtschaftlichen Gründen, vorzeitig zu beenden (Fehr und Meyer-Lindenberg 1992). Bei einer Luxatio antebrachii congenitalis sind grundsätzlich junge Hunde beider Geschlechter sowie kleiner und großer Hunderassen betroffen, die meist ab einem Lebensalter von 1 bis 5,5 Monaten beim Tierarzt vom Besitzer vorgestellt werden (Fafard 2006, Kene et al. 1982). Nach Milton und Montgomery (1987) lässt sich eine Geschlechts- und Rasseprädisposition bei kleinen Hunden erkennen. So sind im Vergleich mehr männliche als weibliche Tiere betroffen. Besonders betroffen sind der Yorkshire Terrier, Boston Terrier, Pekingese, Zwergpudel, Zwergpinscher, Zwergspitz, Mops, Chihuahua, Cocker Spaniel, englische Bulldogge und Manchester- Chihauhau-Kreuzungen. Die kongenitale Ellbogengelenkluxation kann unilateral oder bilateral ausgebildet sein. Die laterale Luxation wird am häufigsten beobachtet (Fafard 2006, Milton und Montgomery 1987) und scheint vorwiegend bei kleinen Hunderassen aufzutreten. Kene et al. (1982) unterscheiden bei der kongenitalen Ellbogengelenkluxation drei Luxationstypen. Luxationstyp I entspricht einer Luxatio radii lateralis, der Luxationstyp II entspricht einer Luxatio ulnae lateralis und der Luxationstyp III entspricht einer Luxatio ulnae et radii lateralis. Milton und Montgomery 1987 kategorisieren die Formen der kongenitalen Ellbogengelenkluxationen in eine Luxation der Articulatio humeroulnaris, der Articulatio humeroradialis und eine Luxation, verbunden mit Gelenkinstabilität (Arthrodysplasie), die meist mit weiteren angeborenen Skelettanomalien, im Besonderen der Ectrodactylie, kombiniert ist. In der Literatur werden auch Subluxationstypen erwähnt.

### 2.2.3. Luxatio antebrachii traumatica, Katze

Die Einteilung der möglichen Formen einer Luxatio antebrachii traumatica entspricht der Klassifizierung beim Hund. Die Ursache für eine Luxatio antebrachii traumatica bei der Katze sind zum Beispiel ein Sturz aus großer Höhe, ein Autounfall oder das Hängenbleiben an Einrichtungsgegenständen. Dabei erfolgen die Luxationen am häufigsten lateral (Fehr 2003). Bei

## LITERATURÜBERSICHT

Freigängern kann das genaue Geschehen, das zu einer traumatischen Ellbogengelenkluxation geführt hat, auch unbekannt bleiben (Bidlingmaier 1988, Billings et al. 1992b, Salvodelli et al. 1996). Grundsätzlich treten Ellbogengelenkluxationen bei der Katze äußerst selten auf. In der Literatur werden nur von Billings et al. (1992) 1 Fall einer traumatischen medialen Ellbogengelenkluxation, von Salvodelli et al. (1996) 2 proximale Radiuskopfluxationen und von Farrel et al. (2009) 2 Fälle lateraler traumatischer Ellbogengelenkluxationen in der Literatur beschrieben.

### 2.2.4. Luxatio antebrachii congenitalis, Katze

Bisher wurde nur von Valastro et al. 2005 ein Fall einer kongenitalen Ellbogengelenksluxation bei einer männlichen 8 Monate alten Katze beschrieben. Weitere Berichte über kongenitale Ellbogengelenkluxationen oder Subluxationen bei Katzen liegen in der Literatur nicht vor.

### 2.2.5. Luxatio antebrachii traumatica, Kaninchen

Von den theoretisch möglichen Luxationsformen sind für die Tierart Kaninchen eine Luxatio traumatica antebrachii caudalis, medialis und caudolateralis beschrieben (Ertelt et al. 2006, Kapatkin 2004), wobei bei der Auswertung des allgemeinen Patientenguts der Chirurgischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München, für einen Zeitraum von 1995 bis 2006, Ertelt et al. (2006) die kaudale Luxationsrichtung als die häufigste feststellten. Gleich viele Luxationsfälle traten bei der medialen und kaudolateralen Luxationsrichtung auf. Mögliche Ursachen für eine Ellbogengelenkluxation sind Traumata, wie Stürze oder das Herabspringen von erhöhten Aussichtspunkten, wie zum Beispiel von Stühlen (Ewringmann 2006). Ertelt et al. (2006) führten noch das Einzwängen der betroffenen Gliedmaße als vorberichtlich häufig genannte Ursache an. Im Gegensatz zu den Fleischfressern, bei denen eine reine Ellbogengelenkluxation als selten eingestuft wird, berichteten Ertelt et al. (2006), dass diese beim Kaninchen die häufigste zu beobachtende Gelenkluxation sei. So sollen beim Kaninchen Luxationen des Ellbogengelenkes häufiger vorkommen, als Luxationen des Hüftgelenks oder anderer Gelenke wie des Karpal- oder Tarsalgelenkes. (Lorinson und Grösslinger 2007, Grams 2007).

## LITERATURÜBERSICHT

### 2.2.6. Luxatio antebrachii congenitalis, Kaninchen

Zur kongenitalen Ellbogengelenkluxation liegen beim Kaninchen keine Daten oder Berichte vor.

## 3 Material und Methoden

### 3.1. Material

#### 3.1.1. Datensatzübersicht und makroskopische Untersuchung

Für die Druckbelastungsversuche standen die Gliedmaßen von 29 Katzen, 20 Kaninchen und 28 Hunden zur Verfügung. Eine genaue Vorgeschichte zu den einzelnen Patienten war nicht in Erfahrung zu bringen, da die aus medizinischen Gründen euthanasierten Tiere meist schon tiefgefroren gelagert waren oder von umliegenden Kliniken und kurativen Tierarztpraxen stammten, die aus Datenschutzgründen keine Patienteninformationen mitlieferten. Nachdem somit das genaue Alter der Tiere unbekannt blieb, wurden sowohl Tierkörper, die nach äußerlicher Begutachtung von juvenilen Tieren stammten, als auch Tierkörper, die extrem kachektisch waren, von den Untersuchungen ausgeschlossen. Die Tierkörper wurden bis zur Präparation der Vordergliedmaßen tiefgefroren, bei  $-20^{\circ}\text{C}$  gelagert und erst für die entsprechenden Versuche aufgetaut. Die verwendeten Vordergliedmaßen wurden noch am Tierkörper bis zum Karpalgelenk gehäutet und anschließend samt Schulterblatt abgesetzt. Für die Untersuchungen wurden nur Gelenke verwendet, die keinerlei pathologische Veränderungen aufwiesen. In den folgenden Tabellen sind mindestens Angaben über die Tierart, Rasse, Geschlecht und Körpergewicht der Versuchstiere aufgeführt.

#### 3.1.2. Hund

Es wurden insgesamt 28 Hundekadaver, mit 56 Vordergliedmaßen als Ausgangsmaterial für die Belastungsversuche begutachtet. Dabei wurden 8 Gliedmaßen schon bei der äußerlichen Begutachtung aufgrund pathologischer Veränderungen verworfen. Von den 48 Vordergliedmaßen, die dann noch für die Belastungsversuche zur Verfügung standen, wurden die Datensätze von 6 weiteren Gliedmaßen bei der Nachpräparation, wegen pathologischer Veränderungen am Ellbogengelenk, verworfen.

## MATERIAL UND METHODEN

### 3.1.2.1. Gestreckte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel stammten 7 Vordergliedmaßen von männlichen Tieren und 13 Vordergliedmaßen von weiblichen Tieren. Die 7 Vordergliedmaßen, die von männlichen Tieren stammten, setzten sich aus 2 Gliedmaßenpaaren, 1 linken und 2 rechten Vordergliedmaßen zusammen. Die 13 Vordergliedmaßen, die von weiblichen Tieren stammten, bestanden aus 6 Gliedmaßenpaaren und 1 linken Vordergliedmaße. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $11,13 \text{ kg} \pm 4,28 \text{ kg}$  (zwischen 1,9 kg und 15,5 kg).

Tabelle 1: Versuchstierdaten gestreckte Vordergliedmaße Hund

Tierart	Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Hund	Mischling	♂	links	13,30
Hund	Mischling	♀	links	1,90
Hund	Mischling	♀	rechts	1,90
Hund	Pudel	♀	links	9,70
Hund	Pudel	♀	rechts	9,70
Hund	Mischling	♀	links	8,30
Hund	Mischling	♀	links	10,08
Hund	Mischling	♀	rechts	10,08
Hund	Collie	♀	links	14,80
Hund	Collie	♀	rechts	14,80
Hund	Mischling	♀	links	14,32
Hund	Mischling	♀	rechts	14,32
Hund	Mischling	♀	links	15,50
Hund	Mischling	♀	rechts	15,50
Hund	Mischling	♂	rechts	12,10
Hund	Mischling	♂	rechts	14,70
Hund	Dackel	♂	links	6,60
Hund	Dackel	♂	rechts	6,60
Hund	Mischling	♂	links	14,20
Hund	Mischling	♂	rechts	14,20

### 3.1.2.2. 90° gebeugte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel wurden 10 Vordergliedmaßen von männlichen Tieren und 2 Vordergliedmaßen von 1 weiblichen Tier getestet. Die 10 Vordergliedmaßen, die von männlichen Tieren stammten, setzten sich aus 4 Gliedmaßenpaaren, 1 linken sowie einer rechten Vorder-

## MATERIAL UND METHODEN

gliedmaße zusammen. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $14,0 \text{ kg} \pm 6,92 \text{ kg}$  (zwischen  $7,2 \text{ kg}$  und  $23,2 \text{ kg}$ ).

Tabelle 2: Versuchstierdaten  $90^\circ$  gebeugte Vordergliedmaße Hund

Tierart	Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Hund	Mischling	♂	links	16,40
Hund	Mischling	♂	rechts	7,20
Hund	Dackel	♂	links	7,20
Hund	Dackel	♂	rechts	7,20
Hund	Retriever	♀	links	7,80
Hund	Retriever	♀	rechts	7,80
Hund	Mischling	♂	links	12,00
Hund	Mischling	♂	rechts	12,00
Hund	Husky	♂	links	23,20
Hund	Husky	♂	rechts	23,20
Hund	Mischling	♂	links	22,00
Hund	Mischling	♂	rechts	22,00

### 3.1.2.3. Stark gebeugte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel wurden 5 Vordergliedmaßen männlicher Tiere und 5 Vordergliedmaßen weiblicher Tiere getestet. Die 5 Vordergliedmaßen, die von männlichen Tieren stammten, setzten sich aus 2 Gliedmaßenpaaren und 1 rechten Vordergliedmaße zusammen. Die 5 Vordergliedmaßen weiblicher Tiere bestanden aus 2 Gliedmaßenpaaren und 1 linken Vordergliedmaße. Das durchschnittliche Körpergewicht lag bei  $8,57 \text{ kg} \pm 0,97 \text{ kg}$  (zwischen  $7,00 \text{ kg}$  und  $10,04 \text{ kg}$ ).

Tabelle 3: Versuchstierdaten stark gebeugte Vordergliedmaße Hund

Tierart	Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Hund	Pudel	♂	links	7,02
Hund	Pudel	♂	rechts	7,02
Hund	Mischling	♀	links	8,20
Hund	Mischling	♀	rechts	8,20
Hund	Mischling	♀	links	8,94
Hund	Mischling	♀	links	9,00
Hund	Mischling	♀	rechts	9,00
Hund	Mischling	♂	rechts	10,04
Hund	Mischling	♂	links	9,15
Hund	Mischling	♂	rechts	9,15

### 3.1.3. Katze

Es wurden 55 Vordergliedmaßen von insgesamt 29 Katzen im Rahmen der Versuchsreihe ausgewertet, wobei 3 Gliedmaßen im Vorfeld der äußerlichen Begutachtung verworfen wurden. Dabei waren die Messdatensätze von 22 Vordergliedmaßen männlicher Tiere und von 26 Vordergliedmaßen weiblicher Tiere auswertbar. Aufgrund pathologischer Veränderungen wurden 7 Gliedmaßendatensätze von 5 Katzen verworfen. Im Rahmen der Vorversuche für alle 3 Testwinkel wurden insgesamt 18 Vordergliedmaßen von 9 Katzen verwendet.

#### 3.1.3.1. Gestreckte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel wurden 7 Vordergliedmaßen von männlichen Tieren und 8 Vordergliedmaßen von weiblichen Tieren getestet. Die 7 Vordergliedmaßen, die von männlichen Tieren stammten, bestanden aus 3 Gliedmaßenpaaren und 1 rechten Vordergliedmaße. Die 8 Vordergliedmaßen weiblicher Tiere bestanden aus 3 Gliedmaßenpaaren, 1 linken sowie 1 rechten Vordergliedmaße. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $2,74 \text{ kg} \pm 0,99 \text{ kg}$  (zwischen 2,66 kg und 5,38 kg).

## MATERIAL UND METHODEN

Tabelle 4: Versuchstierdaten gestreckte Vordergliedmaße Katze

Tierart	Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	2,74
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	2,74
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	4,36
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	4,36
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	2,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	2,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	3,56
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	3,56
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	5,38
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	5,38
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	4,06
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	4,24
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	2,70
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	2,70
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	2,70

### 3.1.3.2. 90° gebeugte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel wurden 5 Gliedmaßenpaare männlicher Tiere und 4 Gliedmaßenpaare weiblicher Tiere getestet. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $3,62\text{kg} \pm 0,97\text{ kg}$  (zwischen 2,34 kg und 5,68 kg).

## MATERIAL UND METHODEN

Tabelle 5: Versuchstierdaten 90 ° gebeugte Vordergliedmaße Katze

Tierart	Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	2,34
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	2,34
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	2,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	2,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	3,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	3,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	2,86
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	2,86
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	3,52
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	3,52
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	3,68
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	3,68
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	5,68
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	5,68
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	4,34
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	4,34
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	3,80
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	3,80

### 3.1.3.3. Stark gebeugte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel wurden insgesamt 15 Vordergliedmaßen getestet. 5 Vordergliedmaßen stammten von männlichen und 10 Vordergliedmaßen von weiblichen Tieren. Die 5 Vorder-

## MATERIAL UND METHODEN

gliedmaßen, die von männlichen Tieren stammten, bestanden aus 2 Gliedmaßenpaaren und 1 linken Vordergliedmaße. Die 10 Vordergliedmaßen, die von weiblichen Tieren stammten, bestanden aus 4 Gliedmaßenpaaren und 2 rechten Vordergliedmaßen. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $3,90 \text{ kg} \pm 1,16 \text{ kg}$  (zwischen 1,66 kg und 5,36 kg).

Tabelle 6: Versuchstierdaten stark gebeugte Vordergliedmaße Katze

Tierart	Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	4,34
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	4,34
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	3,18
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	4,36
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	4,36
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	5,36
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	5,36
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	1,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	1,66
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	4,10
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	rechts	4,10
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	links	4,80
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	4,80
Katze	europäisch Kurzhaar	♀	rechts	3,44
Katze	europäisch Kurzhaar	♂	links	2,70

## MATERIAL UND METHODEN

### 3.1.4. Kaninchen

Die Übersicht der Versuchsdatensätze für die Tierart Kaninchen zeigte, dass insgesamt 40 Vordergliedmaßen von 20 Kaninchen getestet wurden. Davon waren alle 40 Versuche gültig. Es stammten 14 Vordergliedmaßen von männlichen Tieren und 26 Vordergliedmaßen von weiblichen Tieren. Im Rahmen der Vorversuche wurden 12 Vordergliedmaßen von 6 Kaninchen verwendet.

#### 3.1.4.1. Gestreckte Vordergliedmaße

Bei diesem Testwinkel wurden insgesamt 18 Vordergliedmaßen getestet, wobei 3 Gliedmaßenpaare von männlichen und 6 Gliedmaßenpaare von weiblichen Tieren stammten. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $1,49 \text{ kg} \pm 0,44 \text{ kg}$  (zwischen 0,86 kg und 2,18 kg).

Tabelle 7: Versuchstierdaten gestreckte Vordergliedmaße Kaninchen

Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Zwergkaninchen	♀	links	2,16
Zwergkaninchen	♀	rechts	2,16
Zwergkaninchen	♀	links	1,22
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,22
Zwergkaninchen	♂	links	1,34
Zwergkaninchen	♂	rechts	1,34
Zwergkaninchen	♀	links	1,44
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,44
Zwergkaninchen	♀	links	1,56
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,56
Zwergkaninchen	♀	links	1,58
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,58
Zwergkaninchen	♂	links	2,18
Zwergkaninchen	♂	rechts	2,18
Zwergkaninchen	♀	links	1,05
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,05
Zwergkaninchen	♂	links	0,86
Zwergkaninchen	♂	rechts	0,86

## MATERIAL UND METHODEN

### 3.1.4.2 90° gebeugte Vordergliedmaße

Es wurden insgesamt 12 Vordergliedmaßen getestet. 2 Gliedmaßenpaare stammten von männlichen Tieren und 4 Gliedmaßenpaare von weiblichen Tieren. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $2,24 \text{ kg} \pm 0,47 \text{ kg}$  (zwischen 1,46 kg und 2,68 kg).

Tabelle 8: Versuchstierdaten 90 ° gebeugte Vordergliedmaße Kaninchen

Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Zwergkaninchen	♀	links	2,66
Zwergkaninchen	♀	rechts	2,66
Zwergkaninchen	♀	links	2,14
Zwergkaninchen	♀	rechts	2,14
Zwergkaninchen	♀	links	1,46
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,46
Zwergkaninchen	♂	links	1,90
Zwergkaninchen	♂	rechts	1,90
Zwergkaninchen	♀	links	2,58
Zwergkaninchen	♀	rechts	2,58
Zwergkaninchen	♂	links	2,68
Zwergkaninchen	♂	rechts	2,68

### 3.1.4.3 Stark gebeugte Vordergliedmaße

In dieser Testserie wurden insgesamt 10 Vordergliedmaßen getestet. 2 Gliedmaßenpaare stammten von männlichen Tieren und 3 Gliedmaßenpaare von weiblichen Tieren. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug  $1,64 \text{ kg} \pm 0,44 \text{ kg}$  (zwischen 1,22 kg und 2,44 kg).

Tabelle 9: Versuchstierdaten stark gebeugte Vordergliedmaße Kaninchen

Rasse	Geschlecht	Vordergliedmaße	Körpergewicht
Zwergkaninchen	♀	links	1,22
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,22
Zwergkaninchen	♀	links	1,44
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,44
Zwergkaninchen	♂	links	1,64
Zwergkaninchen	♂	rechts	1,64
Zwergkaninchen	♀	links	1,46
Zwergkaninchen	♀	rechts	1,46
Zwergkaninchen	♂	links	2,44
Zwergkaninchen	♂	rechts	2,44

### 3.2. Methode

#### 3.2.1. Vorbereitung der Probe

An einer gehäuteten Gliedmaße wurde ein Schnitt transversal in der Mitte des Humerusschaftes durch den M. triceps brachii bis auf den Humerusknochen gesetzt, der dann kreisförmig um 360° vervollständigt wurde. Im Anschluss daran wurde das Schulterblatt im Schultergelenk exartikuliert, Muskulatur und anderes Weichteilgewebe proximal der Schnittstelle abpräpariert und der Humerus freigelegt. Der Humeruskopf wurde am Collum humeri mit einer Bandsäge abgesetzt. Die Muskulatur distal der Schnittstelle wurde bis auf Höhe des Ursprunges des M. anconaeus stumpf mit einer Pinzette zurückpräpariert.

An den Unterarmknochen wurden das Radiusköpfchen und die tierartlich unterschiedlich gut ausgebildeten ulnaren Koronarfortsätze ertastet und 20 mm distal von diesen Strukturen das Weichteilgewebe mit einem kreisrunden, transversalen Schnitt durchtrennt. Um die Unterarmknochen distal der Schnittstelle freizulegen, wurden sie von Muskulatur und Weichteilgewebe befreit, wobei jedoch die Strukturen im Spatium interosseum antebrachii unberührt blieben. Anschließend wurden die Unterarmknochen im Karpalgelenk exartikuliert. Somit war das Ellbogengelenk sowohl proximal als auch distal von intaktem Weichteilgewebe, Gelenkbändern und der Gelenkkapsel umgeben. Die so vorbereiteten Gliedmaßen wurden mittig am Humerusschaft mit einer Drahtschlinge (0,9 mm Stahldraht, verzinkt) versehen, deren freie Enden der Innenkontur einer Plastikspritze anmodelliert wurden. Dadurch konnte eine

## MATERIAL UND METHODEN

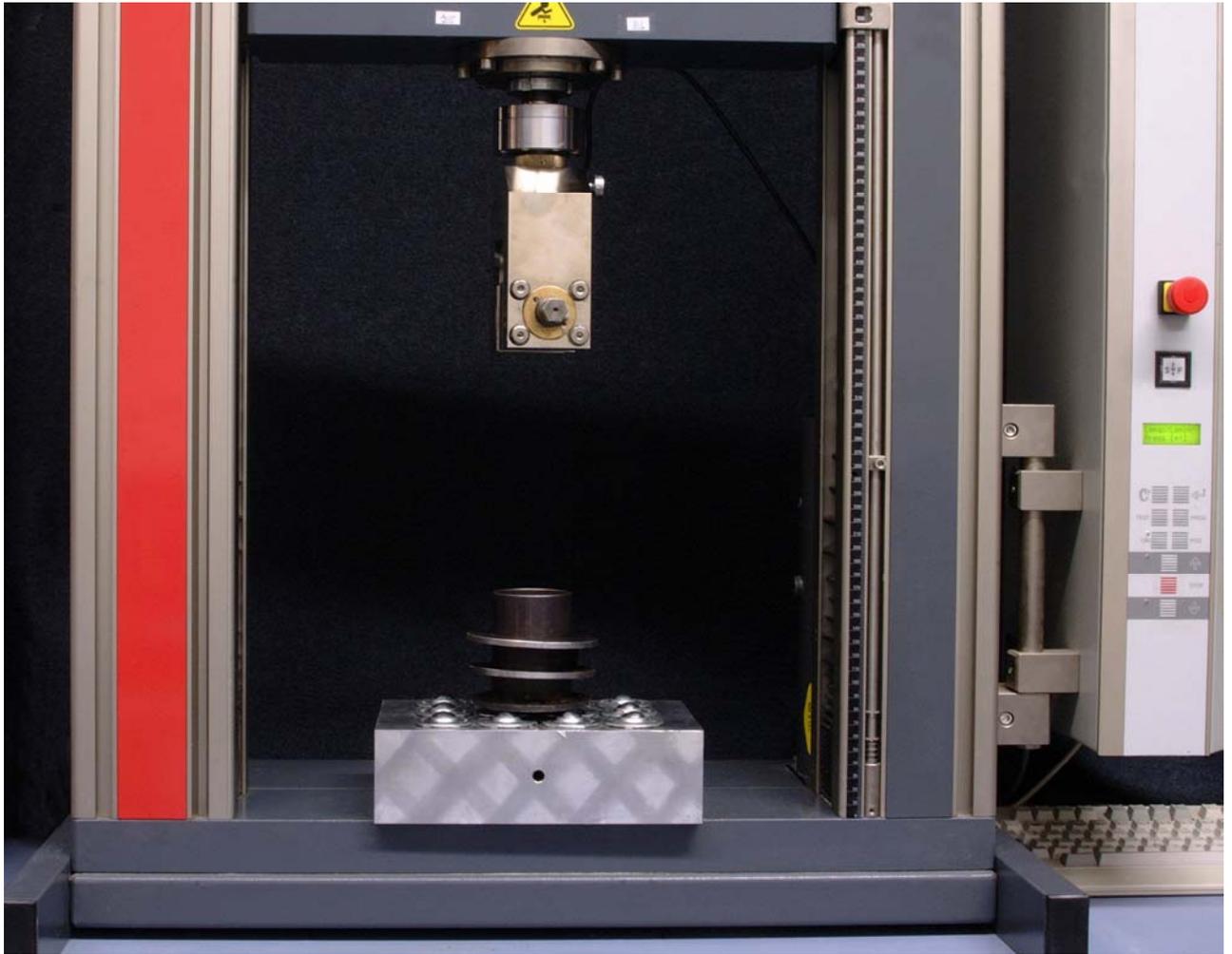
spätere zentrale Lage des Knochens innerhalb der Plastikspritzen erreicht werden. Der Humerusschaft wurde in eine Plastikspritze, deren Öffnung an der Spitze mit Klebeband verschlossen war, eingeführt. Die verwendeten Einwegspritzen waren bei Katze und Kaninchen 20 ml (24 ml) NORM-JECT<sup>®</sup>-Spritzen (HENKE, SASS, WOLF, Tuttlingen). Beim Hund wurden 50 ml Luer-Lok-Spritzen (BD Plastipak) der Firma BD Drogheda verwendet.

Im Anschluss daran wurde der gelenknahe offene Basisteil der Plastikspritze außen mit einer Drahtschlinge versehen, ohne die Form der Spritze zu verändern. Der freie Teil dieser Schlinge wurde dazu benutzt, die distale zentrierte Führung für den Humerus zu kompletieren, indem der Knochen mit einer einfachen Drahtumwicklung mittig fixiert wurde. Die distale gelenknahe Einbettungsgrenze war die Stelle, an der der M. anconaeus seinen Ursprung hatte. Der Humerus wurde dann entweder in Schnellzement (PCI Polyfix Blitz-Zement-Mörtel, PCI Augsburg GmbH) oder in Epoxidharz (Epoxidharz L, R&G GmbH D-71111 Waldenbuch) eingebettet. Schnellzement, der 45 Minuten bei Raumtemperatur aushärten konnte, war für Druckversuche in gestreckter Gelenkstellung vollkommen ausreichend, während bei Gelenkstellungen von 90° oder weniger für die Einbettung des Humerus Epoxidharz verwendet werden musste. Das Epoxidharz musste nach Herstellergaben 180 Minuten bei 50 °C aushärten. Dies geschah in einem temperierten Wasserbad, wobei durch die Wärmekapazität des Wassers die Aushärtetemperatur relativ konstant gehalten werden konnte und ein massiver unerwünschter Temperaturanstieg bei dem Aushärtvorgang ausgeschlossen werden konnte. Nachdem die Einbettung des Humerusschaftes abgeschlossen war, wurden die Unterarmknochen in einer Plastikhülse (PE-Rohr für Trinkwasser, Außendurchmesser 50 mm, Wandstärke 4,6 mm) genau senkrecht mit Schnellzement eingegossen, wobei auch hier der Bodenteil der Plastikhülse mit Klebeband vorher abgedichtet wurde. Der Schnellzement härtete anschließend 45 Minuten bei Raumtemperatur aus. Um eine starke Beugung des Ellbogengelenks bei diesem Versuchsaufbau bei Katze und Kaninchen zu ermöglichen, mussten die Unterarmknochen in Plastikhülsen mit einem möglichst geringen Durchmesser einzementiert werden (Abb. 18). Als Lösung bot sich die Verwendung von 20 ml Plastik-Einwegspritzen (20/24 ml NORM-JECT<sup>®</sup>-Spritzen) an. Die Unterarmknochen der Präparate wurden immer mit Schnellzement eingegossen, da der Schnellzement die entsprechende Druckstabilität aufwies, um diese in einer stabilen Versuchsposition zu fixieren. Mit zunehmender Beugung der Gliedmaßen gewannen Zugkräfte am Humerus an Bedeutung. Für diese Versuchsanforderung war klares, transparent aushärtendes Kunstharz am besten geeignet. Es bildete sich ein formstabiler, belastungsfähiger Einbettungskörper, der aufgrund seiner Eigenschaften einerseits eine stabile Verbindung zwischen der sauberen und leicht angerauten Kunststoff-

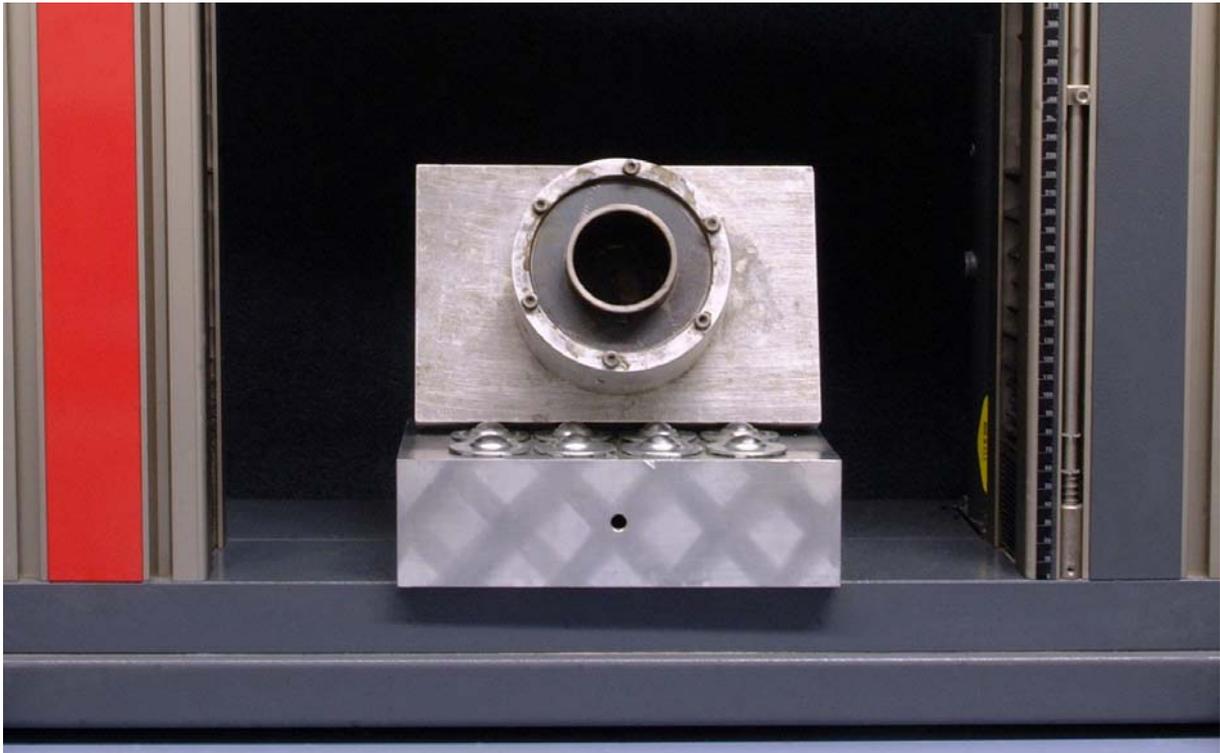
innenfläche der Einwegspritze ausbildete und andererseits sich nicht mit wässrigen Phasen vermischte. Also erreichte man durch das Eingießen von feuchtem, frisch präpariertem Knochen in Epoxidharz eine ganz dünne Epoxidharz-Wasser-Knochen-Grenzschicht, die sich ähnlich wie eine Trennwachsschicht auswirkte. Es entstand nach dem Aushärten des Epoxidharzes eine fast passgenau an die Form des Knochens anmodellerte Kunststoffnegativform. Ein ausreichend fester Sitz des Knochens gegenüber Zugkräften leitete sich aus der anatomischen Gegebenheit des Corpus humeri ab, da dieses proximal breiter ist als distal. Somit wurde durch die Kunststoffeinbettung als solches das Corpus humeri gegen ein Herausziehen während des Versuchablaufes gesichert.

### 3.2.2. Materialprüfmaschine und Druckuntersuchung

Der Versuch wurde an einer institutseigenen Universalprüfmaschine Z010 (Firma Zwick, Ulm) durchgeführt. Das wie vorher beschrieben vorbereitete Versuchspräparat wurde mit der Hülse, in die die Unterarmknochen einzementiert waren, in einen eigens dafür hergestellten metallischen Standzylinder (Abb. 14) eingesteckt. An diesem Standzylinder befanden sich zwei Distanzscheiben mit einem unterschiedlichen Außendurchmesser. Dieser Standzylinder wurde in einen Aluminiumbecher mit konischem Innendurchmesser gestellt, wobei eine stabile, zentrale Positionierung des Standzylinders im Aluminiumbecher durch die beiden Distanzscheiben garantiert war (Abb. 15).

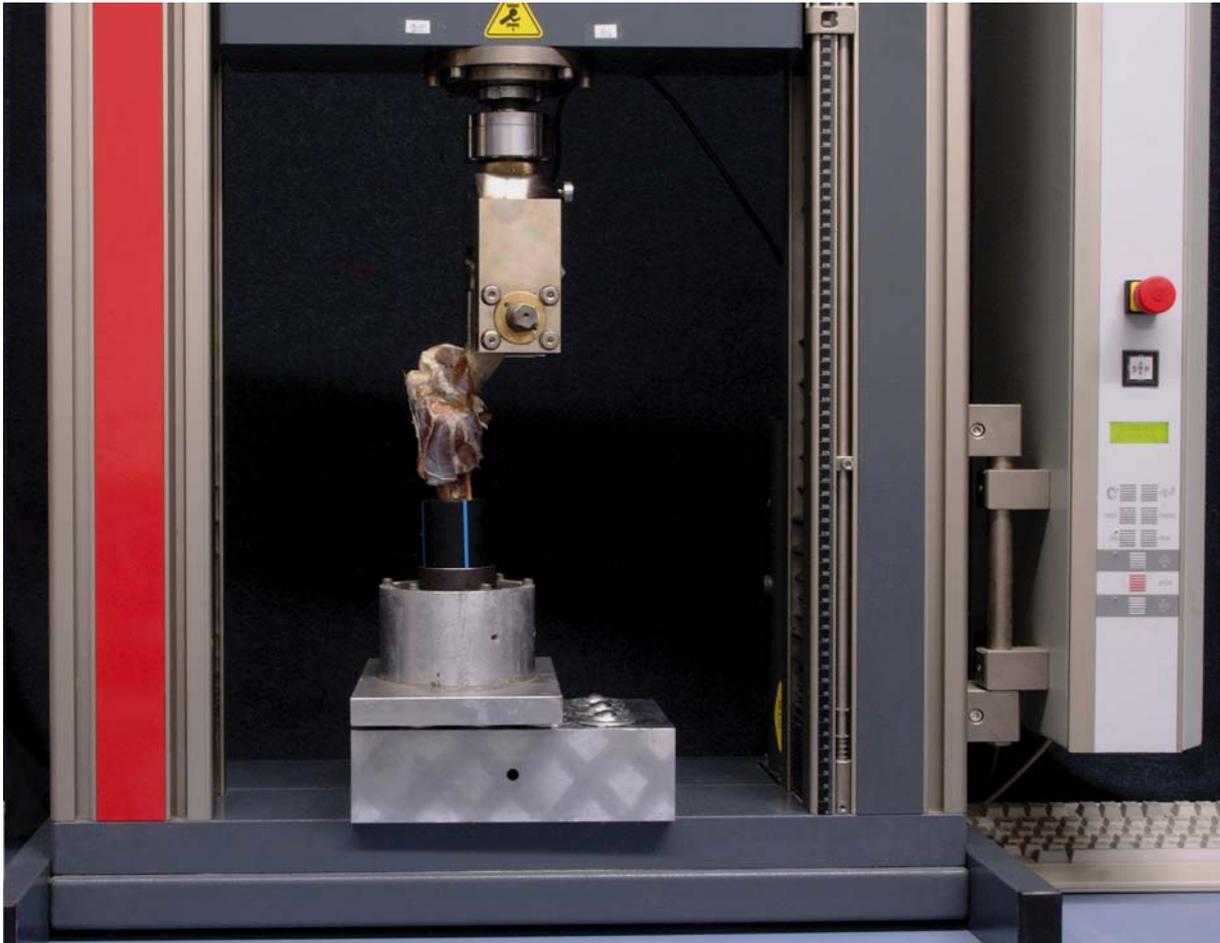


**Abbildung 14:** Standzylinder mit den Distanzscheiben auf der Kugellagerfläche der Z10



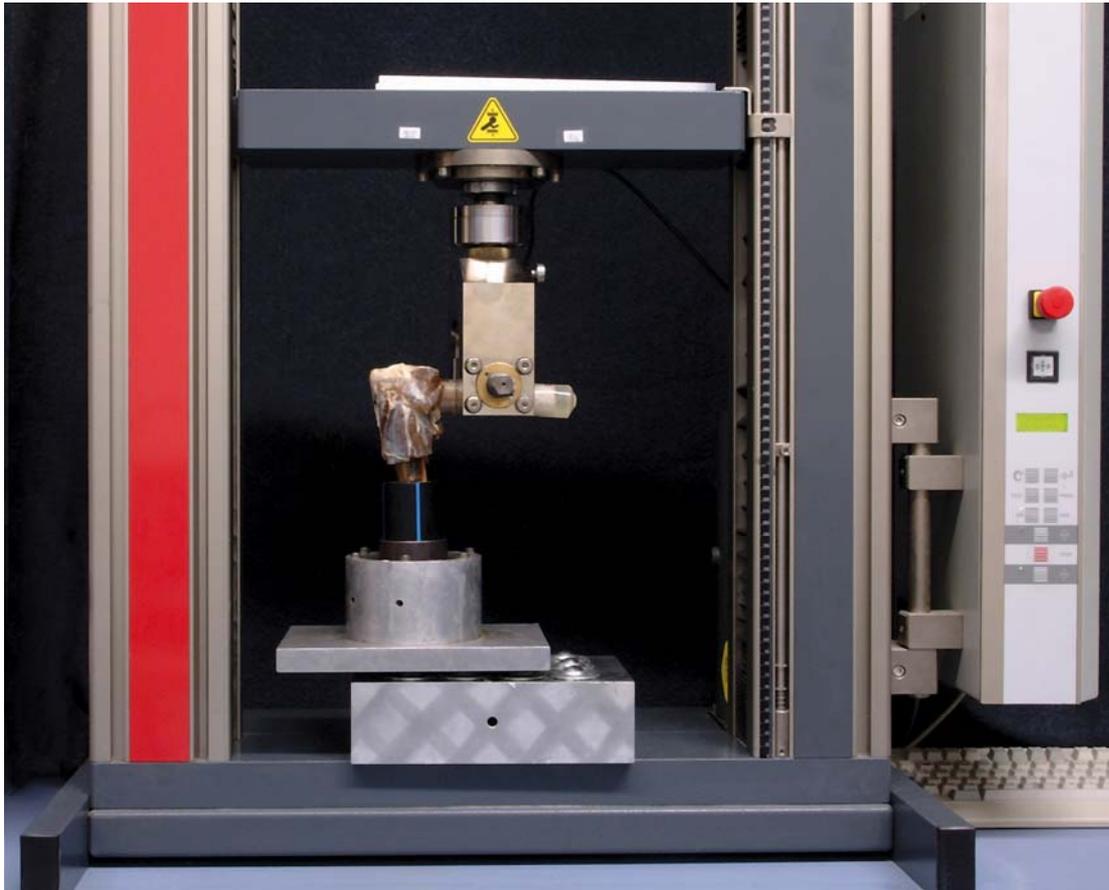
**Abbildung 15:** Aluminiumbecher mit eingestecktem Standzylinder.

Der Aluminiumbecher wurde auf eine kugelgelagerte Grundfläche der Materialprüfmaschine gestellt, wodurch dieser freibeweglich gelagert war (Abb. 16). Der in eine Einwegspritze eingegossene Humerusanteil des Versuchpräparates wurde mit der Spannbackenvorrichtung in den entsprechenden Versuchswinkeln fest eingespannt (Abb. 16, 17, 18).

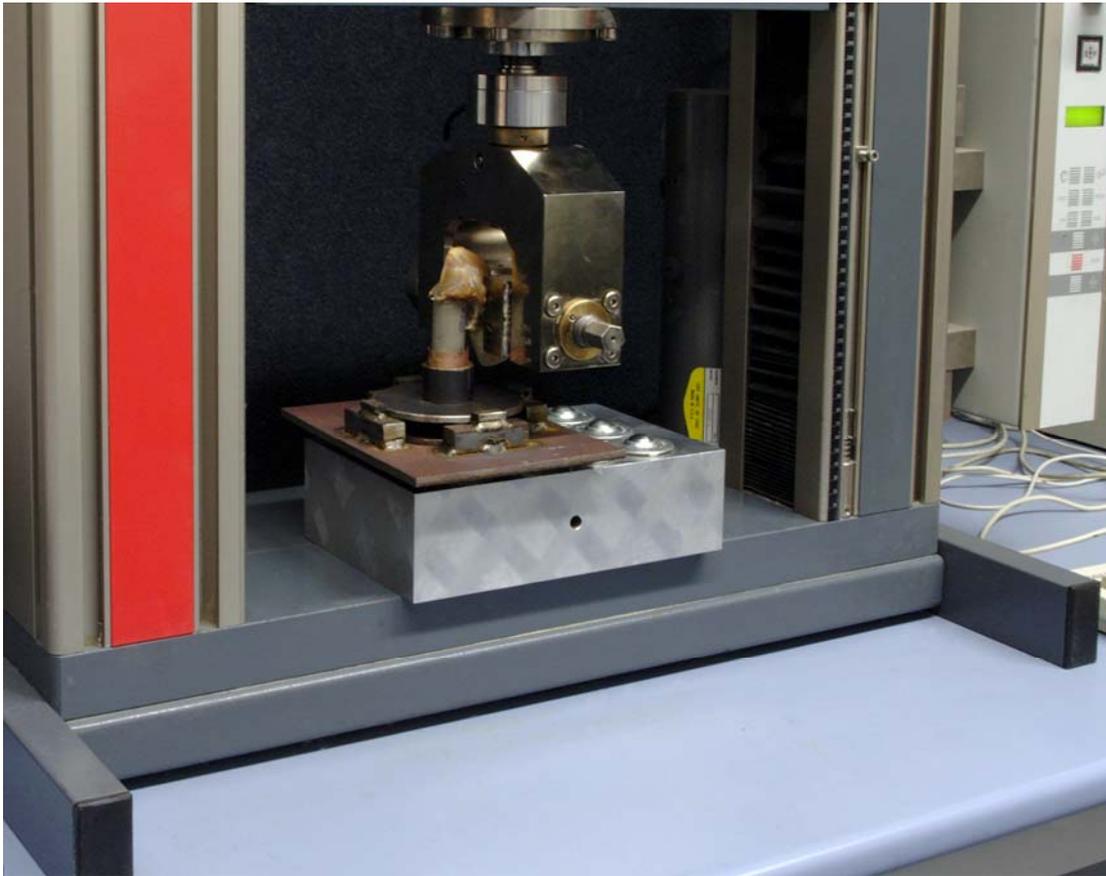


**Abbildung 16:** Vordergliedmaßenpräparat in gestreckter Gelenkwinkelung eingespannt

Bei jeder Tierart wurden Testserien an Vordergliedmaßen mit maximal gestreckten (Abb. 16), 90° gebeugten (Abb. 17) und stark gebeugten Ellbogengelenken (Abb. 18) durchgeführt. Für die maximale Streckung des Ellbogengelenks wurde das Gelenk des Versuchspräparates manuell maximal gestreckt und dann in der Versuchsvorrichtung fixiert. Um das Ellbogengelenk eines Versuchspräparates in einem 90° gebeugten Winkel zu fixieren, wurde der transparent eingegossene Humerus an der horizontalen Unterkante der Spannbackenvorrichtung ausgerichtet, ergänzt durch eine Winkelüberprüfung mit einem Geodreieck. Die stark gebeugte Winkelung war die größte mit diesem Versuchsaufbau mögliche Beugung der Versuchsgliedmaße. Diese betrug beim Hund zwischen 40° bis 45°, bei der Katze zwischen 35° und 40° und beim Kaninchen 35°.

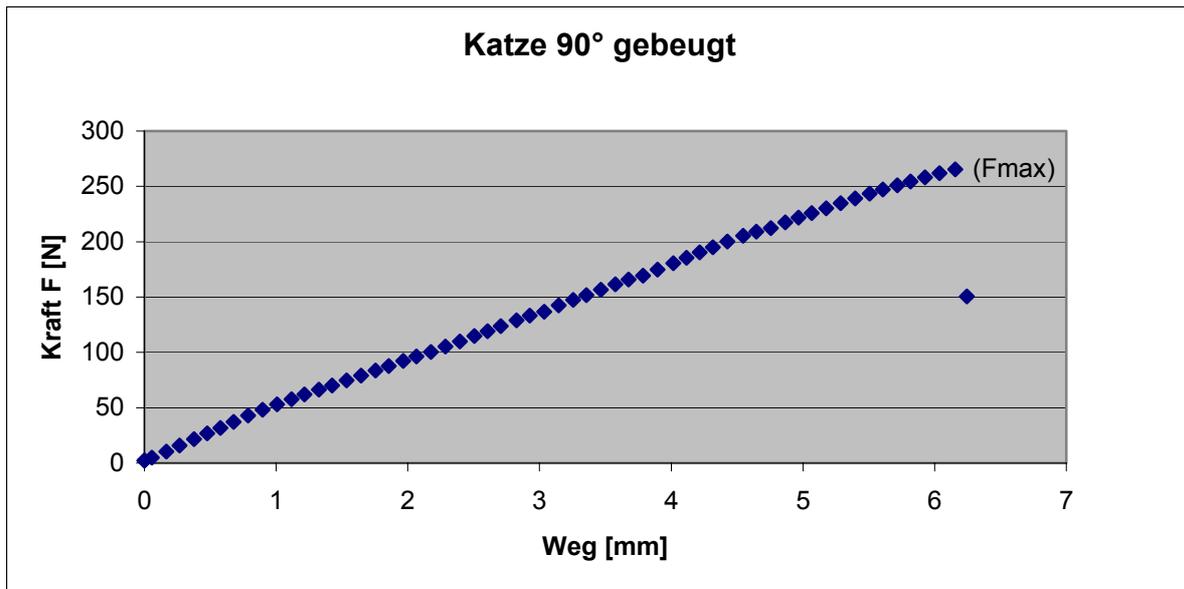


**Abbildung 17:** Vordergliedmaßenpräparat in 90° gebeugter Gelenkwinkelung eingespannt



**Abbildung 18:** Vordergliedmaßenpräparat bei stark gebeugtem Winkel eingespannt

Die Versuchskonfiguration der Materialprüfmaschine wurde so gewählt, dass bei einer Belastungsgeschwindigkeit von 30 mm/Minute alle 0,1 mm ein Kraftwert ermittelt und gespeichert wurde. Das Versuchsende war erreicht, wenn der aktuell gemessene Kraftwert um mindestens 40 % geringer war als der in der Messreihe erreichte Kraftmaximalwert ( $F_{max}$ ). Graphisch war der Messwertbereich definiert als der Bereich, der zwischen dem Ursprung (0/0) und dem Wert von  $F_{max}$  lag (Abb. 19). Diese Art der Messbereichermittlung wurde bei allen Versuchen tierartunabhängig angewandt. Die folgende Abbildung ist ein graphisches Beispiel eines Testdatensatzes, das veranschaulichen soll, wie ein auswertbarer Messwertbereich bestimmt wurde.



**Abbildung 19:** Typischer Kurvenverlauf für die Testserie bei 90° gebeugtem Ellbogengelenk

### 3.2.3. Befunderhebung an den Versuchsgliedmaßen nach einem Druckversuch

Die Gliedmaßen wurden im Anschluss an einen Druckversuch sofort auf vermehrte Beweglichkeit der Unterarmknochen in gestreckter und 90° gebeugter Stellung kontrolliert und dann präpariert. Dazu wurden die Muskeln einschließlich ihres Ursprunges, bzw. Ansatzes entfernt, um die Gelenkkapsel sowie den Bandapparat des Ellbogengelenks begutachten zu können. Bei Hund und Katze verblieben die Ursprungssehnen des M. supinator und des M. extensor digitorum communis sowie die Ansatzsehnen des M. biceps brachii und des M. brachialis am Präparat.

Nachdem die Gelenkkapsel, die Kollateralbänder und das Lig. olecrani auf diese Weise makroskopisch dargestellt und untersucht wurden, wurde die Festigkeit der Kollateralbänder kurz überprüft, indem diese Bänder mit einem Pinzettenschenkel oder einer Sonde unterlagert und kurz auf Zugfestigkeit geprüft wurden. Zur Überprüfung des Lig. anulare radii wurde die Gelenkkapsel auf der Beugeseite des Gelenks mittig mit dem Skalpell eröffnet, distal geklappt und das Band dargestellt. Die Begutachtung der Gelenkflächen und Knochen erfolgte nach Durchtrennung aller Bänder- und Kapselanteile. Zur Absicherung wurden diese im Folgenden mazeriert, getrocknet und nochmals begutachtet.

Beim Kaninchen wurde analog vorgegangen.

### 3.2.4. Statistische Methoden

#### Deskriptive Statistik:

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung und die Anzahl der Stichproben (n) angegeben.

In einem ersten Schritt wurden Stichprobendaten einem Kolmogorow-Smirnow-Test unterzogen, um festzustellen, ob die Daten normalverteilt waren. Das Ergebnis dieses Tests zeigte, dass die Daten nicht normalverteilt waren. Deshalb wurden die in Frage kommenden Testverfahren auf nichtparametrische Testverfahren beschränkt. So wurden der Kruskal-Wallis-Test, der Wilcoxon-Test und der Mann-Whitney-Test zur weiteren Datenbeurteilung herangezogen. Der Kruskal-Wallis-Test wurde genutzt, um in einem ersten Überblick beurteilen zu können, ob bei mehr als zwei unabhängigen Stichproben signifikante Unterschiede auftraten. Der Mann-Whitney-Test erlaubte Aussagen bei zwei unabhängigen Stichproben in Bezug auf einen unabhängigen Parameter. Der Wilcoxon-Test wurde zur Beurteilung von Paar-Vergleichstests abhängiger Stichproben benutzt. Das Signifikanzniveau für Einfachvergleiche mit einem Testverfahren wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Bei Mehrfachvergleichen mit einem Testverfahren wurde das Signifikanzniveau auf  $p < 0,01$  gesenkt, um die Wahrscheinlichkeit für ein falsches Testergebnis zu minimieren.

## 4 Ergebnisse

### 4.1. Anatomische Verhältnisse bei Fleischfresser und Kaninchen

#### 4.1.1. Knöcherne Strukturen/ makroskopische Anatomie

##### 4.1.1.1. Fleischfresser

Die knöchernen Strukturen bei den Fleischfressern sind ausreichend in der Literatur beschrieben. Es wurden keine Abweichungen bei der Präparation der Gliedmaßen von den Verhältnissen, wie diese in der Literatur beschrieben sind, festgestellt.

##### 4.1.1.2. Kaninchen

Die anatomischen Verhältnisse bei der Tierart Kaninchen sind bei weitem nicht so ausführlich beschrieben, wie bei den Fleischfressern. Zudem stößt man auf Diskrepanzen in der Literatur. Deshalb wird im Folgenden nach eigenen Befunden die Anatomie des Ellbogengelenkes des Kaninchens beschrieben.

##### 4.1.1.2.1. Humerus

Das distale Endstück (Abb. 20, 21) des Humerus besteht aus der Gelenkwalze, dem Condylus humeri. Dieser ähnelt entlang seiner Querachse einer gerillten zylindrischen Struktur, die in der Sagittalebene paramedian durch eine Furche zweigeteilt und mit 2 Sagittalkämmen deutlich modelliert ist. Das Capitulum (Abb. 20.1, 21.1) stellt den lateralen Anteil der distalen Humerusgelenkfläche dar und ist medial durch einen scharfen Rollkamm von der Trochlea abgegrenzt. Die Trochlea (Abb. 20.2, 21.2) ist der mediale Anteil der distalen Humerusgelenkfläche, der sich direkt medial an das Capitulum anschließt und medial durch einen scharfen Rollkamm abgegrenzt ist. Der Sulcus ulnaris (Abb. 20.9, 21.9) ist zwischen dem medialen Begrenzungsrollkamm der Trochlea und dem Epicondylus medialis ausgebildet. Zwischen beiden Rollkämmen, die die Trochlea medial und lateral begrenzen, befindet sich die oben erwähnte sagittale Furche (Abb. 21.2'). Die Furche verläuft zirkulär, leicht schräg paramedian von der kranialen Fossa radialis (Abb. 20.5, 21.5) zur kaudalen Fossa olecrani

## ERGEBNISSE

(Abb. 21.5'). Ihr Verlauf beginnt lateral in der Fossa radialis und streicht medial in der Fossa olecrani aus. In dieser Furche gleitet anteilsweise im physiologischen Gelenk der Proc. coronoideus radii (Abb. 20.4, 22), der bei starker Flexion in der Fossa radialis zu liegen kommt. Die beiden Rollkämme, die die Trochlea lateral und medial begrenzen, haben in der kranialen und kaudalen Ansicht (Abb. 21) einen unterschiedlichen Verlauf. Der laterale Rollkamm verläuft kranial an der Grenze zwischen Capitulum und Trochlea distomedial. In der kaudalen Ansicht schwenkt dieser distolateral, in einer gedachten Linie auf die Crista supracondylaris lateralis zu und geht in die Wand der Fossa olecrani über. Der mediale Rollkamm zieht in der kranialen Ansicht sagittal distal, um in der kaudalen Ansicht proximolateral einzubiegen, bevor dieser in die Wand der Fossa olecrani übergeht. Ein Foramen supratrochleare (Abb. 20, 21), das die beiden Fossae miteinander verbindet, ist bei den in dieser Arbeit untersuchten Gliedmaßen, stets nachzuweisen gewesen. In der Fossa olecrani befindet sich eine Artikulationsfläche für den Proc. anconaeus ulnae, die durch die oben beschriebene Furche in einen kleineren medialen und einen größeren lateralen Anteil unterteilt ist.

### 4.1.1.2.2. Radius

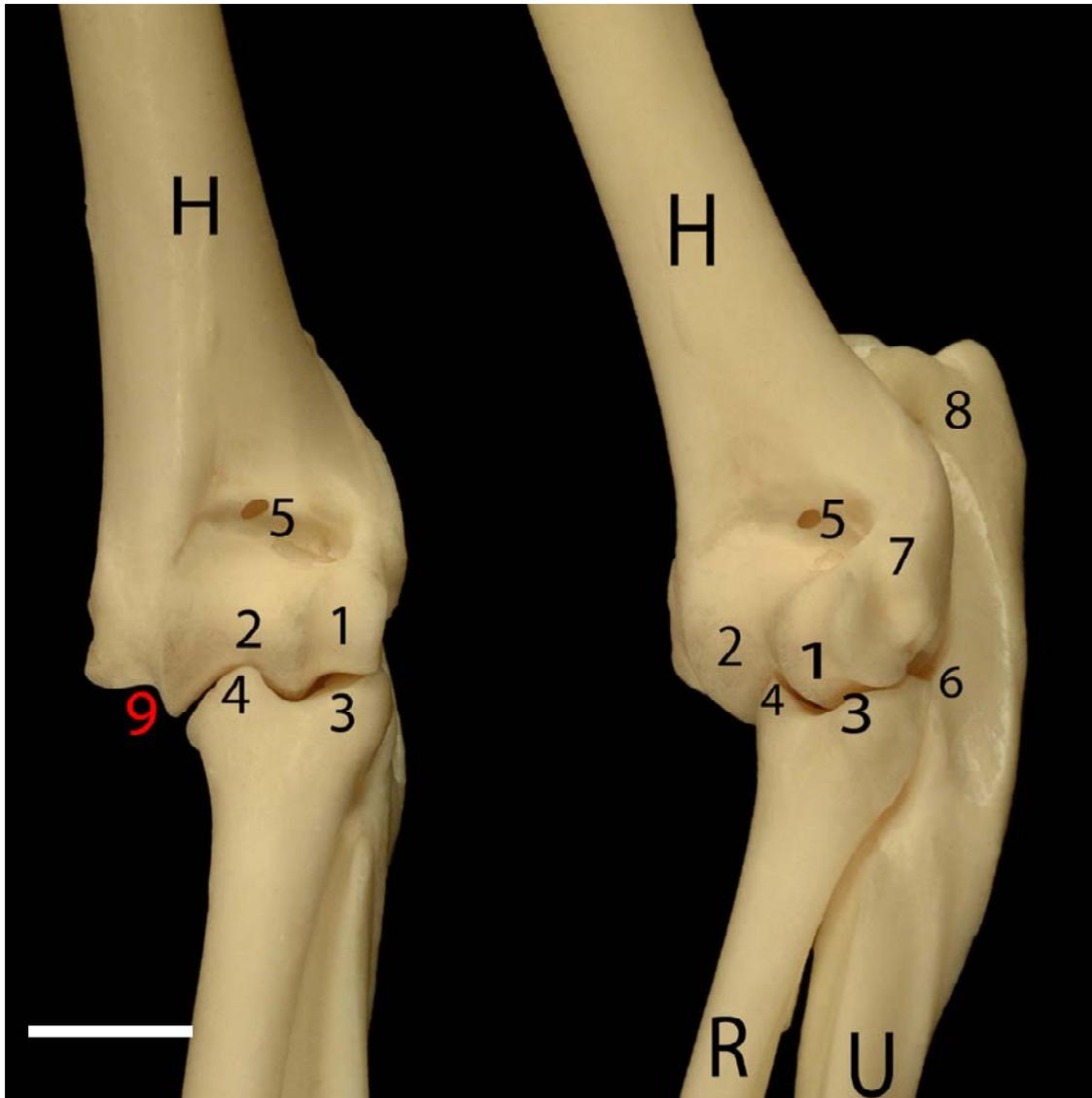
Die proximale Gelenkfläche des Radiuskopfes (Abb. 21, 22), Fovea capitis, artikuliert sowohl mit dem Capitulum humeri, als auch mit der Trochlea humeri und ist diesen Strukturen passgenau anmodelliert. So ist diese Gelenkfläche durch eine Furche in einen kleineren lateralen und einen größeren medialen Anteil gegliedert (Abb. 22). Die kleinere laterale Gelenkfläche dient als Widerlager für das Capitulum humeri und die größere mediale Gelenkfläche stellt das Widerlager für die Trochlea humeri dar. Die Furche entspricht dem Gegenstück für den Rollkamm entlang der Grenze zwischen Capitulum und Trochlea humeri. Kraniomedial der Furche ist die Fovea capitis zu einem Fortsatz, dem Proc. coronoideus (Abb. 20.4, 22), ausgezogen.

### 4.1.1.2.3. Ulna

Der proximale Bereich der Ulna, vor allem das Olekranon, wirkt im Vergleich zum Ulnaschaft seitlich zusammengedrückt. Das Tuber olecrani weist eine Längsrinne auf. Medial und lateral der Längsrinne liegen zwei Höcker. Der Proc. anconaeus ist hakenförmig geformt. Seine Gelenkfläche passt sich den Gelenkflächenverhältnissen seiner Knochenführung in der Fossa olecrani an und besitzt eine im Verhältnis größere laterale, als mediale Gelenkfläche. Die sich distal anschließende Inc. trochlearis artikuliert ausschließlich mit der Trochlea

## ERGEBNISSE

humeri und läuft lateral sowie medial in die schwach ausgebildeten Procc. coronoidei medialis et lateralis aus (Abb. 23).

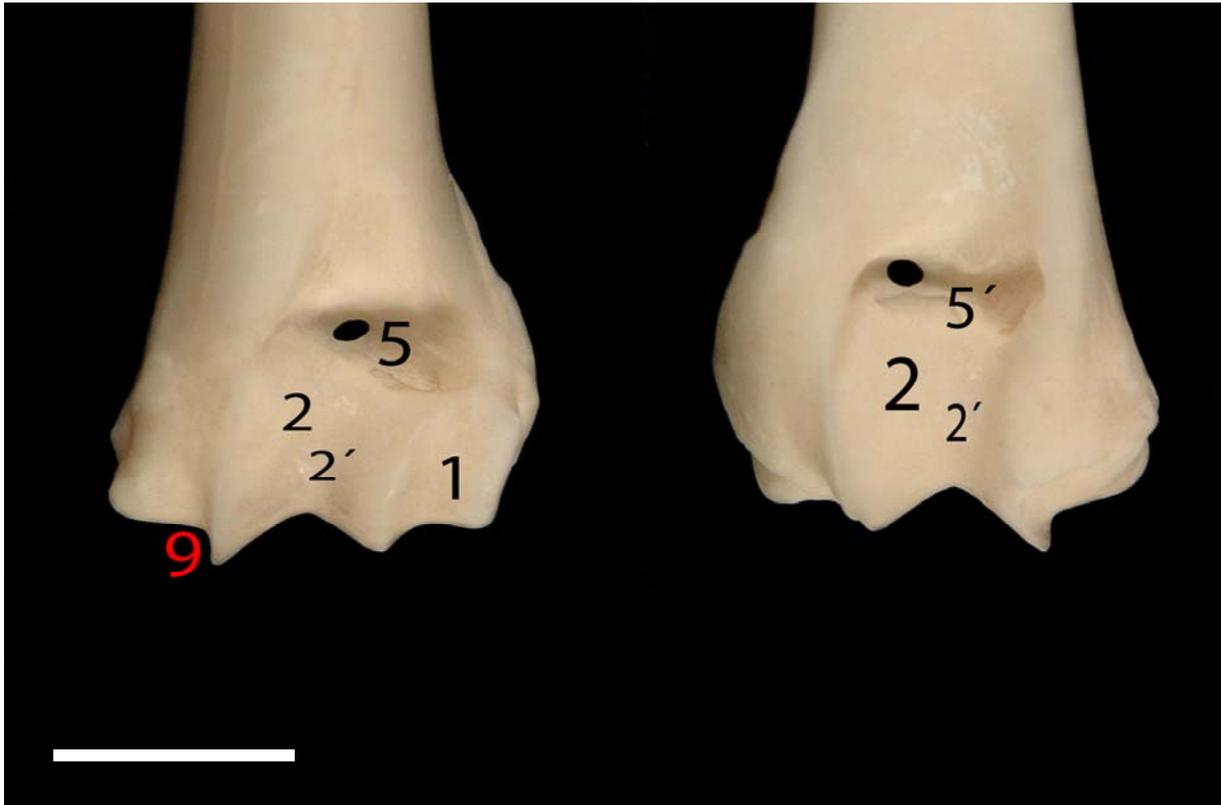


**Abbildung 20:** Kraniale und laterale Ansicht von linkem Humerus, Radius und Ulna, Kaninchen

Legende zu Abb. 20:

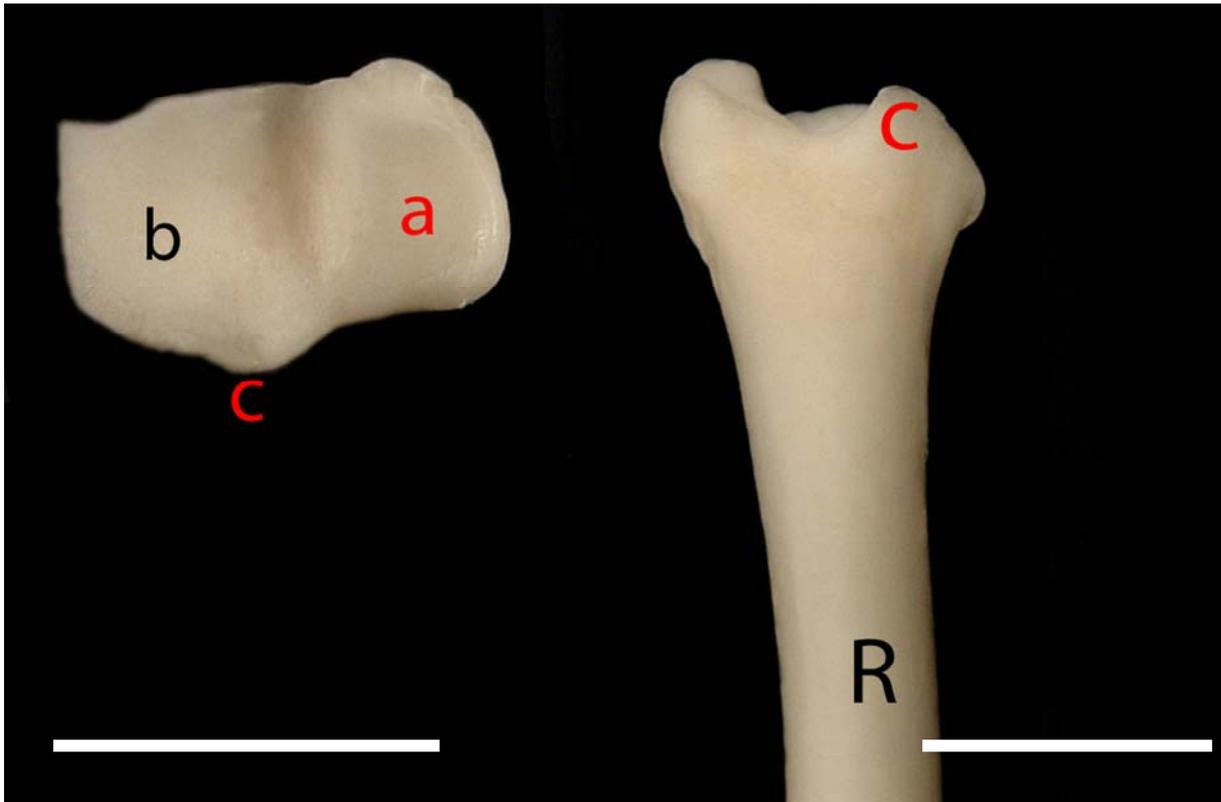
H = Humerus, R = Radius, U = Ulna.

1 Capitulum humeri, 2 Trochlea humeri, 3 Caput radii, 4 Proc. coronoideus radii, 5 Fossa radialis (mit For. supratrochleare), 6 Proc. coronoideus lateralis ulnae, 7 Epicondylus lateralis, 8 Tuber olecrani, 9 **Sulcus ulnaris**, der weiße Balken entspricht 5 mm.



**Abbildung 21:** Kraniale Ansicht, Condylus humeri und kaudale Ansicht, Condylus humeri, Kaninchen

Legende zu Abb. 21: 1 Capitulum, 2 Trochlea, 2' Sagittalrinne an der Trochlea, 5 Fossa radialis (mit For. supratrochleare), 5' Fossa olecrani (mit For. supratrochleare), 9 **Sulcus ulnaris**, der weiße Balken entspricht 5 mm.

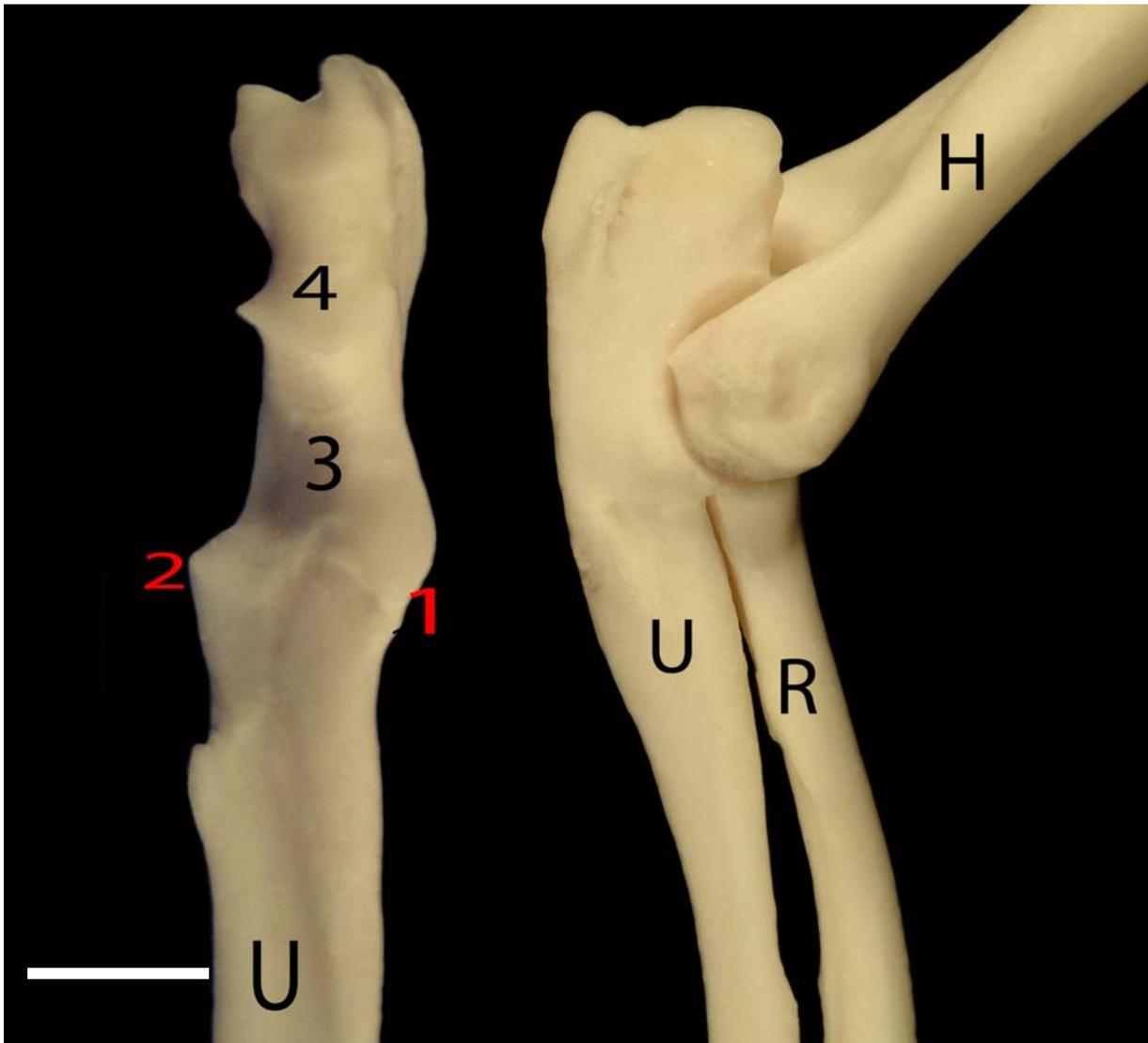


**Abbildung 22:** Proximale Ansicht der Fovea capitis, linker Radius und rechter Radius, kranial, Kaninchen

Legende zu Abb. 22:

**a** lateraler Gelenkflächenanteil, **b** medialer Gelenkflächenanteil, **c** Proc. coronoideus,

R= Radius, die weißen Balken entsprechen 5 mm.



**Abbildung 23:** Rechte Ulna und mediale Ansicht, linker Humerus, Radius und Ulna, Kaninchen

Legende zu Abb. 23:

H = Humerus, R = Radius, U = Ulna.

**1 Proc. coronoideus medialis, 2 Proc. coronoideus lateralis, 3 Incisura trochlearis, 4 Proc. anconaeus, der weiße Balken entspricht 5 mm.**

### 4.1.2. Bandapparat Tierart Kaninchen

An den präparierten Ellbogengelenken konnten ein Lig. collaterale laterale, ein Lig. collaterale mediale, ein Lig. olecrani und ein Lig. obliquum makroskopisch nachgewiesen werden.

- **Lig. collaterale laterale:**

Dieses hat seinen Ursprung am Epicondylus lateralis humeri. Es ist zweischenklig und setzt mit einem schmalen ulnaren Schenkel distal des schwach ausgebildeten Proc. coronoideus lateralis ulnae und mit seinem schmalen radialen Schenkel distal des Caput radii an.

- **Lig. collaterale mediale:**

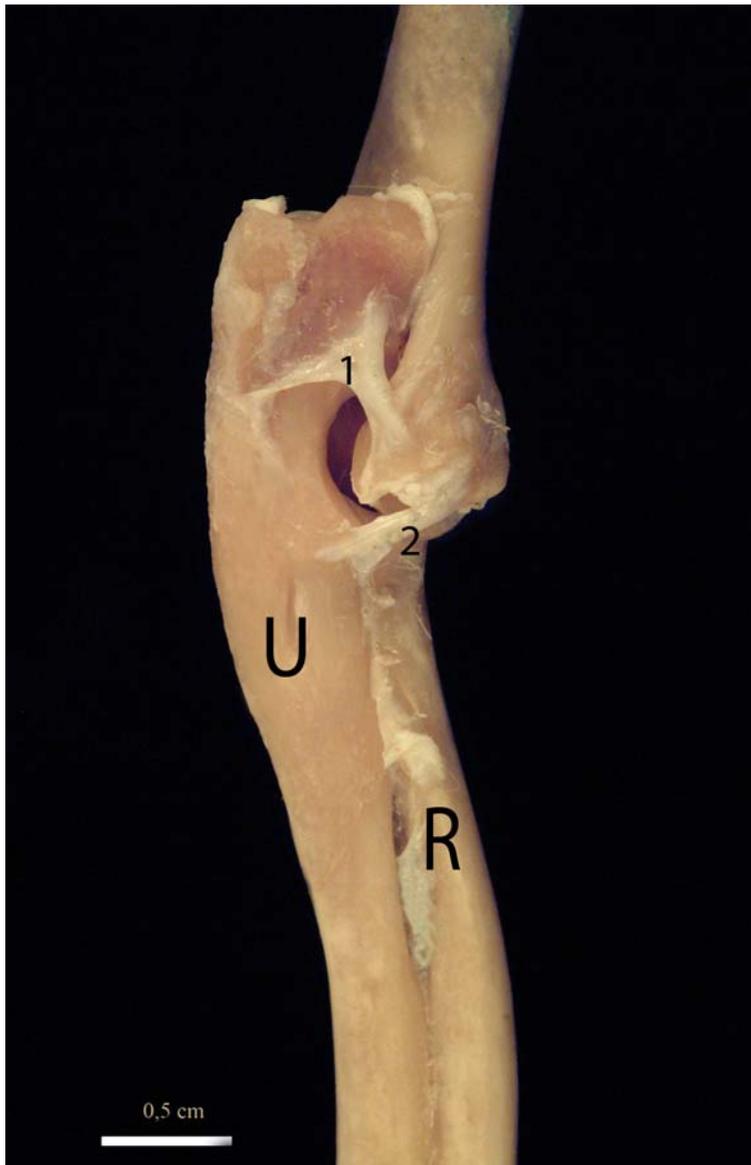
Das mediale Kollateralband entspringt am Epicondylus medialis humeri und ist zweischenklig. Der ulnare Schenkel hat seinen Ansatz in der Nähe des Proc. coronoideus medialis ulnae. Der radiale Schenkel setzt distal des Caput radii an.

- **Lig. olecrani:**

Das Lig. olecrani konnte nicht bei allen Gliedmaßen sicher makroskopisch nachgewiesen werden. Doch verläuft es, wie Abb. 24 zeigt, zwischen dem kaudalen Rand des Epicondylus medialis humeri und dem proximokaudalen Bereich des Tuber olecrani. Es wird vom M. articularis cubiti bedeckt.

- **Lig. obliquum:**

Dabei handelt es sich um eine Kapselverstärkung auf der Beugeseite des Gelenks. Es zieht von proximolateral nach distomedial.



**Abbildung 24:** Ligamentum olecrani

Legende zu Abb. 15:

R = Radius, U = Ulna. 1 Lig. olecrani, 2 Lig. collaterale mediale.

#### 4.1.3. Gelenkkapsel Tierart Kaninchen

Ansatz und Lage der Gelenkkapsel entspricht dem Verlauf, wie dieser im Literaturteil von Gruber (1995) schon beschrieben wurde.

**4.2.Luxationsversuch**

4.2.1. Hund

4.2.1.1. Gestrecktes Ellbogengelenk

Tabelle 10: Überblick über festgestellte Schäden bei gestreckten Ellbogengelenken bei 20 Hundevordergliedmaßenpräparaten

distale Humerus- schaftfraktur	Bandschaden	ohne offensichtliche Strukturschäden
<b>17</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Bei dieser Serie wurden 20 Hundegliedmaßen untersucht. Der Kraftaufnehmer legte im Schnitt  $5,65 \text{ mm} \pm 2,97 \text{ mm}$  zurück, wobei ein Fmax-Wert von  $1091,95 \text{ N} \pm 585,20 \text{ N}$  erreicht wurde. Die Frakturstelle war  $36,47 \text{ mm} \pm 8,47 \text{ mm}$  vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt. Dabei kam es in 17 Fällen zu offensichtlichen distalen Humerus-schaftfrakturen, in 1 Fall zu einer medialen Kollateralbandruptur und in 2 Fällen zu einer Versuchsabschaltung ohne offensichtliche Frakturen oder Kollateralbandschäden. Ein Vergleich der Messdatensätze der beiden Fälle, in denen es zu einer Versuchsabschaltung ohne Frakturen oder offensichtlichen Bandschäden kam, ergab, dass sie mit den Frakturdatensätzen übereinstimmten. Die anschließende Präparation zeigte bei 19 Gliedmaßen keine sichtbaren Veränderungen an den Gelenkbändern, der Gelenkkapsel und den beteiligten Gelenkflächen. In einem Fall trat eine mediale Kollateralbandruptur ohne Frakturen und weiteren Veränderungen am Gelenk auf.

## ERGEBNISSE

### 4.2.1.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk

Tabelle 11: Überblick über festgestellte Schäden bei 90° gebeugten Ellbogengelenken bei 12 Hundevordergliedmaßenpräparaten

distale Humerus- schaftfraktur	Bandschaden	Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
<b>12</b>	-	-

Bei dieser Serie wurden 12 Hundegliedmaßen ausgewertet, die alle eine distale Humerus-schaftfraktur  $36,27 \text{ mm} \pm 9,02 \text{ mm}$  über dem Zentrum des medialen Epikondylus aufwiesen. Der Kraftaufnehmer legte im Mittel  $7,58 \text{ mm} \pm 3,56 \text{ mm}$  zurück und war mit einem durchschnittlichen  $F_{\text{max}}$ -Wert von  $877,82 \text{ N} \pm 279,55 \text{ N}$  korreliert. Bei allen Ellbogengelenken konnten keine makroskopischen Veränderungen an den Gelenkbändern, der Gelenkkapsel und den beteiligten Gelenkflächen festgestellt werden.

### 4.2.1.3. Stark gebeugtes Ellbogengelenk

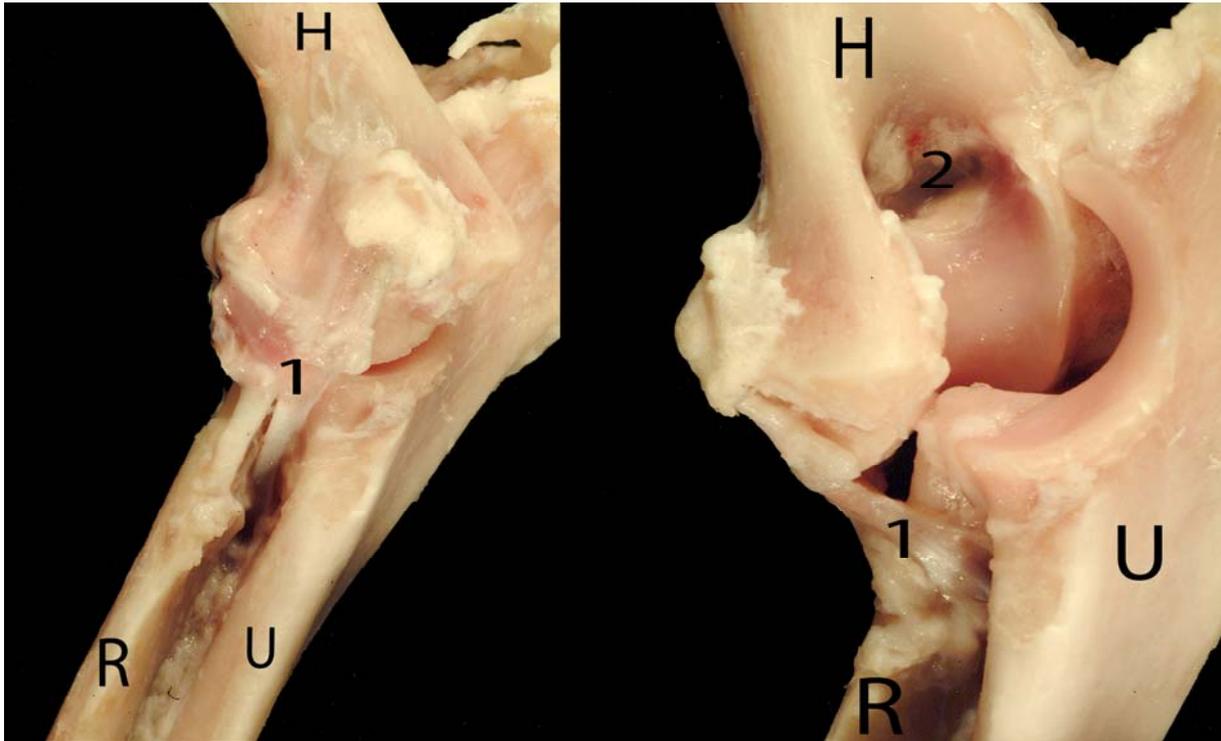
Tabelle 12: Überblick über festgestellte Schäden bei stark gebeugten Ellbogengelenken bei 10 Hundevordergliedmaßenpräparaten

Überdehn- ung medi- ales Kolla- teral-band	Subluxation	Partielle Gelenk- kapsel- ruptur	Fraktur			Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
			Humerus	Radius	Ulna	
<b>4</b>		-	-	<b>1</b>	-	-
	<b>4</b>		-	<b>1</b>		-

Im Mittel bewegte sich der Kraftaufnehmer  $13,2 \text{ mm} \pm 4,01 \text{ mm}$ . Dabei wurde ein  $F_{\text{max}}$ -Wert von  $783,67 \text{ N} \pm 450,62 \text{ N}$  erreicht. Es kam an 8 von 10 Gelenken zu medialen Kollateralbandüberdehnungen mit Subluxation, ohne Frakturen. Meist war gegen Ende des Luxationsversuchs ein deutliches „Zerreißgeräusch“ hörbar, das fast zeitgleich mit der automatischen Versuchsabschaltung auftrat. Bei der Präparation der betroffenen 8 Gliedmaßen mit medialer Kollateralbandüberdehnung konnte eine vermehrte Beweglichkeit des Humerus nach lateral

## ERGEBNISSE

festgestellt werden (Abb. 25), wobei das entstandene Spiel eine Subluxation des Gelenks ermöglichte. In 4 dieser Fälle kam es zu einer mediolateralen Ruptur der Gelenkkapsel, ansonsten waren die Gelenkstrukturen bis auf Band- und Kapselschäden makroskopisch unverändert. In 2 Fällen ereigneten sich ausschließlich Frakturen der Unterarmknochen, ohne dass es zu Schäden an den Gelenkstrukturen kam. In einem Fall war der Radius knapp distal des Caput gebrochen und in einem anderen Fall brachen beide Unterarmknochen.



**Abbildung 25:** mediale Kollateralbandüberdehnung an getesteter und präparierter Gliedmaße.

Legende zu Abb. 25:

H = Humerus, R = Radius, U = Ulna.

1 Lig. collaterale mediale, 2 Fossa olecrani

## ERGEBNISSE

### 4.2.2. Katze

#### 4.2.2.1. Gestrecktes Ellbogengelenk

Tabelle 13: Überblick über festgestellte Schäden an gestreckten Ellbogengelenken bei 15 Katzenvordergliedmaßenpräparaten

Fraktur		Gelenksluxation	Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
distaler Humerusschaft	Radiuskopf		
<b>11</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	-

Es ereigneten sich bei den getesteten Gliedmaßen 11 distale Humerusschaftfrakturen, 1 Radiuskopffraktur und 3 Gelenksluxationen. Dabei wurde von dem Kraftaufnehmer während des Druckversuchs ein Weg von durchschnittlich  $4,29 \text{ mm} \pm 1,55 \text{ mm}$  bis zum Erreichen der maximalen Kraft ( $F_{\text{max}}$ ) zurückgelegt. Der Mittelwert für  $F_{\text{max}}$  betrug  $644,37 \text{ N} \pm 190,24 \text{ N}$ . Die 11 distalen Humerusschaftfrakturen waren im Mittel  $31,82 \text{ mm} \pm 2,52 \text{ mm}$  vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt und die Ellbogengelenke wiesen bei der anschließenden Präparation keine sichtbaren Veränderungen der Bänder, der Kapsel und der beteiligten Gelenkflächen auf. Bei 3 Gliedmaßen war am Ende des Versuchs eine deutliche Subluxation des Ellbogengelenks zu beobachten, ohne dass es zu Frakturen oder sichtbaren Veränderungen an den Gelenkbändern, der Gelenkkapsel und den Gelenkflächen kam. Bei 1 Versuch trat eine Radiuskopffraktur auf, an der ein Fragment von  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  an der kranialen Randfläche ausgebrochen war. Die Bänder und die Gelenkkapsel waren in diesem Fall unverändert.

## ERGEBNISSE

### 4.2.2.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk

Tabelle 14: Überblick über festgestellte Schäden bei 90° gebeugten Ellbogengelenken bei 18 Katzenvordergliedmaßenpräparaten

distale Humerus-schaftfraktur	Bandschaden	Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
<b>18</b>	-	-

Diese Serie bestand aus 18 Katzengliedmaßen, bei denen ausnahmslos distale Humerus-schaftfrakturen an der Knochen-Kunstharzgrenze des eingeharzten Humerus auftraten. Die Humerus-schaftfraktur war durchschnittlich  $27,22 \text{ mm} \pm 4,65 \text{ mm}$  vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt. Im Mittel bewegte sich der Kraftaufnehmer  $5,26 \text{ mm} \pm 1,68 \text{ mm}$  bei einem durchschnittlichen  $F_{\text{max}}$ -Wert von  $391,96 \text{ N} \pm 129,37 \text{ N}$ . Die Gelenkbänder, die Gelenkkapsel und die beteiligten Gelenkflächen waren bei allen Ellbogengelenken makroskopisch unverändert.

### 4.2.2.3. Stark gebeugtes Ellbogengelenk

Tabelle 15: Überblick über festgestellte Schäden bei stark gebeugten Ellbogengelenken bei 15 Katzenvordergliedmaßenpräparaten

laterale Kollateralbandruptur mit partiellem Ringbandschaden	Kollateralbandüberdehnungen	Fraktur		
		dist. Humerus-schaft	prox. Radius-schaft	Ulna-schaft
<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	-
-	-	-	<b>1</b>	
-	-	<b>1</b>		-

## ERGEBNISSE

Es ereigneten sich 11 periartikuläre Frakturen. Diese setzten sich aus 6 proximalen Radiuschaftfrakturen, 1 Radius- und Ulnafraktur, 3 distalen Humerusschaftfrakturen und 1 proximalen Radiuschaftfraktur kombiniert mit 1 distalen Humerusschaftfraktur zusammen. Die 6 proximalen Radiuschaftfrakturen waren im Mittel  $12,33 \text{ mm} \pm 8,09 \text{ mm}$  distal des Radiuskopfes lokalisiert. Die kombinierte Radiuschaft- und Humerusschaftfraktur war 9 mm distal des Caput radii und 19 mm proximal vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt gelegen. Die Radius- und Ulnafraktur trat 11 mm distal des Caput radii und 16 mm distal der Inc. radialis ulnae auf. Die 3 distalen Humerusschaftfrakturen traten  $35,67 \text{ mm} \pm 4,51 \text{ mm}$  vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt auf. Die Präparation der Gliedmaßen mit periartikulären Frakturen ergab keine sichtbaren Schäden an den Gelenkbändern, der Gelenkkapsel und den beteiligten Gelenkflächen. Die 3 festgestellten lateralen Kollateralbandrupturen (mit partieller Schädigung des Ringbandes) waren nicht mit Frakturen kombiniert. In 1 Fall war eine unspezifische Bänderüberdehnung ohne Frakturen zu beobachten. Im Mittel bewegte sich der Kraftaufnehmer  $8,09 \text{ mm} \pm 2,30 \text{ mm}$ , dabei wurde ein durchschnittlicher Fmax-Wert von  $566,43 \text{ N} \pm 125,80 \text{ N}$  erreicht.

### 4.2.3. Kaninchen

#### 4.2.3.1. Gestrecktes Ellbogengelenk

Tabelle 16: Überblick über festgestellte Schäden bei gestreckten Ellbogengelenken bei 18 Kaninchenvordergliedmaßenpräparaten

distale Humerusschaftfraktur	Radiuskopffraktur	Ulnafraktur	Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
<b>17</b>	<b>1</b>		-

Dabei ereigneten sich 17 distale Humerusschaftfrakturen und in 1 Fall eine Radiuskopf- und Ulnafraktur. Die distalen Humerusschaftfrakturen waren  $17,47 \text{ mm} \pm 4,0 \text{ mm}$  vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt. Die anschließende Präparation dieser 18 Gliedmaßen ergab keine sichtbaren Veränderungen der Gelenkbänder, der Gelenkkapsel und der beteiligten

## ERGEBNISSE

Gelenkflächen. Durchschnittlich legte der Kraftaufnehmer während des Druckversuchs einen Weg von 4,09 mm  $\pm$  1,37 mm zurück, bei Fmax-Werten von 275,34 N  $\pm$  102,35 N.

### 4.2.3.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk

Tabelle 17: Überblick über festgestellte Schäden bei 90° gebeugten Ellbogengelenken bei 12 Kaninchenvordergliedmaßenpräparaten

distale Humerusschaftfraktur	Bandschaden	Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
<b>12</b>	-	-

Diese Serie bestand aus 12 getesteten Kaninchengliedmaßen. Es traten ausschließlich distale Humerusschaftfrakturen auf, die im Mittel 17,73 mm  $\pm$  1,96 mm vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt waren und sich an der Knochen-Kunstharzgrenze des eingearzten Humerus befanden. An allen Gelenken konnten keine makroskopischen Veränderungen an den Gelenkbändern, der Gelenkkapsel und den beteiligten Gelenkflächen festgestellt werden. Der Kraftaufnehmer legte durchschnittlich eine Strecke von 2,78 mm  $\pm$  1,25 mm zurück. Fmax betrug im Schnitt 119,93 N  $\pm$  40,88 N.

### 4.2.3.3. Stark gebeugtes Ellbogengelenk

Tabelle 18: Überblick über festgestellte Schäden bei stark gebeugten Vordergliedmaßen bei 10 Kaninchenvordergliedmaßenpräparaten

distale Humerusschaftfraktur	Mediale Kollateralbandruptur	Schäden an sonstigen Gelenkstrukturen
<b>9</b>	<b>1</b>	-

Es kam in 9 Fällen zu distalen Humerusschaftfrakturen, die im Mittel 22,63 mm  $\pm$  2,13 mm vom Zentrum des medialen Epikondylus entfernt waren. Die Frakturstelle lag in 8 Fällen an

## ERGEBNISSE

der Knochen- Kunstharzgrenze des eingeharzten Humerus und bei 1 Gliedmaße 1 mm innerhalb der Kunstharzummantelung. Die Präparation dieser 9 Gliedmaßen zeigte, dass an den Gelenken die Gelenkbänder, die Gelenkkapsel und die beteiligten Gelenkflächen makroskopisch unversehrt waren. In 1 Fall trat eine mediale Kollateralbandruptur ohne Frakturen oder sonstigen Gelenkstrukturschäden auf. Im Schnitt legte der Kraftaufnehmer eine Strecke von  $1,11 \text{ mm} \pm 0,35 \text{ mm}$  zurück, wobei ein  $F_{\text{max}}$ -Wert von  $110,86 \text{ N} \pm 28,60 \text{ N}$  erreicht wurde.

### **4.3. Statistische Auswertung der Daten**

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit SPSS (Version 16). Es wurde untersucht, ob es innertierartliche und intertierartliche Zusammenhänge in Verbindung mit der Belastbarkeit ( $F_{\text{max}}$ ) der Vordergliedmaßen bei den einzelnen Testwinkeln gab. Es wurden folgende Standpunkte betrachtet:

4.3.1. Es besteht ein innertierartlicher Unterschied in der relativen maximalen Belastbarkeit ( $F_{\text{max}}$  in N/kg(KGW)) in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel.

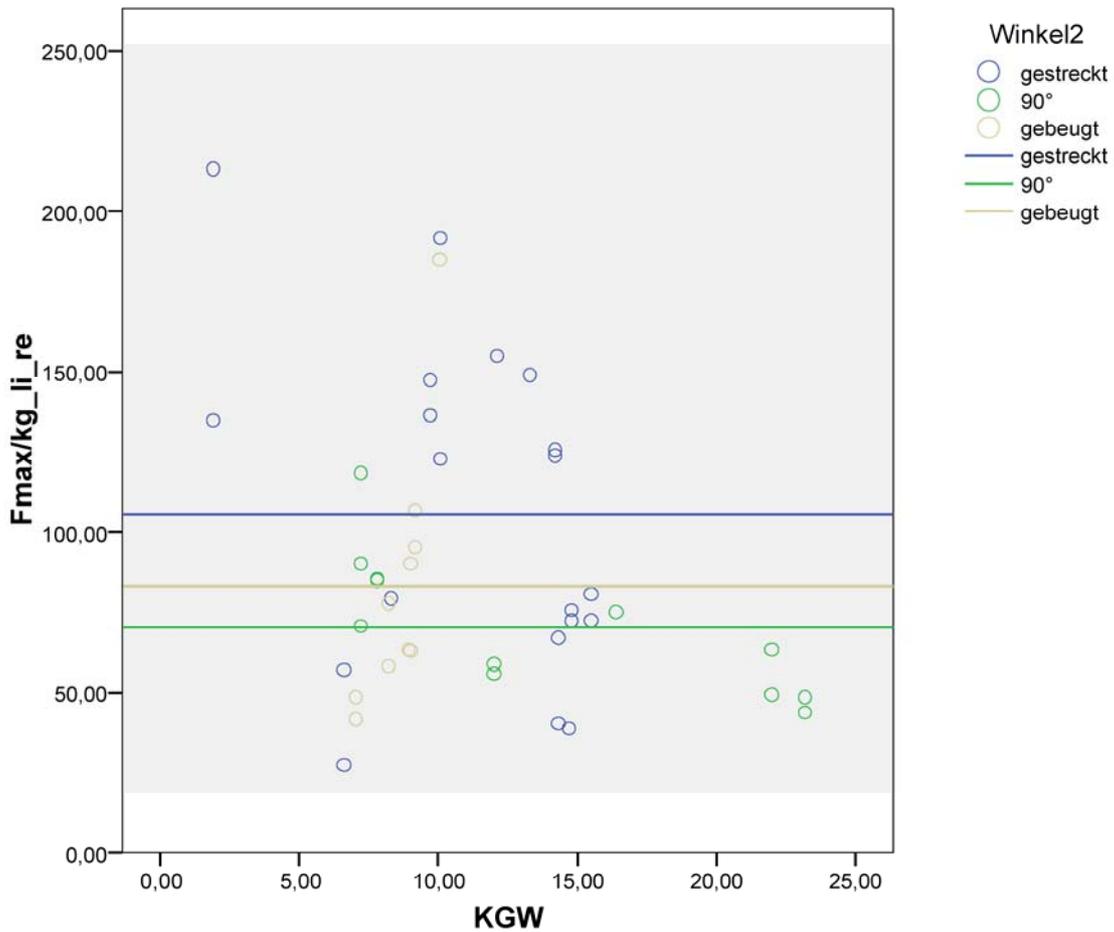
4.3.2. Es besteht ein intertierartlicher Unterschied in der relativen maximalen Belastbarkeit ( $F_{\text{max}}$  in N/kg(KGW)) in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel.

4.3.1. Innertierartlicher Unterschied in der relativen maximalen Belastbarkeit ( $F_{\text{max}}$  in N/kg(KGW)) in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel

Für die Untersuchung dieser Zusammenhänge wurde der Mann-Whitney-Test gewählt.

# ERGEBNISSE

## 4.3.1.1. Hund



**Abbildung 26:** Überblick über die Fmax-Werte bei den unterschiedlichen Testwinkeln bei der Tierart Hund. Linien = Mediane.

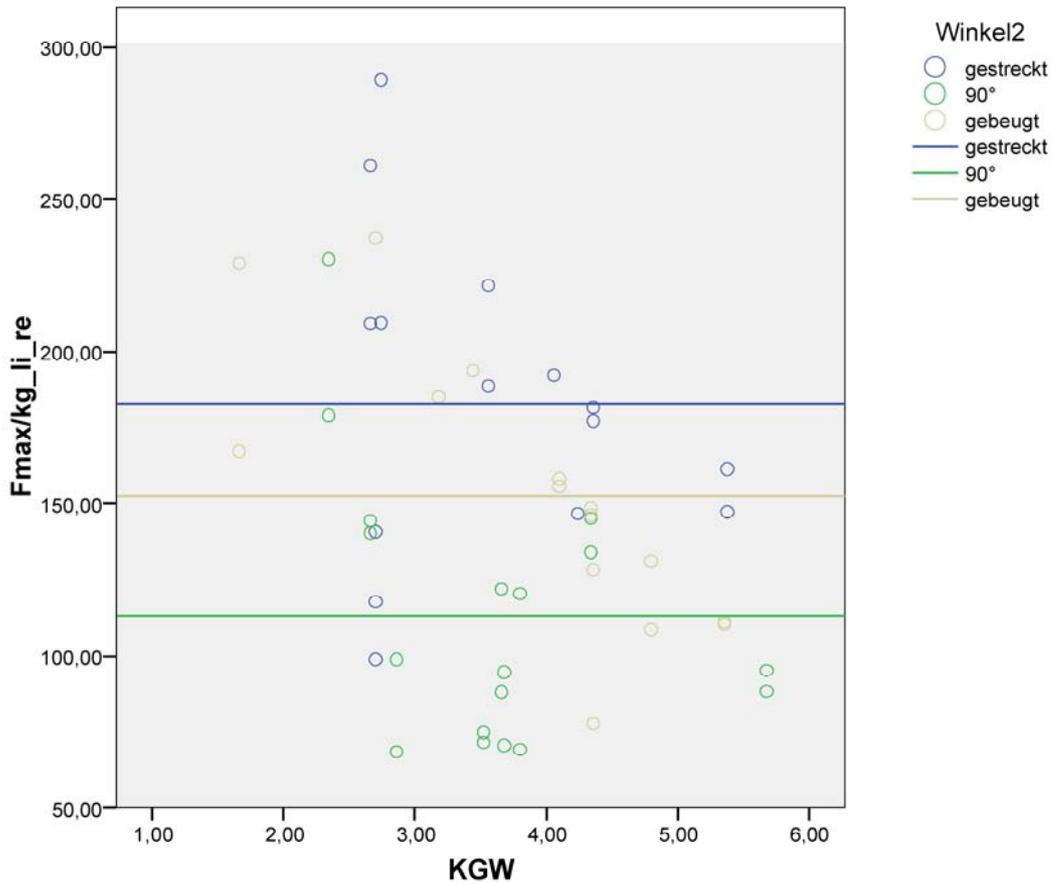
Tabelle 19: Überblick zwischen Fmax (Gelenkwinkel) und Signifikanz (Fmax) bei der Tierart Hund

gestreckt	90° gebeugt	stark gebeugt
<b>p&gt;0,05</b>		
	<b>p&gt;0,05</b>	
<b>p&gt;0,05</b>		<b>p&gt;0,05</b>

Bei der Tierart Hund waren die verwendeten Vordergliedmaßen bei den einzelnen Gelenkwinkeln im Vergleich nicht signifikant unterschiedlich belastbar.

## ERGEBNISSE

### 4.3.1.2. Katze



**Abbildung 27:** Überblick über die Fmax-Werte bei den unterschiedlichen Testwinkeln bei der Tierart Katze. Linien = Mediane.

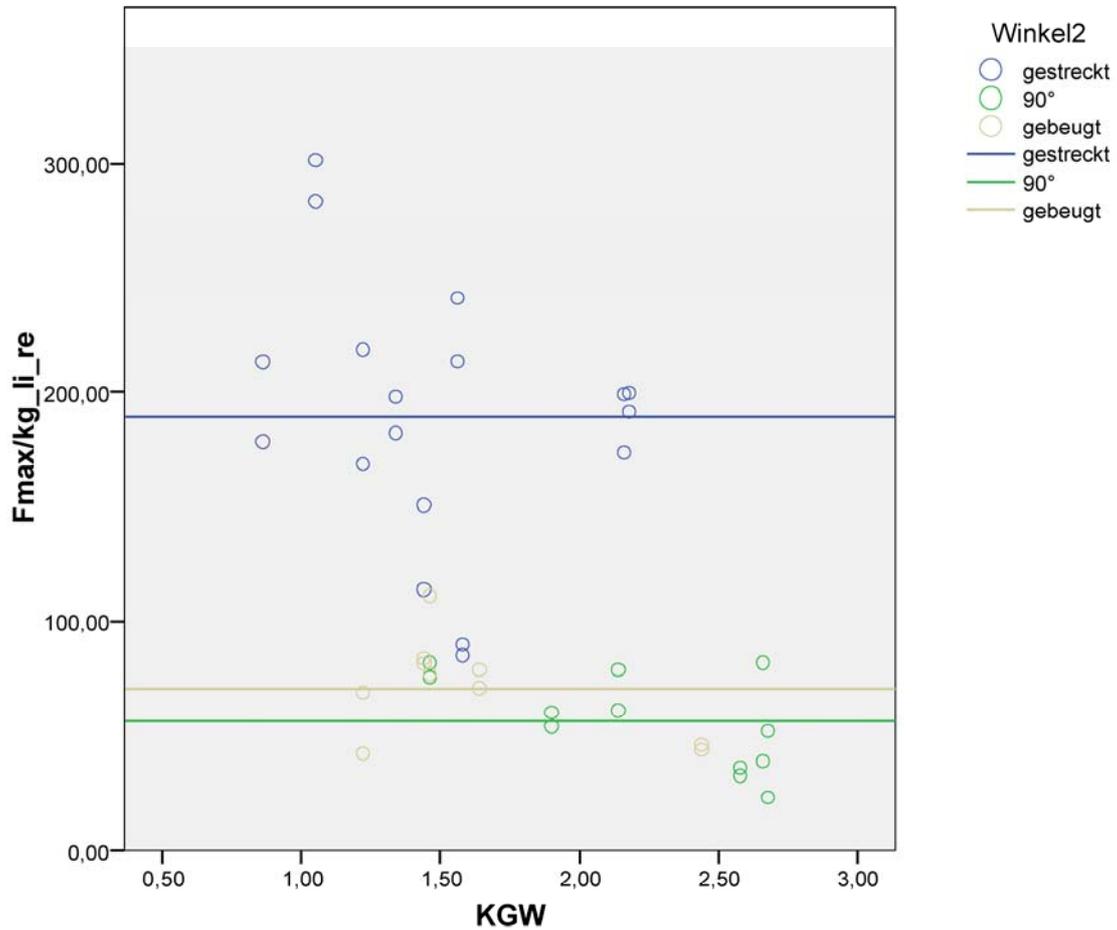
Tabelle 20: Überblick zwischen Fmax (Gelenkwinkel) und Signifikanz (Fmax) bei der Tierart Katze

gestreckt	90° gebeugt	stark gebeugt
p < 0,01		
	p < 0,01	
<b>p = 0,78</b>		<b>p = 0,78</b>

Der Vergleich der Fmax- Werte bei Vordergliedmaßen mit gestreckten und 90° gebeugten Ellbogengelenken sowie Vordergliedmaßen mit 90° gebeugten und stark gebeugten Ellbogengelenken ergab signifikant unterschiedliche Fmax-Werte, bei einem  $p \ll 0,01$ . Vordergliedmaßen mit gestreckten und stark gebeugten Ellbogengelenken sind im Vergleich nicht signifikant unterschiedlich belastbar, bei einem Signifikanzwert von  $p = 0,78$ .

# ERGEBNISSE

## 4.3.1.3. Kaninchen



**Abbildung 28:** Überblick über die Fmax- Werte bei den unterschiedlichen Testwinkeln bei der Tierart Kaninchen. Linien = Mediane.

Tabelle 21: Überblick zwischen Fmax (Gelenkwinkel) und Signifikanz (Fmax) bei der Tierart Kaninchen

gestreckt	90° gebeugt	stark gebeugt
p< 0,01		
	<b>p = 0,947</b>	
p< 0,01		p< 0,01

Der Vergleich der Fmax-Werte bei Vordergliedmaßen mit gestreckten und 90° gebeugten Ellbogengelenken sowie Vordergliedmaßen mit gestreckten und stark gebeugten Ellbogenge-

## ERGEBNISSE

lenken ergab signifikant unterschiedliche Fmax-Werte, bei einem  $p \ll 0,01$ . Vordergliedmaßen mit  $90^\circ$  gebeugten und stark gebeugten Ellbogengelenken waren im Vergleich nicht signifikant unterschiedlich belastbar, bei einem Signifikanzwert von  $p = 0,947$ .

### 4.3.2. Zwischentierartliche Zusammenhänge zwischen Fmax [N/kg(KGW)] und den einzelnen Gelenkwinkeln

Für diese Fragestellung wurde der Mann-Whitney-Test gewählt.

#### 4.3.2.1. Gestrecktes Ellbogengelenk

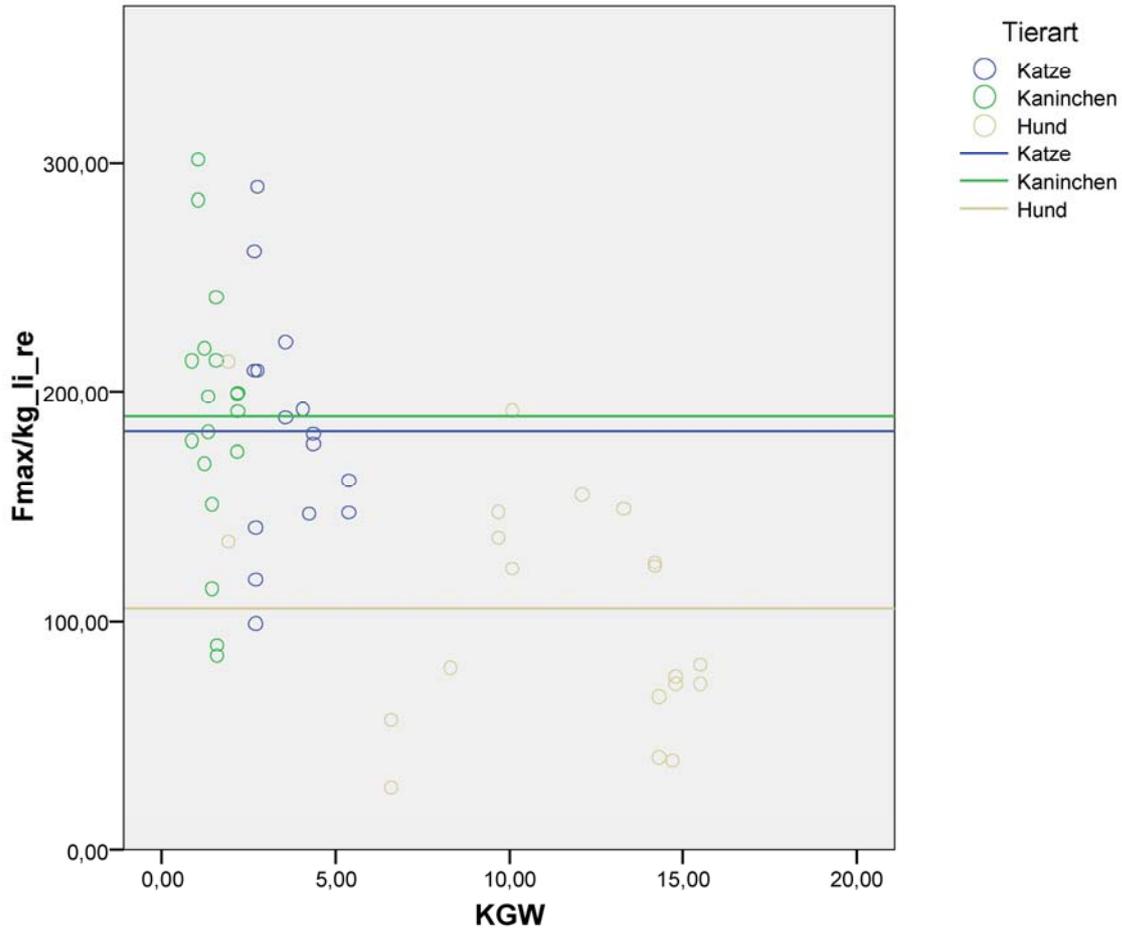
Tabelle 22: Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax) bei gestreckten Gelenken

Tierart	Katze	Kaninchen
Signifikanz Fmax (gestr. Gelenk)	<b>p = 0,588</b>	
Tierart	Katze	Hund
Signifikanz Fmax (gestr. Gelenk)	p < 0,01	
Tierart	Hund	Kaninchen
Signifikanz Fmax (gestr. Gelenk)	p < 0,01	

- Katze- Kaninchen:

Bei einem Signifikanzwert von  $p = 0,588$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit gestreckten Ellbogengelenken keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 29:** Überblick über die Fmax-Mediane bei den drei Tierarten im gestreckten Gelenk. Linien = Mediane.

- Katze- Hund:

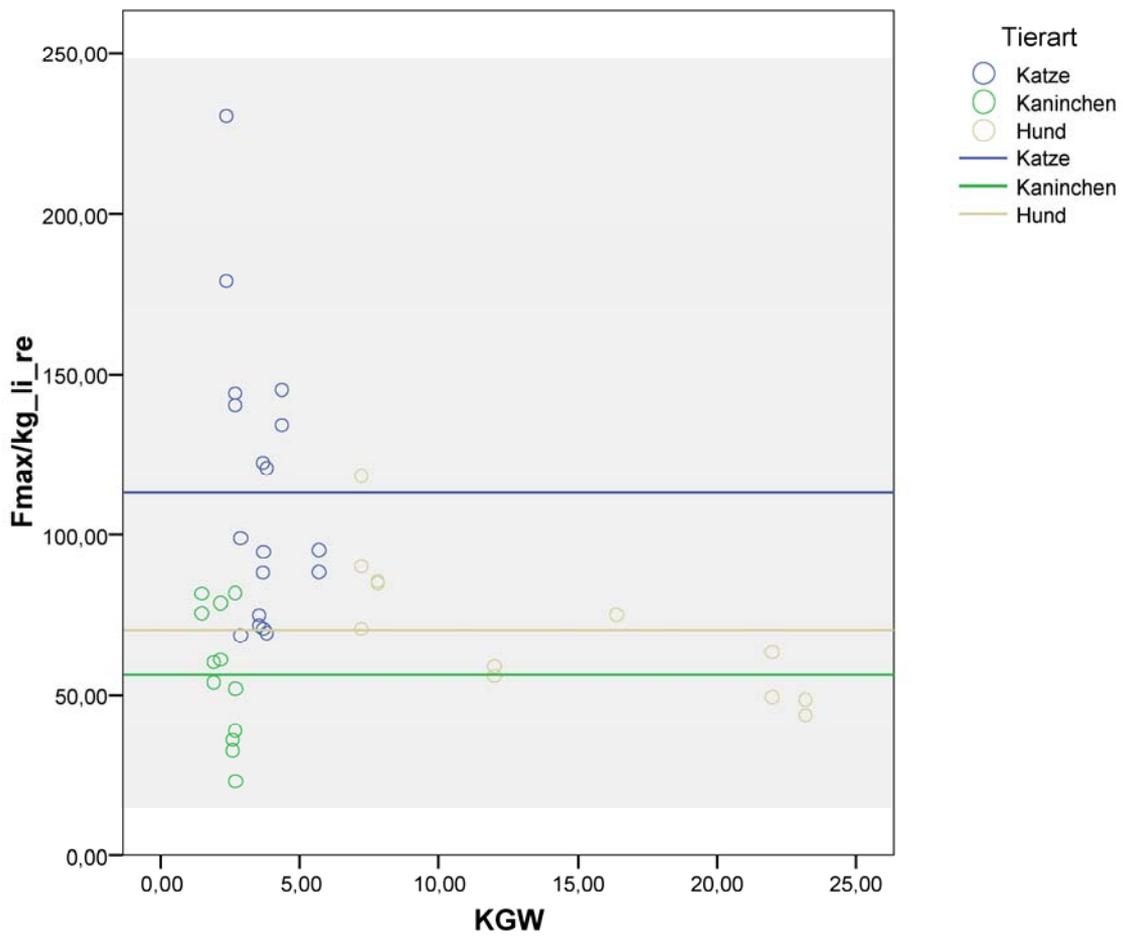
Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit gestreckten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

- Hund- Kaninchen:

Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit gestreckten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

# ERGEBNISSE

## 4.3.2.2. 90° gebeugtes Ellbogengelenk



**Abbildung 30:** Intertierartlicher Überblick über die Fmax-Mediane bei den drei Tierarten im 90° gebeugten Gelenk. Linien = Mediane.

## ERGEBNISSE

Tabelle 23: Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax) bei 90 ° gebeugten Gelenken

Tierart	Katze	Kaninchen
Signifikanz Fmax (90° geb. Gelenk)	$p < 0,01$	
Tierart	Katze	Hund
Signifikanz Fmax (90° geb. Gelenk)	$p < 0,01$	
Tierart	Hund	Kaninchen
Signifikanz Fmax (90° geb. Gelenk)	$p < 0,01$	

Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax)

- Katze- Kaninchen:

Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit 90° gebeugten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

- Katze- Hund:

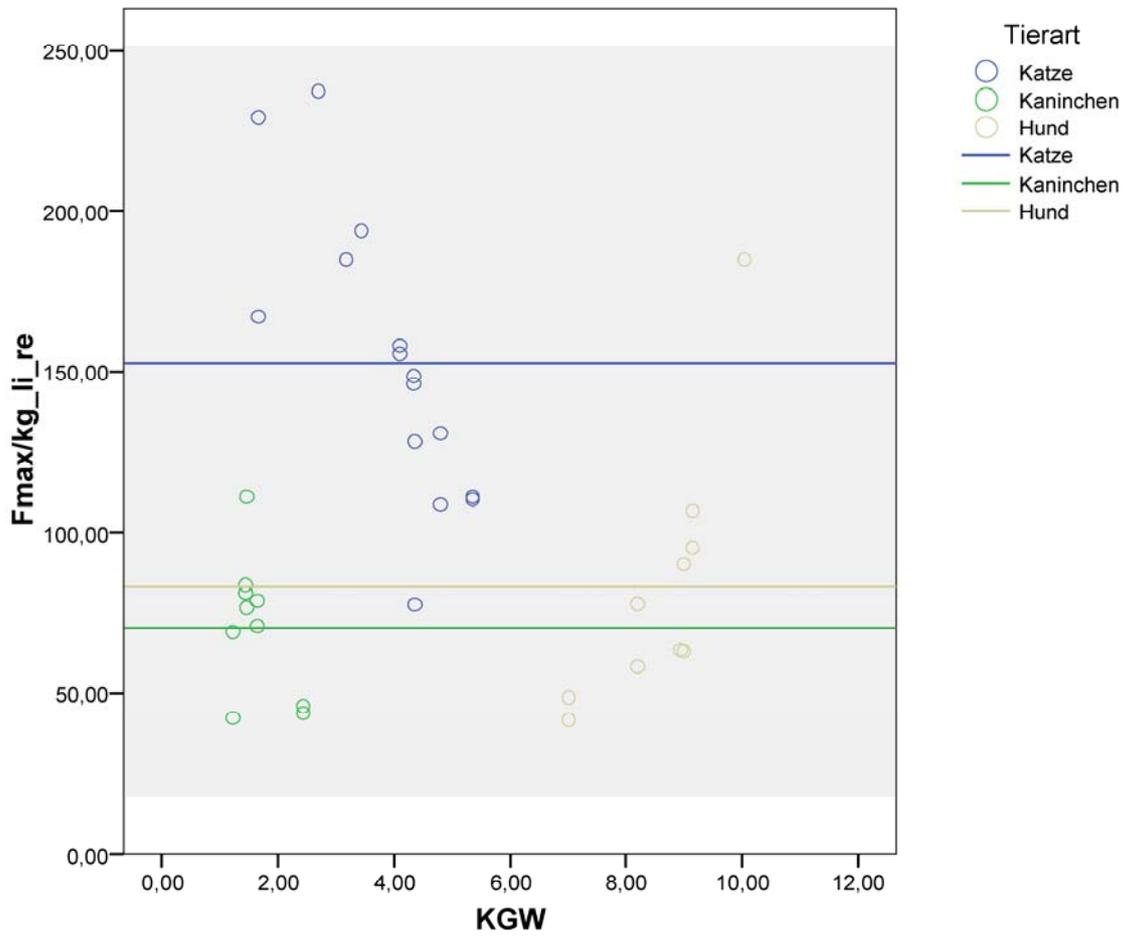
Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit 90° gebeugten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

- Hund- Kaninchen:

Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit 90° gebeugten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

# ERGEBNISSE

## 4.3.2.3. Stark gebeugtes Gelenk



**Abbildung 31:** Überblick über die Fmax-Mediane bei den drei Tierarten im stark gebeugten Gelenk. Linien = Mediane.

## ERGEBNISSE

Tabelle 24: Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax) bei stark gebeugten Gelenken

Tierart	Katze	Kaninchen
Signifikanz Fmax (stark geb. Gelenk)	$p < 0,01$	
Tierart	Katze	Hund
Signifikanz Fmax (stark geb. Gelenk)	$p < 0,01$	
Tierart	Hund	Kaninchen
Signifikanz Fmax (stark geb. Gelenk)	<b><math>p = 0,705</math></b>	

Intertierartlicher Überblick zwischen Fmax (Tierart) und Signifikanz (Fmax)

- Katze- Kaninchen:

Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit stark gebeugten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

- Katze- Hund:

Bei einem Signifikanzwert von  $p \ll 0,01$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit stark gebeugten Ellbogengelenken signifikant unterschiedliche Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

- Hund- Kaninchen:

Bei einem Signifikanzwert von  $p = 0,705$  ergab die vergleichende statistische Auswertung der erhaltenen Versuchsdaten für die beiden unabhängigen Stichproben bei Vordergliedmaßen mit stark gebeugten Ellbogengelenken keine signifikant unterschiedlichen Fmax-Werte bei den Belastungsversuchen für diese Tierarten.

## 5 Diskussion

In dieser Arbeit sollte erstmals die Simulation einer traumatischen Ellbogengelenkluxation durch standardisierte biomechanische Belastungsversuche an den Vordergliedmaßen der Tierarten Hund, Katze und Kaninchen in Abhängigkeit vom Beugewinkel des Ellbogengelenks erarbeitet werden. Als Luxationsursache wurde das Bild einer Sturzsituation zu Grunde gelegt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Vordergliedmaße vor dem ersten Bodenkontakt, also noch während der Flugphase, im Ellbogengelenk völlig durchgestreckt wurde, um dann im Folgenden das Sturztrauma bei Bodenkontakt durch zunehmende Beugung der Gliedmaße abzufangen. Somit war die Gliedmaße zu Anfang einer Sturzsituation maximal gestreckt und gegen Ende einer Sturzsituation maximal gebeugt. Um die Gliedmaßen bei einheitlichen Testwinkeln, weitestgehend unabhängig von tierartlich unterschiedlichen Winkelgradzahlen belasten zu können, habe ich mich dafür entschieden, diese bei völlig durchgestrecktem Ellbogengelenk, 90° gebeugtem Ellbogengelenk und stark gebeugtem Ellbogengelenk zu belasten. Das Ende eines Belastungsversuches sollte dann erfolgen, wenn man davon ausgehen konnte, dass ein erheblicher Schaden, bestenfalls sogar eine Ellbogengelenkluxation eingetreten war. Zu Anfang eines Belastungsversuches wurde die winkelstabil eingespannte Versuchsgliedmaße stetig mit einer Geschwindigkeit von 30 mm/Minute belastet und alle 0,1 mm ein entsprechender Kraftwert gemessen. Die gewonnenen Daten wiesen stetig steigende Kraftwerte auf, solange das System die Belastungen kompensieren konnte und abfallende Kraftwerte, wenn das System überlastet wurde, ausgelöst durch Strukturschäden. Das Ende eines Belastungsversuches war dann erreicht, wenn ein gemessener Kraftabfall von mindestens 40 % in Bezug auf den während eines Belastungsversuchs gemessenen höchsten Kraftwert  $F_{max}$  auftrat.

Die biomechanischen Ergebnisse sollen im Kontext zur unterschiedlichen Anatomie der Ellbogengelenke bei den 3 Tierarten diskutiert werden. Wie die Literaturrecherche ergab, sind die anatomischen Beschreibungen zum Ellbogengelenk des Kaninchens unvollständig und zum Teil widersprüchlich. Es wurde daher im Ergebnisteil eine eigenständige Untersuchung der Verhältnisse am Ellbogengelenk des Kaninchens vorangestellt. Hierbei konnten auch die in der Literatur vorhandenen Unstimmigkeiten geklärt werden. So wird die Ausbildung der *Processus coronoidei ulnae* von Horne und Craigie (1957/1960), Baron und Pavaux (1973), Wingerd (1985), Berg (1992b), Gruber (1995), Silverman und Tell (2005) und Ertelt et al. (2006) unterschiedlich beschrieben. Nach den eigenen Befunden sind der laterale und mediale

## DISKUSSION

Prozessus coronoideus ulnae immer vorhanden. Sie sind allerdings nur sehr klein und undeutlich ausgebildet.

Beim Bandapparat gab es sehr unterschiedliche Beschreibungen. Wie die eigenen Untersuchungen ergaben, ist das Ligamentum olecrani nicht regelmäßig ausgebildet. Es konnte insgesamt bei 20 Tieren nur 3 mal dargestellt werden. Dies erklärt die widersprüchlichen Angaben in der Literatur. Ein Ligamentum obliquum soll nach Gruber (1995) beim Kaninchen nicht ausgebildet sein. Nach eigenen Untersuchungen ist dieses dagegen als kräftige Kapselverstärkung regelmäßig vorhanden gewesen. Die eigenen Befunde entsprechen damit den Befunden von Baron und Pavaux (1973).

Obwohl in diesem Versuchsmodell die aktive Stabilisierung der Gliedmaße und des Ellbogengelenks durch quergestreifte Skelettmuskeln und muskulotendinöse Einrichtungen fehlte, konnten dennoch statistisch signifikante tierart- und winkelabhängige Ergebnisse erzielt werden. Zudem war dieses Versuchsmodell in der Lage, Schadensbilder an den Vordergliedmaßen zu provozieren, die sich mit traumatischen klinischen Verletzungsbildern an der Vordergliedmaße in Übereinstimmung bringen lassen.

In **Streckstellung** erwiesen sich die Ellenbogengelenke gegenüber den ausgeübten Belastungen als sehr stabil. Bevor es zu Gelenkschädigungen mit Luxation kam traten bei allen drei Tierarten hauptsächlich Frakturen der langen Röhrenknochen in Form von distalen Humerusschaftfrakturen auf. Die knöchernen Sperrwirkung des Proc. anconaeus ulnae in der Fossa olecrani humeri, die Größe und Form der Trochlea humeri und des medialen Epikondylus (Abb. 32) verhinderten bei allen 3 Tierarten effektiv und hoch belastbar eine mediale, laterale sowie kaudale Gelenkluxation. Nur bei der Katze konnten in 3 von 15 Fällen Gelenksubluxationen beobachtet werden, ohne dass ein knöcherner Schaden oder eine Bandverletzung in der nachfolgenden Präparation nachgewiesen werden konnte. Die Bedeutung der Gelenkbänder für die Abwendung einer Ellbogengelenkluxation ist bei gestreckter Gelenkstellung gering einzuschätzen. Die genannten knöchernen Strukturen fangen den größten Teil der auf das Gelenk einwirkenden Last ab. Die Funktion der Bänder beschränkt sich vielmehr auf die stabile Führung der Gelenkbewegung.

Auch bei **90° gebeugten Ellbogengelenken** wurde eine laterale oder mediale Luxation durch die oben genannten knöchernen Strukturen effektiv verhindert. Wobei aus anatomischer Sicht betrachtet zu beachten ist, dass insbesondere das Capitulum humeri zusammen mit dem Epi-

## DISKUSSION

condylus lateralis in dieser Gelenkstellung wegen ihrer hier kleineren und flacheren Form, laterale Luxationen prinzipiell schlechter verhindern können als in Streckstellung. Luxationen nach kaudal wurden bei allen drei Tierarten zusätzlich durch das Caput radii, die Processus coronoidei medialis et lateralis ulnae und durch die Incisura trochlearis ulnae sowie den Processus anconaeus ulnae verhindert. Auch in dieser Gelenkwinkelung liegt also nur eine geringe Last auf den Gelenkbändern. Diese Hypothese wird durch die Ergebnisse der biomechanischen Untersuchungen von Farrel et al. (2007) gestützt. Sie versuchten eine Ellbogengelenkluxation bei Katzenvordergliedmaßen durch indirekt übertragene Rotationskräfte zu provozieren. Die indirekten Rotationskräfte wurden durch Pronations- und Supinationsbewegungen der Ossa antebrachii, bei 90° gebeugten Vordergliedmaßen, auf die Ellbogengelenke übertragen. Selbst nach der bewussten Durchtrennung beider Kollateralbänder konnten nur vereinzelt laterale Luxationen provoziert werden. Die hohe Belastbarkeit der knöchernen Strukturen des Ellbogengelenkes übertraf auch bei diesen Versuchsdurchläufen die Stabilität des Humerusschaftes, der unter der Biegespannung bei allen Präparaten aller drei untersuchten Spezies frakturierte, bevor es zu Gelenkschäden kam.

Ab einem Beugewinkel von weniger als 70° verringert sich der stabilisierende Einfluss der knöchernen Führung, der tierartlich unterschiedlich stark ausgeprägt ist, deutlich. Die laterale Luxation wird bei Hund und Katze durch das kleinere Capitulum humeri und den kleineren abgerundeten Epicondylus lateralis möglich, wenn der Beugewinkel so groß ist, dass der Processus anconaeus ulnae sich nicht mehr in der knöchernen Führung der Fossa olecrani befindet. Damit ist es diesem möglich, bei einem entsprechenden Impuls über das Capitulum humeri und den lateralen Epikondylus zu gleiten. Eine mediale Luxation wird dagegen bei Hund und Katze weiterhin durch die Größe und Form der Trochlea humeri mit ihrer großen distal ragenden medialen Gelenkfläche verhindert (Abb. 32). Zusätzlich wird der Condylus humeri durch die halbmondförmige Führung aus Radiuskopf und der Incisura trochlearis ulnae stabilisiert. Auch eine kaudale Gelenkluxation wird durch knöcherne Elemente wie das Caput radii und die Processus coronoidei medialis et lateralis ulnae verhindert.

Ganz anders sieht das Bild bei der Tierart Kaninchen aus. Dort wird eine mediale, als auch eine laterale Gelenkluxation durch die knöcherne Führung zwischen Fovea capitis radii und der Trochlea humeri, mit ihrem medialem und lateralem Begrenzungsrollkamm verhindert (Abb. 32, 33). Diese knöcherne Führung stabilisiert das Gelenk gegen mediale und laterale Verlagerungen der Unterarmknochen in allen Beugewinkeln. Zwischen den beiden Begrenzungsrollkammern der Trochlea humeri ist eine Rinne ausgebildet, in der der Proc. corono-

## DISKUSSION

deus radii gleitet. Nachdem es an diesem Knochenfortsatz bei keinem Testwinkel zu Ab-sprengfrakturen kam, spielt dieser wohl eine geringe Rolle bei der Stabilisierung des Ell-bogengelenks, jedoch vermutlich eine Rolle bei der Luxationsrichtung des Gelenks. Die von Ertelt et al. (2006) erwähnte Hauptluxationsrichtung nach kaudal ließ sich manuell an einem Knochenpräparat simulieren, bei einem Beugewinkel von ungefähr 70°. Es ist der Beuge-winkel, an dem der Proc. anconaeus ulnae seine knöcherne Führung in der Fossa olecrani humeri verliert und sich der Condylus humeri nach proximokranial aus der halbmondförmigen Führung von Radius und Ulna verlagern lässt, entgegen dem geringen Widerstand des Proc. coronoideus radii. Dadurch ist es dem Condylus humeri bei diesem Beugewinkel mög-lich, über den Proc. coronoideus radii darüber zu gleiten, so dass sich dieser jetzt an der kau-dalen Seite der Trochlea humeri, zwischen dem lateralen und medialen Begrenzungsrollkamm befindet, zusätzlich geführt durch die kaudale Fortsetzung der zwischen den Begrenzungsroll-kämmen befindlichen Knochenrinne an der Trochlea humeri. Bei den Gelenkbändern ist es neben den Kollateralbändern vor allem das Ligamentum olecrani, das einer kaudalen Luxa-tionsrichtung entgegenwirken könnte. Wenn sich dieses Band funktionell ähnlich wie bei den Fleischfressern mit zunehmender Gelenkbeugung spannt, dann beschränkt sich die stabilisie-rende Wirkung auf extreme Beugewinkel. Der Beugewinkel von 70° schließt jedoch eine ma-ximale Anspannung des Ligamentum olecrani und damit eine stabilisierende Wirkung auf das Gelenk in dieser Position aus. Zudem ist es beim Kaninchen schwächer ausgebildet.

Wenn also die knöcherne Konstellation des Ellbogengelenkes bei zunehmendem Beugewinkel das Gelenk nicht mehr effektiv gegen laterale (Hund, Katze) oder kaudale (Kaninchen) Luxa-tionen stabilisiert, dann muss der Bandapparat diese Funktion übernehmen und mehr Belas-tung aufnehmen. Es sind also entsprechende Verletzungsbilder zu erwarten, die im Folgenden für die drei untersuchten Spezies diskutiert werden:

a.) Bei der Tierart **Hund** kam es in 8 von 10 Fällen unter Belastung bei maximal gebeugtem Ellbogengelenk zu lateralen Subluxationen verbunden mit medialen Kollateralbandüberdehnungen. Die Versuchskonfiguration für die automatische Versuchsabschaltung der Belas-tungsversuche stoppte in diesen Subluxationsfällen die weitere Belastung der Präparate und somit den möglichen Übergang zu Gelenkluxationen. In diesen biomechanischen Belastungs-versuchen stellte sich das mediale Kollateralband in Form von Kollateralbandüberdehnungen als das schwächere heraus. Bestätigt wird dies in biomechanischen Zuguntersuchungen an den Kollateralbändern des Hundeellbogengelenks von Vogelsang et al. (1997), in denen das late-rale Kollateralband signifikant stärker belastbar war, als das mediale Kollateralband. Ein

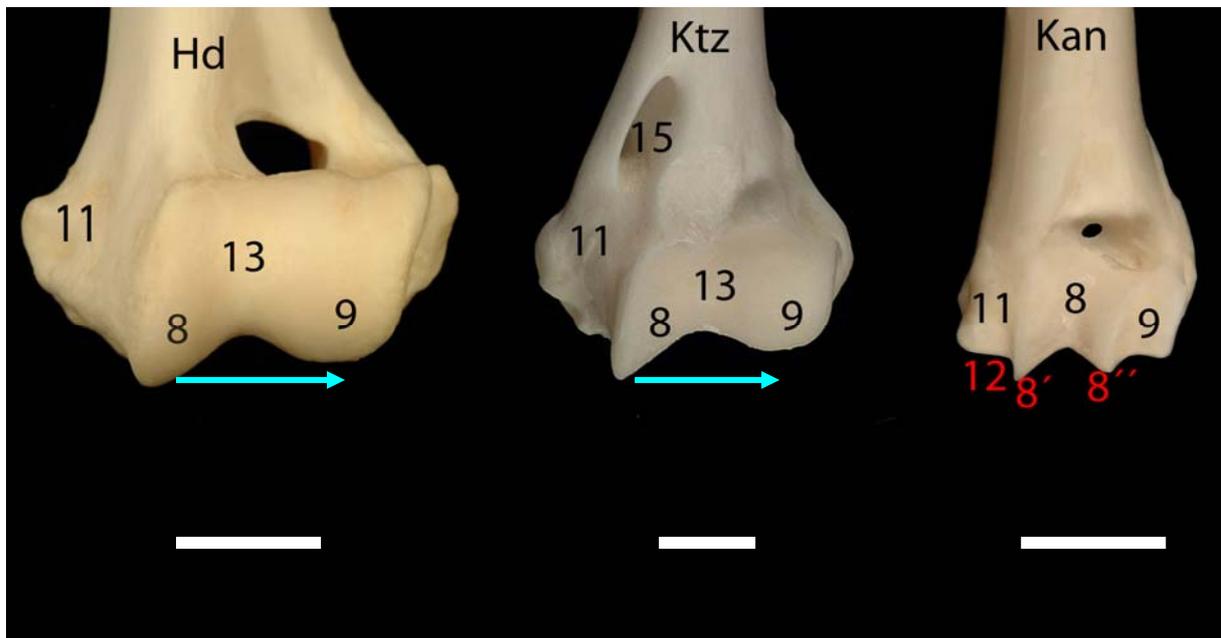
## DISKUSSION

weiteres Band, das zum Bandapparat des Ellbogengelenks gezählt wird, ist das Ligamentum olecrani. Dieses soll auch zur Stabilisierung des Gelenks gegen eine kaudolaterale Luxationsrichtung beitragen (Engelke et al. 2005). In den hier untersuchten Fällen mit lateraler Subluxation konnte dagegen in keinem Fall eine Schädigung des Lig. olecrani präparativ nachgewiesen werden. Die Bedeutung dieses Bandes im Rahmen der lateralen Ellbogengelenksluxation beim Hund scheint geringer zu sein als bisher angenommen. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass es bei Fortführung der Belastung über die definierte Abschaltgrenze in dem gewählten Versuchsaufbau auch zu Überdehnungen und Rupturen dieses Bandes gekommen wäre.

b.) Bei der Tierart **Katze** wurden in der Literatur bisher nach umfangreicher Recherche nur von 3 Autoren (Billings et al. 1992a, Farrel et al. 2009, Salvodelli et al. 1996) insgesamt 5 Fälle traumatischer Ellbogengelenksluxationen beschrieben. Die beschriebenen Luxationsformen sind 1 Luxatio antebrachii medialis, 2 kraniale Radiuskopfluxationen und 2 Luxationes antebrachii laterales. Die spärlichen Literaturberichte über traumatische Ellbogengelenksluxationen bei der Tierart Katze und die eigenen Versuchsergebnisse legen den Schluss nahe, dass diese selten und im Vergleich zur Tierart Hund sehr selten auftreten. Bei den eigenen Untersuchungen an 15 maximal gebeugten Ellbogengelenkpräparaten ergab sich für die Katze ein gemischtes Schadensbild. Dieses bestand hauptsächlich aus Radiuschaftfrakturen (8/15), Humerusschaftfrakturen (4/15) und lateralen Kollateralbandrupturen (3/15) mit partieller Schädigung des Ringbandes. Auffallend war, dass keines der getesteten Ellbogengelenke luxierte und wenn es zu Bandschäden kam, dann war das stärkere laterale Kollateralband betroffen. Eigentlich wäre bei der Tierart Katze, genauso wie bei der Tierart Hund ein Bandschaden an dem schwächeren medialen Kollateralband zu erwarten gewesen. Eine entsprechende Bandverletzung ist aber auch schon aus einer klinischen Fallbeschreibung bei einer Katze mit lateraler Ellbogengelenksluxation bekannt (Farrel et al. 2009). Dass es zu einem lateralen Kollateralbandschaden kam ist erklärbar, wenn von einem funktionellen Synergismus des medialen Kollateralbandes und des Ligamentum olecrani ausgegangen wird, der es ermöglicht, dass diese beiden Bänder in ihrem Zusammenspiel größere Belastungen kompensieren können, als das laterale Kollateralband. Das Ligamentum olecrani ist bei der Tierart Katze kürzer und mehr als doppelt so breit, wie bei der Tierart Hund und spannt sich mit zunehmender Beugung des Ellbogengelenks (Engelke et al. 2005). In seinem anatomischen Verlauf ist es deutlich dem medialen Kollateralband angelehnt. Es begrenzt die maximale Beugung des Gelenks und stabilisiert das Gelenk zusätzlich, indem es ein Heraushebeln des

## DISKUSSION

Condylus humeri bei extremen Beugstellungen verhindert und den Processus anconaeus ulnae in seiner Gleitbahn hält (Engelke et al. 2005). Es wirkt somit einer lateralen und im Besonderen auch einer kaudalen Luxationsrichtung entgegen. Die festgestellten proximalen Radiuschaftfrakturen und die distalen Humerusschaftfrakturen sind vermutlich durch den Versuchsaufbau bedingt und lassen deshalb keine Rückschlüsse auf wirkliche klinische Frakturbilder zu. Allerdings unterstreicht die Tatsache, dass an den Gliedmaßen mit Frakturen die Ellbogengelenke keine Schäden aufwiesen, die extreme Stabilität dieses Scharniergelenkes bei der Tierart Katze.



**Abbildung 32:** distaler Humerus bei Hund, Katze und Kaninchen, vergleichend.

Legende zu Abb. 32:

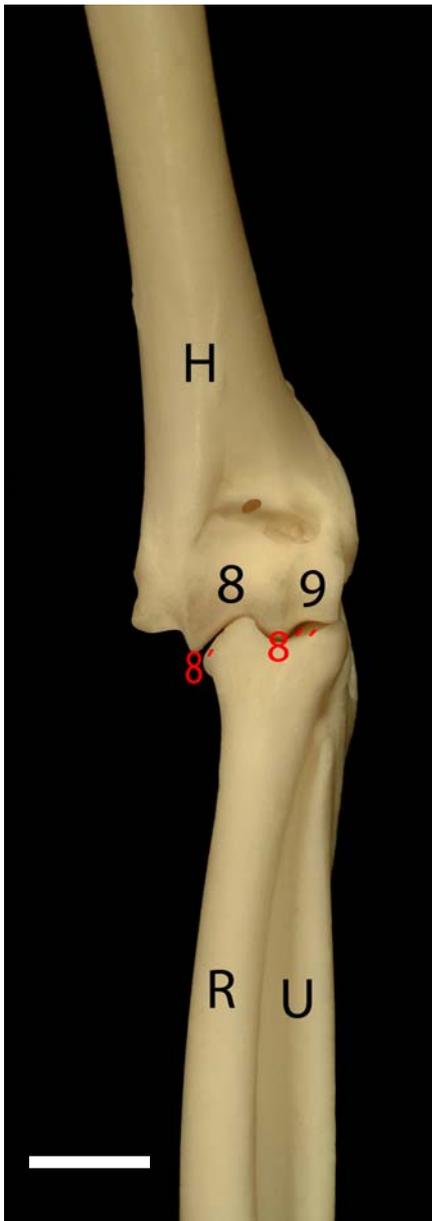
Hd = Hund, Ktz = Katze, Kan = Kaninchen, → laterale Luxationsrichtung

8 Trochlea, 8' medialer Begrenzungsrollkamm der Trochlea, 8'' lateraler Begrenzungsrollkamm der Trochlea, 9 Capitulum, 11 Epicondylus medialis, 12 Sulcus ulnaris, 13 Condylus, 15 Foramen supracondylare, die weißen Balken entsprechen 5 mm.

c.) Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Hund und Katze kam es beim Kaninchen auch bei Belastung des maximal gebeugten Ellbogengelenkes in 9 von 10 Fällen zu Humerusschaftfrakturen und nicht zu Gelenkverletzungen. Dies lässt sich durch zwei Faktoren erklären: 1. Wie oben schon beschrieben besteht beim Kaninchen auch am gebeugten Ellbogengelenk eine stabile knöcherne Führung, die sowohl eine mediale als auch eine laterale Luxation verhindert (Abb. 32, 33). 2. Die langen Röhrenknochen der Gliedmaßen sind beim Ka-

## DISKUSSION

ninchen besonders fragil. Somit besteht schon bei relativ geringer Biegebelastung eine Frakturdisposition, die auch mit dem geringen Anteil des Skelettgewichts zum Gesamtkörpergewicht bei dieser Tierart, erklärt wird. Dieses liegt im Durchschnitt bei einem Masseanteil von 6 % bis 8 % im Vergleich zur Gesamtkörpermasse. (Donnelly 2004, O'Malley 2005, Reese und Fehr 2009).



**Abbildung 33:** Humerus, Radius und. Ulna, Kaninchen. Kraniale Ansicht

Legende zu Abb. 33:

H = Humerus, R = Radius, U = Ulna, Balken entspricht 5 mm.

8 Trochlea humeri, 9 Capitulum humeri, 8' medialer Begrenzungsrollkamm der Trochlea, 8'' lateraler Begrenzungsrollkamm der Trochlea

## DISKUSSION

Die in den Belastungsversuchen erreichten maximalen Werte ( $F_{max}$ ) zeigen in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel und der Tierart signifikante Unterschiede. Deutlich die höchste Belastbarkeit wurde bei den gestreckten Ellbogengelenkpräparaten gemessen. Dies erklärt sich damit, dass die Knochen in dieser Gelenkstellung weitgehend orthogonal also in Längsrichtung belastet wurden. Dieser Form der Belastung kann Knochen besonders gut standhalten, was ihren Ausdruck in den hohen Messwerten findet. Überraschenderweise wurden im Vergleich zu Hund und Katze in dieser Gelenkstellung mit den Kaninchenpräparaten sogar die relativ zur Körpermasse höchsten Belastungswerte erreicht. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt darin, dass der Gelenkwinkel im Ellbogengelenk bei maximaler Streckung beim Kaninchen am nächsten dem optimalen  $180^\circ$ -Winkel liegt und die Knochen so einer geringen Biegespannung ausgesetzt waren.

Mit zunehmender Beugung im Ellbogengelenk nimmt auch die Biegebelastung der Knochen in diesem biomechanischen Versuchsaufbau zu, um bei  $90^\circ$ -Stellung den maximalen Wert zu erreichen und mit weiterer Beugung wieder abzunehmen. Entsprechend wurde bei allen drei Tierarten im  $90^\circ$ -Winkel die maximale Belastungsgrenze früher als bei maximaler Beugung erreicht und führte in jedem Fall zu Frakturen. Erwartungsgemäß waren die fragilen Röhrenknochen der Kaninchen im Vergleich zu Hund und Katze am geringsten belastbar.

Mit zunehmender Beugung über  $90^\circ$  nimmt die Biegebelastung ab. Gleichzeitig wurde auf den Humerus eine Zugspannung ausgeübt, die direkt auf das Ellbogengelenk übertragen wurde. Insbesondere beim Hund konnte diese Zugspannung nicht knöchern im Ellbogengelenk abgefangen werden, sondern führte in 8 von 10 Fällen zur Überlastung des medialen Kollateralbandes noch bevor die Belastungsgrenze der Knochen überschritten wurde.

Zusammenfassend kann man sagen, dass durch die vorliegenden anatomischen und biomechanischen Ergebnisse ein deutlich besseres Verständnis für die großen Unterschiede in den Auswirkungen traumatischer Einwirkungen auf das Ellbogengelenk bei Hund, Katze und Kaninchen erlangt werden konnte.

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, traumatische Ellbogengelenkluxationen durch standardisierte biomechanische Belastungsversuche an den Vordergliedmaßen der Tierarten Hund, Katze und Kaninchen, in Abhängigkeit vom Beugewinkel des Ellbogengelenks, ohne dem Einfluss von Rotationskräften, zu simulieren. Die Vordergliedmaßen wurden tierartunabhängig bei gestreckten, 90° gebeugten und stark gebeugten Ellbogengelenken mit einer Materialprüfmaschine Z010 (Firma Zwick, Ulm) in 0,1 mm-Schritten fortlaufend belastet. Das Versuchsende war erreicht, wenn ein Kraftabfall von mindestens 40 % gegenüber dem höchsten gemessenen Kraftwert ( $F_{max}$ ) in einer Testserie erreicht war. Dazu wurden Gliedmaßen von 29 Katzen, 20 Kaninchen und 28 Hunden beider Geschlechter in biomechanischen Belastungsversuchen getestet. Biomechanische Untersuchungen an Vordergliedmaßen mit gestreckten und 90° gebeugten Ellbogengelenken wiesen hauptsächlich Frakturen der langen Röhrenknochen, in Form von distalen Humerusschaftfrakturen auf. Die Ellbogengelenke selbst waren zumeist unversehrt. Nur bei der Tierart Katze konnten bei biomechanischen Belastungsversuchen mit gestreckten Vordergliedmaßen in 3 von 15 Fällen Gelenksluxationen beobachtet werden.

Bei biomechanischen Versuchen an Vordergliedmaßen mit stark gebeugten Ellbogengelenken waren die Schadensbilder anders. So ließen sich bei der Tierart Hund in 8 von 10 Fällen mediale Kollateralbandüberdehnungen provozieren. Im Vergleich dazu bestand das Schadensbild bei der Tierart Katze neben Frakturen an den Ossa antebrachii und des distalen Humerusschaftes auch in 2 von 15 Fällen aus lateralen Bandschäden. Bei der Tierart Kaninchen trat nur in 1 von 10 Fällen eine mediale Kollateralbandruptur auf, ansonsten kam es zu Frakturen des distalen Humerusschaftes.

Die in den Belastungsversuchen erreichten maximalen Werte ( $F_{max}$ ) zeigten in Abhängigkeit vom Gelenkwinkel und der Tierart signifikante Unterschiede. Die grösste Belastbarkeit wurde bei gestrecktem Ellbogengelenk gemessen ( $F_{max}$ -Hund 1091,95 N  $\pm$  58 5,20 N, Katze 644,37  $\pm$  190,24, Kaninchen 275,34 N  $\pm$  102,35 N), wobei es unter dieser Last zu Humerusfrakturen kam und noch keine Luxation auslösbar war. Auch bei einer Winkelung von 90° war die Bruchfestigkeit des Humerusschaftes geringer als die Luxationsstabilität des Gelenkes.

In maximaler Beugestellung überstiegen die ausgeübten Kräfte beim Hund dagegen schon bei 783,67 N  $\pm$  450,62 N die Belastungsfähigkeit der Gelenkbänder noch bevor es zu Frakturen kam.

## ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend kann man sagen, dass durch die vorliegenden anatomischen und biomechanischen Ergebnisse ein deutlich besseres Verständnis für die großen Unterschiede in den Auswirkungen traumatischer Einwirkungen auf das Ellbogengelenk bei Hund, Katze und Kaninchen erlangt werden konnte.

## 7 Summary

### **Biomechanical studies of the elbow joint in dogs, cats and rabbits**

The objective of this thesis was to simulate traumatic elbow joint luxation by means of standardised biomechanical stress testing on the front limbs of dogs, cats and rabbits, in accordance with the bending angle of the elbow joint, without the influence of rotational forces. Independently of the type of animal concerned, the front limbs were placed under constant stress and tested while the elbow joints were extended, bended to 90° and strongly bended, in 0.1 mm steps using a material testing machine Z010 (Zwick company, Ulm). The end of the test was reached when a decrease of force of at least 40% in relation to the highest measured stress value (Fmax) was reached in a test series. The joints of 29 cats, 20 rabbits and 28 dogs of both sexes were tested in biomechanical stress tests. Biomechanical examinations of front limbs with extended and 90° bent elbow joints demonstrated predominantly fractures of the long bones in the form of fractures of the distal humeral shaft. The elbow joints themselves were mostly unaffected. Only in the cats was joint subluxation observed in 3 out of 15 cases during biomechanical stress tests with extended front limbs.

On biomechanical tests on front limbs with strongly bent elbow joints the damage was different. For example, in the dogs, in 8 out of 10 cases medial collateral ligament hyperextension was provoked. In comparison to this, the damage in the cats demonstrated, in addition to fractures of the Ossa antebrachii and the distal humeral shaft, in 2 out of 15 cases, lateral collateral ligament damage. In the rabbits a medial collateral ligament rupture occurred only in 1 out of 10 cases, in addition to fractures of the distal humeral shaft.

The maximum stress (Fmax) tolerated on the front limbs was significantly different depending on the test angle and the type of animal being tested. Extended elbow joints were able to bear the greatest stress (Fmax-dogs 1091.95 N ± 58 5.20 N, cats 644.37 ± 190.24, rabbits 275.34 N ± 102.35 N), without provoking luxations. The load more often caused fractures of the distal humerus. Even with 90° bended elbow joints the breaking strength of the humerus was lower than the structural stability of the elbow joint. In the dog the load (783.67 N ± 450.62 N) exceeded tensile strength of the articular ligaments.

In conclusion the anatomical and biomechanical results give a better understanding of the great differences in the traumatic injuries of the elbow joints in dogs, cats and rabbits.

## 8 Literaturverzeichnis

- Barone R, Pavaux C, Blin PC, Cuqu P (1973)  
Atlas d` Anatomie du Lapin, Atlas of Rabbit Anatomy.  
Paris: Masson et Cie.; p.
- Berg R (1992a)  
Ellbogengelenk, Articulatio cubiti.  
In: Koch T, Berg R: Lehrbuch der Veterinär-Anatomie.  
5 Aufl. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, p. 221-3.
- Berg R (1992b)  
Gelenke und Bänder des Kaninchens.  
In: Koch T, Berg R: Lehrbuch der Veterinär-Anatomie.  
5 Aufl. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, p. 247-8.
- Berg R (1992c)  
Spezielle Knochenlehre, das Skelett des Kaninchens.  
In: Koch T, Berg R: Lehrbuch der Veterinär-Anatomie.  
5 Aufl. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, p. 191-2.
- Bidlingmaier B (1988)  
Klinische Untersuchungen und Erhebungen zur Luxatio antebrachii und Monteggia-Fraktur bei Hund und Katze in den Jahren 1978-1987. Diss. med. vet. München.
- Billings LA, Vasseur PB, Todoroff RJ, Jophnson W (1992a)  
Clinical Results After Reduction of Traumatic Elbow Luxations in Nine Dogs and One Cat.  
Journal of the American Hospital Association; **28**, p. 137-42.
- Billings LA, Vasseur PB, Todoroff RJ, Jophnson W (1992b)  
Clinical Results After Reduction of Traumatic Elbow Luxations in Nine Dogs and One Cat.  
Journal of the American Hospital Association; **Vol 28**, p. 137-42.
- Bingel SA, Riser WH (1977)  
Congenital elbow luxation in the dog.  
J Small Anim Pract; **18**, p. 445-56.
- Bonath K, H., Prieur W, D. (1998)  
Kleintierkrankheiten, Orthopädische Chirurgie und Traumatologie Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co.; p. 657-664.
- Brinker WO, Piermattei DL, Flo GL (1993)  
Orthopädie und Frakturbehandlung beim Kleintier.  
Stuttgart: Schattauer Verlagsgesellschaft mbH; p.
- DeLahunta A, Habel RE (1986)  
Withers, shoulder and arm.  
In: DeLahunta A, Habel RE: Applied veterinary anatomy.

## LITERATURVERZEICHNIS

Philadelphia: W.B. Saunders, p. 75-89.

Donnelly TM (2004)

Basic Anatomy, Physiology, and Husbandry.

In: Quesenberry KE, Carpenter JW: Ferrets, Rabbits and Rodents: Clinical Medicine and Surgery.

2 Aufl. St. Louis: Saunders, p. 137-8.

Eisenmenger E (1981)

Ellbogengelenksluxation - konservative Behandlung und Ergebnisse.

Wiener Tierärztliche Monatsschrift; **68**, p. 156-8.

Engelke E, Koch R, Brunnberg L, Waibl H (2005)

Das Ligamentum olecrani des Ellbogengelenkes bei Hund und Katze.

Kleintierpraxis; **50**, p. 281- 348.

Ertelt J, Böhmer E, Matis U (2006)

Luxatio antebrachii beim Kaninchen.

IDGK-DGV- Kongress

Evans HE, deLahunta A (1980)

Miller's guide to the dissection of the dog.

2. Aufl. Philadelphia, London, Toronto: W.B. Saunders Company; p. 11-14.

Evans HE (1993)

The skeleton.

In: Evans HE: Miller's Anatomy of the Dog.

3 Aufl. Philadelphia: W.B. Saunders, p. 122-218.

Ewringmann A (2006)

Leitsymptome beim Kaninchen.

Stuttgart: Enke; p. 200-201.

Fafard AR (2006)

Unilateral congenital elbow luxation in a dachshund.

Can Vet J; **47**, p. 909-12.

Farrel M, Draffan D, Gemmill T, Mellor D, Carmichael S (2007)

In vitro Validation of a technique for assesment of canine and feline elbow joint collateral ligament integrity and description of a new method for collateral ligament prosthetic replacement.

veterinary surgery; **36**, p. 548-56.

Farrel M, Thomson DG, Carmichael S (2009)

Surgical managment of traumatic elbow luxation in two cats using circumferential suture.

Vet Comp Orthop Traumatol; **22**, p. 66- 9.

Fehr M, Meyer-Lindenberg A (1992)

Über die Ellbogengelenkerkrankungen beim Hund.

Kleintierpraxis; **37**, p. 427-38.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Fehr M (2003)  
Spezielle Chirurgie.  
In: Kraft W, Dürr U, M., Hartmann K: Katzenkrankheiten.  
5 Aufl. Hannover: M. & H. Schaper GmbH, p. 1431.
- Flipo J (1964)  
Treatment of dislocations of the canine elbow.  
Modern Veterinary Practice; **45**, p. 46-50.
- Grams A (2007)  
Gelenkmorphologie des Ellbogen- und Kniegelenks von Säugetieren unter dem Aspekt der evolutionären Anpassung. Diss. med. München.
- Gruber M (1995)  
Makroskopische Anatomie und Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen am Ellbogengelenk der Katze (*Felis sylvestris* F.catus) und des Kaninchens (*Oryctolagus cuniculus*). Diss. med. vet. Wien.
- Hemmes M-J (2004)  
Zum Bandapparat des Ellbogengelenkes des Hundes insbesondere zu Verlauf und Struktur der Kollateralbänder. Diss. med. vet. Hannover.
- Horne E, Craigie PD (1957/1960)  
The skeleton of the anterior limb.  
Bensley's Practical Anatomy of the rabbit.  
8 Aufl. New York: Book Craftsmen Associates, p. 201-4.
- Kapatkin A (2004)  
Orthopedics in Small Mammals.  
In: Quesenberry KE, Carpenter JW: Ferrets, Rabbits, and Rodents: Clinical Medicine and Surgery  
2Aufl. St. Louis: Saunders, p. 389-91.
- Kaser W (1998)  
Untersuchung zur funktionellen Anatomie des Ellbogengelenks (*Articulatio cubiti*) des Hundes. Diss. med. vet. München.
- Kene ROC, Lee R, Bennett D (1982)  
The radiological features of congenital elbow luxation/ subluxation in the dog.  
J small Anim Pract; **23**, p. 621-30.
- König HE (1992)  
Anatomie der Katze.  
Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; p. 9-32.
- Kriegsheim Av (2001)  
Eine retrospektive Studie über Gelenksluxationen der Gliedmaßen bei Hund und Katze. Diss. med. vet. Berlin.
- Künzel E, Knospe C (1990)

## LITERATURVERZEICHNIS

Bewegungsapparat.

In: W. M, Kohler T: Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie der Haussäugetiere.  
Berlin und Hamburg: Paul Parey Verlag, p. 256-8.

Liebich H-G, Forstenpointner G, König HE (2009a)

Bewegungsapparat.

In: König HE, Liebich H-G: Anatomie der Haussäugetiere.

4 Aufl. Stuttgart: F. K. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH, p. 8-31.

Liebich H-G, Maierl J, König h (2009b)

Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße (Articulationes membri thoracici).

Anatomie der Haussäugetiere.

4 Aufl. Stuttgart: F. K. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH, p. 159-76.

Lorinson D, Grösslinger K (2007)

Luxatio antebrachii beim Hauskaninchen -Therapiemethoden und Fixierung mit einer isometrischen Naht.

Wien Tierärztl Mschr; **94**, p. 80- 3.

Maierl J (2003)

Zur funktionellen Anatomie und Biomechanik des Ellbogengelenks (Articulatio cubiti) des Hundes (Canis familiaris). Habilitationsschrift München.

Mc Clure RC, Dallman MJ, Garret P (1973)

Cat Anatomy: an atlas and dissection guide.

Philadelphia: Lea & Febiger; p. 26-31.

Meyer-Lindenberg A, Fehr M, Nolte I (1991)

Zur Luxatio antebrachii traumatica des Hundes - Häufigkeit, Symptome, Therapie und Ergebnisse.

Kleintierpraxis; **36**, p. 607-16.

Milton JL, Montgomery RD (1987)

Congenital elbow dislocations.

Vet Clin North Am Small Anim Pract; **17**, p. 873-88.

Montgomery M, Tomolinson J (1985)

Two Cases of Ectrodactyly and Congenital Elbow Luxation in the Dog.

Journal of the American Animal Hospital Association; **21**, p. 781-5.

Nickel R, Schummer A, Wille K-H, Wilkens H (1992a)

Knochenlehre.

In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.

6. Aufl. Berlin: P.Parey, p. 79-82.

Nickel R, Schummer A, Wille K-H, Wilkens H (1992b)

Gelenklehre.

In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.

6 Aufl. Berlin: Parey, p. 215-9.

## LITERATURVERZEICHNIS

- O'Brien MG, Boudrieau RJ, Clark GN (1992)  
Traumatic luxations of the cubital joint (elbow) in dogs: 44 cases (1978- 1988).  
JAVMA; **201**, p. 1760-5
- O'Malley B (2005)  
Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species.  
Philadelphia: Elsevier Saunders; p. 174.
- Pass MA, Ferguson JG (1971)  
Elbow dislocation in the dog.  
J small Anim Pract; **12**, p. 327-32.
- Reese S, Fehr M (2009)  
Skelettsystem.  
In: Krautwald-Junghans M-E., Pees M., Reese S., T. T: Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren.  
Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, p. 244-6.
- Roos H (1989)  
Zur funktionellen und topographischen Anatomie der Schultergliedmaße der Hauskatze (*Felis silvestris f. catus*). Habilitationsschrift München.
- Salomon F-R (2008a)  
Skelett der Gliedmaßen.  
In: Salomon F-R, Geyer H, Gille U: Anatomie für die Tiermedizin.  
2 Aufl. Stuttgart: Enke.
- Salomon F-R (2008b)  
Knochenverbindungen.  
In: Salomon F-R, Geyer H, Gille U: Anatomie für die Tiermedizin.  
2 Aufl. Stuttgart: Enke, p. 110-29.
- Salvodelli D, Montavon PM, Suter PF (1996)  
Die traumatische Ellbogengelenkluxation bei Hund und Katze: perioperative Befunde.  
Schweizer Archiv für Tierheilkunde; **138**, p. 387-91.
- Schaeffer IGF, Wolvekamp P, Meij BP, Theijse LFH, Hazewinkel HAW (1999)  
Traumatic Luxation of the Elbow in 31 Dogs.  
Vet Comp Orthop Traumatol; **12**, p. 38-45.
- Schulz K (2002)  
Diseases of the joint.  
In: Welch Fossum T, Hedlund CS, Hulse DA, Johnson AL, Howard BS, Willard MD, et al.:  
Small Animal Surgery.  
2 Aufl. St. Louis: Mosby, Inc., p. 1079-81.
- Silverman S, Tell LA (2005)  
Radiology of Rodents, Rabbits and Ferrets, An Atlas of Normal Anatomy and Positioning.  
St. Louis: Elsevier Saunders; p. 179-183.

## LITERATURVERZEICHNIS

Staszyk C, Gasse H (2001a)

The Enthesis of the Elbow-Joint Capsule of the Dog Humerus.  
European Journal of Morphology; **39**, p. 319 - 23.

Staszyk C, Gasse H (2001b)

Das Foramen supratrochleare humeri: Ein Passageweg in der Ellbogenarthroskopie beim Hund?  
Kleintierpraxis 46; **46**, p. 219-24.

Stoyak J, M. (1987)

Luxation of the elbow.

In: Boyrab MJ: Current techniques in small animal surgery  
2Aufl. Philadelphia: Lea & Febiger, p. 687-9.

Valastro C, Di Bello A, Crovace A (2005)

Congenital elbow subluxation in a cat.  
Veterinary Radiology & Ultrasound; **46**, p. 63-4.

Vogelsang RL, Vasseur PB, Peauroi JR, Kass PH, Sharkey N (1997)

Structural, material, and anatomic characteristics of the collateral ligaments of the canine cubital joint.  
Am J Vet Res; **58**, p. 461- 6.

Vollmerhaus B, Schebitz H, Roos H, Brunnberg L, Klawiter- Pommer J, Waibl H (1981)

Zur Anatomie der Fugenknorpel langer Röhrenknochen des Hundes 1. Mitteilung.  
Kleintierpraxis  
**26**, p. 75-80.

Vollmerhaus B, Schebitz H, Roos H, Brunnberg L, Waibl H (1983)

Anatomische Grundlagen und funktionelle Betrachtung zur Olekranonfraktur beim Hund.  
Kleintierpraxis 28, p. 5-22.

Vollmerhaus B, Frewein J, Roos H, Knospe C (1994a)

Skelett.

In: Frewein J, Vollmerhaus B: Anatomie von Hund und Katze.  
Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag, p. 31-3.

Vollmerhaus B, Waibl H, Roos H (1994b)

Gelenke.

In: Frewein J, Vollmerhaus B: Anatomie von Hund und Katze.  
Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, p. 53-63.

Wiesner E, Ribbeck R (2000)

Lexikon der Veterinärmedizin.

4. Aufl. Stuttgart: Enke im Hippokrates Verlag GmbH; p.

Wingerd B, D. (1985)

Rabbit dissection manual.

Baltimore: John Hopkin's Univ. Press; p. 6-9.

## **Danksagung**

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Sven Reese für die Überlassung des Themas und die hervorragende fachliche Betreuung.

Silvia Mitterer, Siegfried Hecher, Hans Kelm und Herrmann Obermayer danke ich für eine angenehme Arbeitsatmosphäre und die allzeit vorhandene Hilfsbereitschaft im Rahmen dieser Arbeit.

Für die sofortige handwerkliche Umsetzung zusätzlicher für diesen Versuchsaufbau notwendiger Sonderanfertigungen danke ich Herrn Josef Heckmeier, unserem alten Dorfschmied.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich nach ihren Möglichkeiten in Allem unterstützten, damit diese Arbeit fertiggestellt werden konnte.