

Aus dem Zentrum für klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter Leitung von:

Univ.-Prof. Dr. R. Köstlin

# **Knochenmarksveränderungen im MRT bei degenerativen Ellbogenerkrankungen des Hundes**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde

der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität

München

von

Sebastian Bartke

aus Bad Essen

München 2011

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Referent: Univ.-Prof. Dr. Köstlin

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Schmahl

Tag der Promotion: 30. Juli 2011

**Meinen Eltern**

**&**

**Yvonne Welpmann**

**INHALTSVERZEICHNIS**

|   |           |
|---|-----------|
| INHALTSVERZEICHNIS .....  | IV        |
| <b>I EINLEITUNG .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>II LITERATURÜBERSICHT.....</b>   | <b>3</b>  |
| 1..... DAS ELLBOGENGELENK DES HUNDES.....   | 3         |
| <i>1.1.Grundzüge der Anatomie&amp;Physiologie des Ellbogengelenks.....</i>          | <i>3</i>  |
| 1.1.2. Entwicklung des Ellbogengelenks.....   | 5         |
| 1.1.3. Biomechanik des Ellbogengelenks.....   | 6         |
| 2.....DIE ELLBOGENGELENKDYSPLASIE DES HUNDES.....                                   | 7         |
| <i>2.1.Definition der Ellbogengelenkdysplasie.....</i>                              | <i>7</i>  |
| <i>2.2.Ätiologie der Ellbogengelenkdysplasie.....</i>                               | <i>8</i>  |
| <i>2.3.Pathogenese der Ellbogengelenkdysplasie.....</i>                             | <i>9</i>  |
| 2.3.1. Pathogenese des fragmentierten Proc. coronoideus medialis ulnae.....         | 9         |
| 2.3.2. Pathogenese des isolierten Processus anconaeus.....                          | 10        |
| 2.3.3. Pathogenese der Osteochondrosis dissecans.....                               | 11        |
| 2.3.4. Pathogenese der Inkongruenz des Ellbogengelenks.....                         | 11        |
| <i>2.4.Diagnostik der Ellbogengelenkdysplasie.....</i>                              | <i>13</i> |
| 2.4.1. Klinische Untersuchung.....  | 13        |
| 2.4.2. Röntgendiagnostik am caninen Ellbogen.....                                   | 13        |
| 2.4.2.1. Röntgendiagnostik des fragmentierten Proc. coronoideus medialis ulnae..... | 15        |
| 2.4.2.2. Röntgendiagnostik der Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri.....   | 15        |
| 2.4.2.3. Röntgendiagnostik des isolierten Processus anconaeus ulnae.....            | 16        |
| 2.4.2.4. Röntgendiagnostik der Ellbogeninkongruenz.....                             | 16        |
| 2.4.3. Ultraschalldiagnostik am caninen Ellbogen.....                               | 16        |
| 2.4.4. Diagnostik mittels Computertomografie.....                                   | 17        |
| 2.4.5. Diagnostik mittels Magnetresonanztomografie .....                            | 17        |
| 3.....DAS KNOCHENMARK.....  | 18        |
| <i>3.1.Zusammensetzung des Knochenmarks.....</i>                                    | <i>18</i> |
| <i>3.2.Darstellung des Knochenmarks mittels Magnetresonanztomografie.....</i>       | <i>18</i> |
| 4.....DAS KNOCHENMARKÖDEM.....  | 19        |
| <i>4.1.Pathogenese und Ätiologie des Knochenmarködems.....</i>                      | <i>19</i> |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 4.2.       | Korrelation von Knochenmarksveränderungen und Schmerz.....              | 20        |
| 4.3.       | Magnetresonanztomografie im Vergleich zur Histologie.....               | 21        |
| 5.....     | DARSTELLUNG DER KNOCHENMARKVERÄNDERUNGEN MITTELS MRT.....               | <b>21</b> |
| 5.1.       | Darstellung der Knochenmarködem ähnlichen Signalgebung.....             | 22        |
| 5.2.       | Bedeutung und Bewertung von Sequenzen zur Knochenmarkdarstellung.....   | 22        |
| 5.2.1.     | T1-gewichtete Sequenzen.....  | 22        |
| 5.2.2.     | T2-gewichtete Sequenzen.....  | 23        |
| 5.2.3.     | Short Tau Inversion Recovery.....                                       | 23        |
| 5.2.4.     | Fast Low Angle Short.....   | 23        |
| 5.2.5.     | T2* Multiple-Echo Data Image Combination Sequenzen.....                 | 25        |
| <b>III</b> | <b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>                                      | <b>26</b> |
| 1.....     | ZIELSETZUNG UND STUDIENAUFBAU.....                                      | <b>26</b> |
| 2.....     | DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN.....                                    | <b>27</b> |
| 2.1.       | Klinische Untersuchung.....   | 27        |
| 2.2.       | Röntgenologische Untersuchung.....                                      | 27        |
| 2.3.       | Computertomografische Untersuchung.....                                 | 28        |
| 2.4.       | Magnetresonanztomografische Untersuchung.....                           | 29        |
| 2.4.1.     | Angewendete MRT-Sequenzen .....   | 30        |
| 3.....     | AUSWERTUNGSPROTOKOLLE.....  | <b>31</b> |
| 3.1.       | Auswertung der klinischen Untersuchung und der Anamnese.....            | 31        |
| 3.2.       | Auswertungsprotokoll der Röntgenuntersuchung.....                       | 31        |
| 3.2.1.     | Arthrose einteilung anhand der Röntgenaufnahmen .....                   | 32        |
| 3.2.2.     | Arthrose Klassifizierung mittels der ARTH- Methode.....                 | 34        |
| 3.3...     | Auswertungsprotokoll der computertomografischen Untersuchung.....       | 35        |
| 3.4....    | Auswertungsprotokoll der magnetresonanztomografischen Untersuchung..... | 36        |

---

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>IV</b>   | <b>ERGEBNISSE</b> .....  | <b>39</b> |
| 1.          | .....STUDIENDATEN.....   | <b>39</b> |
| 2.          | ..... ERGEBNISSE AUS DER KLINISCHEN UNTERSUCHUNG.....                                      | <b>41</b> |
| 3.          | .....ERGEBNISSE DER MRT-, CT- UND RÖNTGENUNTERSUCHUNG.....                                 | <b>42</b> |
| 4.          | .....ERGEBNISSE DER VERSCHIEDENEN MRT-SEQUENZEN.....                                       | <b>47</b> |
| 5.          | .....ERGEBNISSE DER MRT-UNTERSUCHUNG DES KNOCHENMARKS.....                                 | <b>48</b> |
| 6.          | ..... DARSTELLUNG VON WEICHTEILVERÄNDERUNGEN UND GELENKSERGUSS IM MRT.....                 | <b>51</b> |
| 7.          | ..... DARSTELLUNG DES GELENKSKNORPEL MITTELS MRT.....                                      | <b>52</b> |
| <br>        |  |           |
| <b>V</b>    | <b>DISKUSSION</b> .....  | <b>53</b> |
| 1.          | ..... ZIELSETZUNG.....   | <b>53</b> |
| 2.          | .....PATIENTENDATEN .....  | <b>53</b> |
|             | 2.1. <i>Anamnestiche Daten</i> .....   | <b>53</b> |
| 3.          | ..... DIAGNOSTIK DER ELLBOGENDYSPLASIE.....  | <b>54</b> |
|             | 3.1. <i>Klinische Diagnostik</i> .....   | <b>54</b> |
|             | 3.2. <i>Röntgendiagnostik</i> .....  | <b>55</b> |
|             | 3.3. <i>Diagnostik mittels Computertomografie</i> .....                                    | <b>55</b> |
|             | 3.4. <i>Diagnostik mittels Magnetresonanztomografie</i> .....                              | <b>56</b> |
|             | 3.4.1. <i>Bewertung der ausgewählten MRT-Sequenzen</i> .....                               | <b>57</b> |
| 4.          | .....CT VERSUS MRT BEI DER DARSTELLUNG VON PATHOLOGIEEN DES ELLBOGENGELLENKS.....          | <b>58</b> |
|             | 4.1. <i>Darstellung von Primärläsionen mittels CT und MRT</i> .....                        | <b>58</b> |
|             | 4.2. <i>Darstellung von sekundären Veränderungen des Ellbogen mittels CT und MRT</i> ..... | <b>59</b> |
| 5.          | .....DARSTELLUNG VON KNOCHENMARKVERÄNDERUNGEN MITTELS MRT.....                             | <b>60</b> |
|             | 5.1. <i>Korrelation von Knochenmarkveränderungen und Lahmheit</i> .....                    | <b>61</b> |
| 6.          | .....WEICHTEILVERÄNDERUNGEN IM MRT.....  | <b>62</b> |
| 7.          | ..... KNORPELDARSTELLUNG MITTELS MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE.....                             | <b>63</b> |
| <br>        |  |           |
| <b>VI</b>   | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....   | <b>65</b> |
| <b>VII</b>  | <b>SUMMARY</b> .....   | <b>66</b> |
| <b>VIII</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....  | <b>69</b> |
| <b>IX</b>   | <b>ANHANG</b> .....  | <b>88</b> |

---

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 1. .... VERZEICHNISSE.....       | 88 |
| 1.1. Tabellenverzeichnis.....    | 88 |
| 1.2. Abbildungsverzeichnis. .... | 89 |
| 1.3. Abkürzungsverzeichnis.....  | 90 |
| 2. .... DANKSAGUNG.....          | 92 |

## **I Einleitung**

Die Ellbogendysplasie ist die häufigste Ursache für eine Vordergliedmaßenlahmheit bei Hunden. Nachdem eine Rassedisposition festgestellt wurde, ist eine erbliche Komponente vermutet worden. Diese These wurde durch eine in Schweden durchgeführte Studie bekräftigt (Hedhammer et al. 1999). So konnte durch Zuchtausschluss von Rottweilern und Berner Sennenhunden, die eine Ellbogendysplasie aufwiesen, die Prävalenz der Erkrankung deutlich gesenkt werden. Morgan et al. zeigten 1999, dass 17,8 % einer Labrador Retriever Population einen radiologischen Befund aufwiesen.

Zum Krankheitskomplex der Ellbogendysplasie wird eine Reihe von Krankheiten zusammengefasst: Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri (OCD), fragmentierter Processus coronoideus mediales ulnae (FPCMU), isolierter Processus anconaeus (IPA) sowie die Gelenkinkongruenz des Articulatio cubiti (INC).

Die International Elbow Working Group (IEWG) nannte zunächst nur diese 4 Erkrankungen. Zu dem Erkrankungskomplex der Ellbogendysplasie wurden später jedoch noch die intrakondyläre Osteochondrosis, der fragmentierte Epikondylus medialis humeri, die unvollständige Verknöcherung der Humeruskondylen und die Luxatio cubiti congenitalis von verschiedenen Autoren subsumiert (Brunnberg 1999; Hazewinkel 2008).

Die diagnostischen Möglichkeiten in der Radiologie haben sich in den letzten Jahrzehnten rasant entwickelt; so lassen sich mittlerweile auch komplexere Strukturen überlagerungsfrei projizieren.

In Bezug auf das Krankheitsbild der Ellbogendysplasie ist diese Entwicklung von sehr großer Bedeutung. So bekommt man auf einer radiologischen Summationsaufnahme oft nur einen Hinweis auf einen fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae (FPCMU). Mit der Entwicklung der radiologischen Schnittbilddiagnostik kann durch eine Computertomografie das Fragment oder die Fissurlinie mit einer hohen Sensitivität und Spezifität dargestellt werden. Es kann aber bei einer Osteoarthritis oder einer sehr feinen Fissurlinie auch hier zu falsch negativen Ergebnissen kommen.

Die Magnetresonanztomografie bietet die Möglichkeit, nicht nur das Fragment oder die Fissurlinie darzustellen, sondern auch über eine Veränderung des Knochenmarks

einen Hinweis auf einen pathologischen Prozess innerhalb des Gelenks zu bekommen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die diagnostischen Möglichkeiten bei der Ellbogengelenkdysplasie zu vergleichen, wobei der Schwerpunkt auf hinweisenden Merkmalen, wie Veränderungen im gelenksnahen Knochenmark liegt. In der Humanmedizin ist das Auftreten eines solchen Ödems im Knie und Hüftgelenk, im Bereich des der Läsion nahen Knochenmarks, schon lange ein wichtiger diagnostischer Hinweis (Felson et al. 2001). Zu klären galt, ob bei der Ellbogendysplasie des Hundes auch im Bereich des gelenksnahen Knochenmarks, Veränderungen dargestellt werden können.

## II Literaturübersicht

### 1. Das Ellbogengelenk des Hundes

#### 1.1 Grundzüge der Anatomie und Physiologie des Ellbogengelenks

Das Ellbogengelenk (Articulatio cubiti) des Hundes ist ein zusammengesetztes Scharniergelenk (Nickel et al.1992). In ihm artikuliert die Trochlea humeri einerseits mit der Incisura trochlearis ulnae, andererseits mit der Fovea capitis radii, sodass eine Articulatio humeroradialis und eine Articulatio humeroulnaris zu unterscheiden ist. Des Weiteren steht das Ellbogengelenk in direkter Verbindung mit dem proximalen Radioulnargelenk, Articulatio radioulnaris proximalis, in dem sich die an der Kaudalfläche des Radiuskopfs gelegene Circumferentia articularis in der Incisura radialis ulnae bewegt. Begründet in der engen Gelenkkapsel, die alle 3 Gelenke umschließt, den straffen Seitenbändern, den deutlich ausgebildeten Führungskämmen, sowie dem Einrasten des Olecranon in die Fossa olecrani, sind ausschließlich Streck- und Beugebewegungen möglich, was der Definition eines Wechselgelenks entspricht (Nickel et al. 1992; Liebich und König 1999). In beschränktem Umfang durchführbare Pro- und Supinationsbewegungen haben ihren Ursprung nicht im Ellbogengelenk, sondern sind durch Drehen des Radius um die Ulna möglich. Der Bewegungsumfang des Gelenkes beträgt rasseabhängig in der Extension 65-75° und in der Flexion 60-70° (van Herpen 1988).

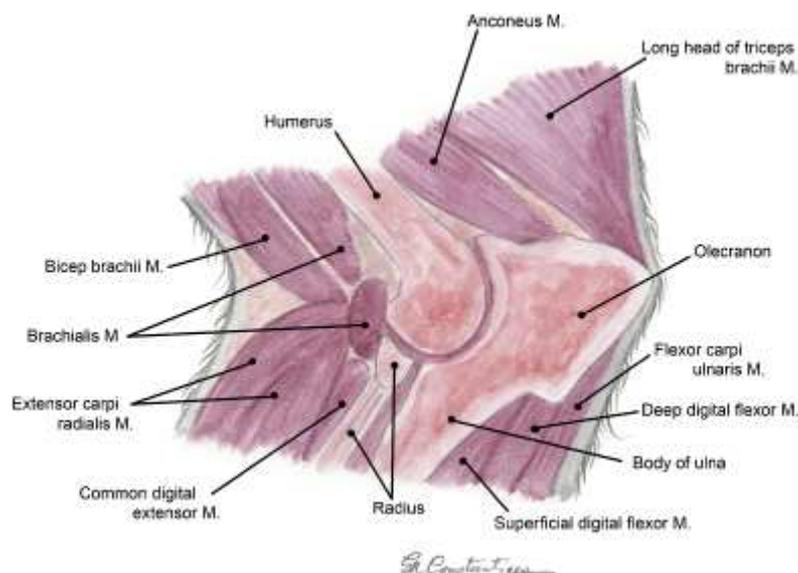


Abb. Nr. 1: Schema der sagittalen Ebene des Ellbogengelenks (Constantinescu und Constantinescu 2009).

Die Ulna überragt mit dem Olecranon den Radius an seiner palmaren Seite. Das Tuberculum olecrani bildet das proximokaudale Ende der Elle. Den proximokraniellen Abschluss der Ulna bildet der Processus anconaeus mit einer beim Deutschen Schäferhund, Bernhardiner, Weimaraner, Vizsla, Afghanischen Windhund, Pointer, Greyhound, Basset und Dachshund vorkommenden eigenen Wachstumsfuge (van Herpen 1988). An ihm beginnt die Incisura trochlearis, welche in eine kleinere, laterale und eine größere, mediale Fläche ausläuft. Ihr distales Ende mündet in den Processus coronoideus medialis/lateralis ulnae.

Die Seitenbänder des Ellbogengelenks (Lig. collaterale cubiti laterale und mediale) entspringen beidseitig in der Bandgrube des Epikondylus medialis bzw. lateralis und inserieren mit 2 Schenkeln an Radius und Ulna. Das mediale Kollateralband schützt den Ellbogen vor Valgusstellungen und nimmt damit primäre Stabilisationsaufgaben des Gelenks wahr (Imatani et al. 1999; Cohen und Bruno 2001). Den Schutz vor Rotationsinstabilität übernimmt das laterale Kollateralband (Cohen und Bruno 2001).

Das Ligamentum anulare radii entspringt am Processus coronoideus medialis, umfasst den Radiuskopf und strahlt dann in das laterale Seitenband ein. Das elastische Ligamentum olecrani entspringt am Epikondylus medialis humeri und inseriert unter Straffung der Gelenkkapsel am Processus anconaeus. Das nur beim Hund vorkommende Spatium interosseum, welches sich zwischen den Unterarmknochen befindet, wird durch die Membrana interossea antebrachii verbunden. Zusätzlich besteht mit dem Ligamentum interosseum eine weitere bandartige Verstärkung im mittleren Bereich des Unterarms.

Die Gelenkkapsel wird an der Beugeseite durch schräg verlaufende Fasern verstärkt. Die Kapsel schließt alle 3 Gelenkabschnitte ein und bildet Aussackungen. Diese befinden sich kraniomedial unter dem Musculus biceps brachii, kraniolateral unter dem Musculus extensor digitalis communis und kaudal zwischen dem Epikondylus lateralis humeri und dem Proximalrand der Fossa olecrani.

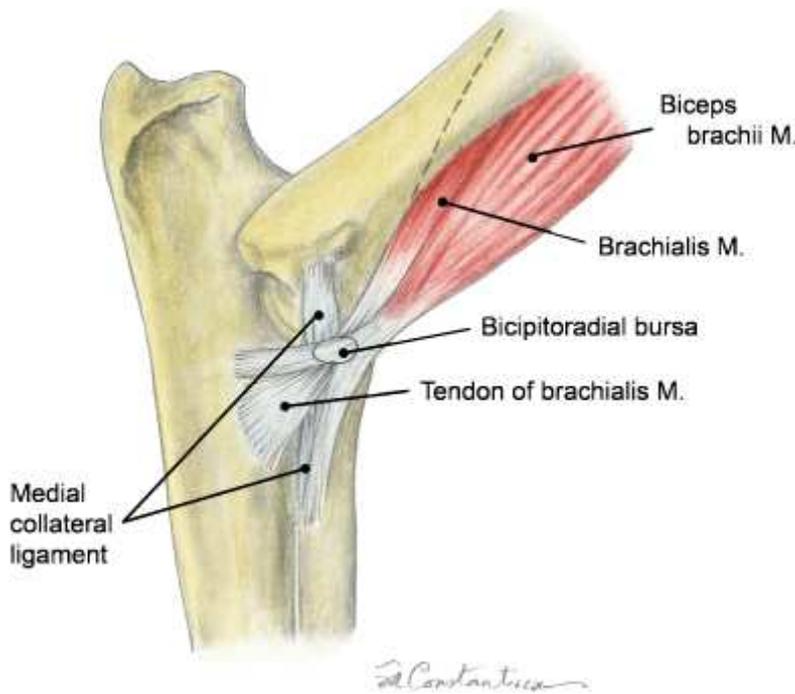


Abb. Nr. 2 : Schema des caninen Ellbogen von medial (Constantinescu und Constantinescu 2009)

### 1.1.2 Entwicklung des Ellbogengelenks

In den ersten 6-7 Lebensmonaten finden 90 % des Längenwachstums statt (Riser und Shirer 1966), mit etwa 10 Monaten ist das Längenwachstum abgeschlossen (Henschel 1972). Der Zeitpunkt der röntgenologisch nachweisbaren Verknöcherungszentren ist rasseabhängig sehr verschieden. Bei der Geburt sind nur die Diaphysen der Knochen mineralisiert (van Herpen 1988).

Am distalen Humerusende befinden sich 3 selbstständige Ossifikationszentren. Als Apophyse ist der mediale Epikondylus angelegt, der keinen Anteil am Gelenk besitzt, und mit dem medialen Anteil des Condylus humeri verwächst. Der Condylus humeri bildet die distale Humerusepiphyse und entsteht aus 2 Ossifikationszentren, dem lateral gelegenen Capitulum humeri und der medial gelegenen Trochlea humeri. Der Condylus ist mit 4,5-8 Monaten vollständig mit der Humerusmetaphyse verwachsen (Heller und Wissdorf 1981). Der Radius ist proximal durch eine Epiphyse gekennzeichnet, die rasseabhängig zu unterschiedlichen Zeitpunkten sichtbar wird. Der Epiphysenschluss erfolgt zwischen dem 5 und 13,5 Lebensmonat. Die proximale Epiphyse des Radius erscheint im Röntgenbild nahezu plan, ist aber am Präparat sattelförmig. Sie trägt eine konkave Gelenkfläche (Fovea capitis radii) (Henschel

1972).

Proximal an der Ulna, die sich mit ihrer Diaphyse am Ellbogengelenk beteiligt, fehlt die Epiphyse. Der Bereich des intensiven Längenwachstums liegt im distalen Abschnitt der Ulna. Als proximale Apophysen existieren 2 Ossifikationszentren, das Tuber olecrani und der Processus anconaeus.

Im Bereich des Tuber olecrani inseriert der sehr kräftige M. triceps brachii, wodurch dieser Bereich starken Zugkräften ausgesetzt ist. Der Zeitpunkt der Vereinigung mit dem Olekranon ist abhängig von der jeweiligen Rasse.

Untersuchungen von Schröder (1978) die bei Deutschen Schäferhunden durchgeführt wurden, zeigen mit 12,5-13 Wochen zum ersten Mal einen Ossifikationspunkt des zuvor knorpeligen Processus anconaeus, welcher im Alter von 16-24 Wochen fusioniert. Auch beim Bernhardiner, Weimeraner, Vizsla, Afghanen und Greyhound ist ein separates Ossifikationszentrum des Proc. anconaeus nachgewiesen, bei kleineren Rassen hingegen konnte eine Verknöcherung von der Basis her festgestellt werden (Breit 2004).

Der Processus coronoideus verknöchert von der Basis zur Spitze hin, er besitzt daher kein eigenes Ossifikationszentrum (van Herpen 1988; Breit 2004). Nach Wolschrijn und Weijjs (2004) verändert sich die Form des Processus coronoideus medialis ulnae zwischen der 4. und 24. Lebenswoche von einer breiten und stumpfen zu einer spitzen Form mit einer steileren Neigung der Oberfläche. Die relativ schnelle Entwicklung funktioneller Trabekelstrukturen des Processus coronoideus medialis ulnae reflektiert die signifikante mechanische Lastaufnahme in frühem Alter.

### **1.1.3 Biomechanik des Ellbogengelenks**

Das Ellbogengelenk (Articulatio cubiti) des Hundes ist ein zusammengesetztes Scharniergelenk (Nickel et al. 1992). Aufgrund des anatomischen Aufbaus ist eine seitliche Bewegung des Ellbogengelenks nicht möglich; Seitwärts- und Drehbewegungen werden durch Führungskämme und -rinnen, durch die Seitenbänder, die nur Bewegungen in der Saggitalebene zulassen und durch den Processus anconaeus der Ulna, der bei der Streckung in die Fossa olecrani greift, verhindert (Quick und Berzon 1980; Vollmerhaus und Roos 1980; Lewis et al. 1989)

Bei der Kraftübertragung wurde lange Zeit von einer Kraftverteilung von bis zu 80 %

des Körpergewichts vom Humerus auf den Radius und nur von ca. 20 % auf die Ulna ausgegangen (Quick und Berzon 1980; Lewis et al. 1989).

Der Processus coronoideus medialis ulnae macht beim Hund etwa  $\frac{2}{3}$  der ulnaren Gelenkfläche aus (Winhart 1991). Bei zunehmender Beugung wird die ulnare Gelenkfläche stärker beansprucht und der radiale Teil entlastet. Mairl konnte 2003 nachweisen, dass nicht der Radius am Antebrachium die Hauptlast des Körpergewichtes trägt, sondern die Ulna. Dies wird rasseunabhängig bei Beugung des Gelenkes verstärkt (Winhart 1991). Das Ligamentum olecrani limitiert die Beugung (Engelke et al. 2005).

Aufgrund von Untersuchungen über die Spannungsverteilung im Ellbogengelenk geht Mairl (2004) von einer physiologischen Inkongruenz aus (siehe Ellbogeninkongruenz).

## **2. Die Ellbogengelenkdysplasie des Hundes**

### **2.1 Definition der Ellbogendysplasie**

Erkrankungen des Ellbogengelenks werden in den letzten Jahren, vor allem bei großen und schnellwüchsigen Hunderassen, immer häufiger als Ursache für Lahmheiten an der Vordergliedmaße, diagnostiziert. Allen Erkrankungen voran steht der Symptomkomplex der Ellbogendysplasie. Als „Dysplasie“ wird eine Abweichung von der normalen Entwicklung während der Ausbildung eines bestimmten Gewebes oder Körperteils bezeichnet (Gruyter 2004).

Bei der Ellbogengelenkdysplasie handelt es sich demnach um Erkrankungen, die dem Ellbogengelenk eine veränderte Form geben. Einige Autoren stellen die Ellbogengelenksdysplasie als häufigste Ursache der Vorderhandlahmheit bei Hunden dar (Grøndalen und Braut 1976).

Historisch wurde die Ellbogengelenkdysplasie erstmals auf einem Röntgenbild der Tierärztlichen Hochschule in Wien um 1931 dargestellt, zu diesem Zeitpunkt wurde sie jedoch nicht als degenerative, sondern als rein traumatische Erkrankung charakterisiert (Pobisch et al. 1972). 1989 wurde von Tierärzten und Züchtern die International Elbow Working Group (IEWG) gegründet. Sie befasst sich mit der Ellbogengelenkdysplasie des Hundes. Die IEWG trägt nicht nur die neuesten

Informationen zur Diagnostik und Therapie dieses Krankheitskomplexes zusammen, sie erarbeitet auch ein Präventionsprogramm für die Hundezucht (International Elbow Working Group 2009).

Unter den Krankheitskomplex der Ellbogengelenkdysplasie fallen laut IEWG im engeren Sinne der isolierte Processus anconaeus (IPA), der fragmentierte Processus coronoideus medialis der Elle (FPCMU), die Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri (OCD), Stufenbildung zwischen Radius und Ulna, sowie Fehlbildungen der Gelenkflächen (INC).

Diese 5 Krankheitsbilder haben gemeinsam, dass sie alle im Ellbogengelenk junger Hunde (4-6 Monate) mittel- und großwüchsiger Rassen entstehen. Alle Veränderungen führen zur Osteoarthritis und häufig auch zur Lahmheit (International Elbow Working Group 2009). Die oben beschriebenen Krankheitsbilder können jedoch nicht nur einzeln, sondern auch kombiniert vorkommen. Die Wahrscheinlichkeit hierfür geben Remy und Neuhart (2004) mit 42,2 % an.

Meyer-Lindenberg et al. (2006) zeigten, dass bei einer Population von 137 Hunden mit isoliertem Processus anconaeus bei 16 % ebenso ein fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae vorlag.

Grondalen bewies schon 1982, dass der isolierte Processus coronoideus medialis ulnae das häufigste morphologische Korrelat bei der Ellbogendysplasie ist und eine Koexistenz mit einer OCD mit mäßiger Wahrscheinlichkeit vorkommen kann.

Manche Autoren zählen auch eine unvollständige Verknöcherung (inkomplette Ossifikation) der Gelenkwalze des Oberarms (IOCH) und eine Verkalkung am Beugesehnenansatz im Bereich des Epikondylus medialis des Oberarms zum Komplex der Ellbogengelenkdysplasie (Flückiger 1992; Brunberg et al. 2001; Meyer-Lindenberg et al. 2006; Hazewinkel 2008). Laut Kasa 2004 sind die Luxatio cubiti congenita und die Distractio cubiti ebenfalls als Formen des Krankheitskomplexes der Ellbogengelenkdysplasie zu sehen.

## **2.2 Ätiologie der Ellbogengelenkdysplasie**

Bislang wurde bei der Ellbogengelenkdysplasie von einer polygen vererbten Erkrankung ausgegangen (Mäki et al. 2001). Hieraus ergibt sich die Problematik, dass phänotypisch gesunde Elterntiere trotzdem ED-krankte Nachkommen hervorbringen

können. Es werden Heritabilitätsindexe zwischen 0.27-0.77 angegeben; dies sind Werte im mittleren bis niedrigen Bereich. Neuere Studien gehen von genetisch unabhängigen Hauptgenen für die einzelnen Primärerkrankungen aus. So wird angenommen, dass es für die Ellbogengelenkdysplasie ein Hauptgen mit polygenem Einfluss gibt (Janutta 2005).

Umweltbedingte Einflüsse können jedoch auf die Entstehung und klinische Ausprägung eine Wirkung haben. Hierzu zählen eine Kalzium-, Vitamin-D- und Energie-Übersorgung. Diese beeinflussen die Wachstumsgeschwindigkeit positiv und führen somit zu einer Prädisposition für die Ellbogengelenkdysplasie. Ob die Energie-Übersorgung direkt zu einer Prädisposition führt oder nur indirekt, über die erhöhte Belastung der Extremitäten durch das Übergewicht der Hunde, ist bislang nicht mit Sicherheit geklärt (Pibat Pascale 2000).

### **2.3 Pathogenese der Ellbogengelenkdysplasie**

Die Pathogenese konnte noch nicht vollständig geklärt werden, es wird jedoch eine Störung der enchondralen Ossifikation (Boudrieau et al. 1983; Walde und Tellhelm 1991; Cook 2001), und ein asynchrones Wachstum der Knochen des Unterarms die zu einer Gelenksinkongruenz führen, angenommen. Eine solche Fehlentwicklung kommt letztlich auch durch eine gestörte enchondrale Ossifikation zustande (Walde und Tellhelm 1991). Eine allgemein erhöhte Wachstumsrate, die zu einer überhöhten Belastung bestimmter Areale des Ellbogengelenks führt, kommt als prädisponierender Faktor hinzu (Cook 2001).

Im Wesentlichen muss die Pathogenese jedoch für jede Grunderkrankung der Ellbogengelenkdysplasie einzeln besprochen werden.

#### **2.3.1 Pathogenese des fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae**

Der fragmentierte Processus coronoideus medialis ulnae kann alleine oder auch in Kombination mit einer OCD (Bennett 1981; Meyer-Lindenberg et al. 2002) oder mit einem IPA (Meyer-Lindenberg et al. 2006) vorkommen.

Bei Rassen wie Labrador Retriever, Golden Retriever und Rottweiler ist der fragmentierte Processus coronoideus medialis ulnae als Lahmheitsursache deutlich überrepräsentiert (La Fond et al. 2002).

Die Ätiologie des FPCMU ist bis heute nicht vollständig geklärt, einige Autoren halten eine genetische Komponente als Hauptursache für wahrscheinlich (Guthrie 1990; Mäki et al. 2001; Janutta 2005), andere Autoren stellen die Fütterung und die Bewegung in den Vordergrund (Pibat Pascale 2000). Die Genetik als Ätiologie anzusehen resultiert allein aus der Rasseprädisposition und auf dem Erfolg von Selektionsprogrammen (La Fond et al. 2002), es fehlen jedoch statistisch sichere Zahlen.

Danielson und Fitzpatrick (2006) konnten, anhand von 38 am FPCMU operierten Hunden, deutliche histologische Veränderungen in Form einer reduzierten Osteozytenzahl und einem diffusen Knorpelschaden nachweisen. Aufgrund dieser histologischen Veränderungen gingen sie davon aus, dass die Ursache für den FPCMU in dauerhaften Mikrotraumen des medialen Processus coronoideus ulnae zu suchen ist. Laut Kirberger (2006) ist Folgendes als Ursache für den fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae anzusehen: Durch ein ungleiches Längenwachstum zugunsten der Ulna, erhöht sich der Druck auf den Processus medialis ulnae. Dies wiederum führt zu einer Schädigung der tiefen Knorpelschichten und kann dadurch zu einer Osteochondrose führen.

### **2.3.2 Pathogenese des isolierten Processus anconaeus**

Der isolierte Processus anconaeus ist vorwiegend eine Erkrankung großwüchsiger Rassen. Vor allem im Wachstum befindliche Hunde großwüchsiger Rasse, deren Processus anconaeus ein eigenes Ossifikationszentrum aufweist, sind häufig betroffen, wie der Deutsche Schäferhund. In einer Studie von Meyer-Lindenberg et al. (2006) waren von 137 betroffenen Hunden 72 % Deutsche Schäferhunde. Ein bilaterales Auftreten wird in der Literatur mit 11 % (Guthrie 1989) bis 30 % (Hazewinkel 1988) angegeben.

Im Alter von 4-5 Monaten verschmilzt der Processus anconaeus mit der Ulna (Vollmerhaus und Roos 1980), sodass zu einem früheren Zeitpunkt keine sichere Diagnose des IPA möglich ist. Zur Ätiologie des isolierten Processus anconaeus gibt es verschiedene Theorien: Ursächlich können entwicklungsbedingte Inkongruenzen durch zu schnelles Wachstum des Radius im Vergleich zur Ulna sein (Olsson 1993), wodurch der Radius den Condylus des Oberarms nach proximal verschiebt und so einen Druck auf das Ossifikationszentrum des Processus anconaeus ausübt. Wenn

gleichzeitig eine Osteochondrose vorliegt, ist der Gelenksknorpel deutlich anfälliger (Morgan et al. 1999), sodass eine OCD zur Pathogenese beitragen kann. Auch beim isolierten Processus anconaeus werden als prädisponierende Faktoren die Ernährung, eine erbliche Komponente und hormonelle Faktoren diskutiert.

### **2.3.3 Pathogenese der Osteochondrosis dissecans**

Unter Osteochondrose versteht man eine Knochen-Knorpeldegeneration, die mit einer Störung der enchondralen Ossifikation in der Epiphysenfuge einhergeht. Die Störung der enchondralen Ossifikation bewirkt eine dickere Knorpelschicht, die über die Synovia und die Gefäße des subchondralen Knochens nicht mehr adäquat versorgt werden kann, sodass es zum Absterben von Chondrozyten kommt. Das Absterben von Chondrozyten im Bereich der tiefen Knorpelschichten führt zu einer Spaltbildung zwischen kalzifiziertem und nicht kalzifiziertem Gewebe. Die mangelnde Stabilität dieses rissigen Gewebes bewirkt, dass leichte Traumata zu einer Ablösung dieser Knorpelschuppe führen. Diese Knorpelschuppe wird dann als Dissekat bezeichnet. Die frei schwimmende Knorpelschuppe kann ossifizieren und durch Kontakt mit dem gegenüberliegenden Knorpel sogenannte „kissing lesions“ hervorrufen. Bei der Pathogenese des fragmentierten Processus coronoideus und des isolierten Processus anconaeus wird die Osteochondrose immer wieder diskutiert (Morgan et al. 2000).

### **2.3.4 Pathogenese der Inkongruenz des Ellbogengelenks**

Der Begriff „Ellbogengelenkinkongruenz“ (INC) bezeichnet 2 Formen einer fehlenden Übereinstimmung im Ellbogengelenk.

Die humeroulnare Inkongruenz ist gekennzeichnet durch eine Dysplasie der Incisura trochlearis ulnae, wohingegen die radioulnare Inkongruenz oder Stufenbildung im Ellbogengelenk durch asynchrones Wachstum von Elle und Speiche zustande kommt (Nap 1995; Körbel 2000). Röntgenologische Vermessungen der Unterarmknochen großwüchsiger Hunderassen zeigten, dass es durch eine Verzögerung des Knochenwachstums im Bereich der proximalen Ulna zu einer Incisura trochlearis ulnae mit geringerem Durchmesser kommen kann. Es wird vermutet, dass der proximale Ulnabereich bei diesen Hunderassen größer ausgebildet ist, um den in Relation größeren und schwereren Humerus aufzunehmen (Wind 1986; Samoy et al.

2006).

Die Rolle der Ellbogengelenkinkongruenz als Faktor in der Pathogenese vom fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae, isolierten Processus anconaeus und der Osteochondrosis dissecans wird in zahlreichen Studien diskutiert (Wind 1986; Puccio et al. 2003; Van Ryssen 2004; Samoy et al. 2006; Gemmill und Clements 2007). Eine deutliche Wachstumsverzögerung des Radius oder der Ulna resultiert meist in einer stärkeren Gliedmaßendeformation im Sinne einer Varus- oder Valgusstellung. Die diskretere Verkürzung eines Unterarmknochens verursacht geringere Veränderungen und stellt so die Inkongruenz als alleinige Lahmheitsursache infrage. Dennoch tritt in vielen Fällen eine Inkongruenz gemeinsam mit den Grunderkrankungen IPA, FPCMU oder OCD auf. Bei stärker ausgeprägter radioulnarer Inkongruenz fallen häufiger Lahmheiten und oder freie Fragmente auf (Wind 1986; Samoy et al. 2006).

Durch relative Verkürzungen der Unterarmknochen ändern sich die Belastungsverhältnisse im Ellbogen. Bei einer Verkürzung des Radius entsteht durch die Verschiebung des Capitulum humeri nach distal und leicht kranial eine vermehrte Belastung auf die Trochlea humeri und den Processus coronoideus medialis ulnae. Ein verzögertes Längenwachstum der Ulna kann bekanntermaßen zum Erkrankungsbild des isolierten Processus anconaeus führen, aber durch die sich ändernde Gelenksituation auch zu einer Überbelastung und einem vermehrten Kontakt der medialen Gelenkanteile. In beiden Fällen sind Knorpelschäden im Bereich des medialen Processus coronoideus ulnae und im zentrolateralen Anteil der Trochlea humeri zu erwarten (Lozier 2006). Die Rolle der Inkongruenz als Faktor für die Entstehung eines FPCMU verkompliziert sich durch das gleichzeitige Auftreten eines IPA und FPCMU in einem Gelenk. Eine Inkongruenz im Sinne einer relativen Verkürzung des Radius wäre für die Entstehung eines FPCMU zu erwarten, jedoch zeigten sich bei einer Studie auch Ellbogengelenke mit fragmentiertem Processus coronoideus medialis ulnae ohne deutliche Inkongruenz (Meyer-Lindenberg et al. 2006). Häufig wird in der Literatur der Begriff der physiologischen Inkongruenz verwendet. Hierunter versteht man eine Inkongruenz von wenigen Zehntelmillimetern im unbelasteten Zustand. In der Belastung wird der Knorpel durch den Druck modelliert und es entsteht ein kongruentes Gelenk mit gleichmäßiger Belastung der Gelenkflächen. Diese geringe Inkongruenz darf nicht mit einer starken pathologischen Inkongruenz verwechselt werden (Winhard 2007).

## **2.4 Diagnostik der Ellbogendysplasie**

### **2.4.1 Die klinische Untersuchung**

Die klinischen Symptome lassen keine sichere Diagnose der einzelnen Grunderkrankungen zu. Die Tiere können eine einseitige Vorderhandlahmheit zeigen. Da das Krankheitsbild häufig aber auch beidseitig vorkommt, zeigt sich oft nur ein steifer oder gestelzter Gang (Fossum 2007). Zudem kann ein paddelnder Gang, eine Supination der Vordergliedmaße während der Gliedmaßenstreckung und eine Auswärtsrotation der Pfote bei Abduktion der gesamten Gliedmaße auftreten (Hazewinkel 2008), vor allem beim FPCMU und IPA kann dieses Gangbild beobachtet werden. Bei beiden Erkrankungen kann eine Schmerzhaftigkeit bei Hyperextension des Ellbogengelenks festgestellt werden.

Bei der klinischen Untersuchung wird die Gliedmaße im Stehen palpiert, hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Feststellung von Gelenkfüllungen und Muskelatrophien. Muskelatrophien, besonders der Schultermuskulatur, sind nach Lewis et al. (1989) selten bzw. werden erst spät sichtbar (Meyer-Lindenberg 1992). Im Rahmen der klinischen Untersuchung sollte der Bewegungsradius, der sogenannte „Range of Motion“, überprüft werden. Kommt es hierbei zu Schmerzreaktionen in der Hyperextension, ist dies ein Hinweis auf das Vorliegen eines fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae. Bei hochgradiger Osteoarthritis kommt es zu fühlbaren Krepitationen im Ellbogengelenk. Um die medialen Strukturen im Bereich des Ellbogengelenks zu prüfen, wird die Gliedmaße im Karpalgelenk um 90° gebeugt und die Pfote supiniert. Dieser diagnostische Test wird als Coronoidprobe bezeichnet. Hierbei kommt es zu einem verstärkten Druck auf das radioulnare Gelenk und die mediale Ellbogenregion (Brunnberg 1999; Hazewinkel 2008). Auch bei Extension mit gleichzeitiger Pronation zeigen Tiere mit FPC oder OCD deutliche Reaktionen (Meyer-Lindenberg 1992).

### **2.4.2 Die Röntgendiagnostik**

Aufgrund der hohen Inzidenz einer beidseitigen Erkrankung sollten immer beide Ellbogengelenke vergleichend untersucht werden. Durch die beidseitige Darstellung wird auch die Interpretation der Epiphysenfugen erleichtert (Lewis et al. 1989; Brunnberg et al. 2001). Einige Autoren empfehlen auch die gleichzeitige Untersuchung des Schultergelenks, da eine sichere klinische Abgrenzung dieser

beiden Gelenke oft nur schwer möglich ist (Olsson 1975).

Als sogenanntes Röntgengrundbildpaar werden 2 orthograd zueinander stehende Ebenen bezeichnet. Im Bereich der Gliedmaße wird eine mediolateral gestreckte und eine kraniokaudale Aufnahme angefertigt (siehe Abb. 3) (Probst 1988; Morgan et al. 2000). Zur Diagnostik von FPCMU, OCD und IPA werden verschiedene Schrägaufnahmen mit einer geringeren Überlagerung der einzelnen Strukturen beschrieben (Kirberger 2006).

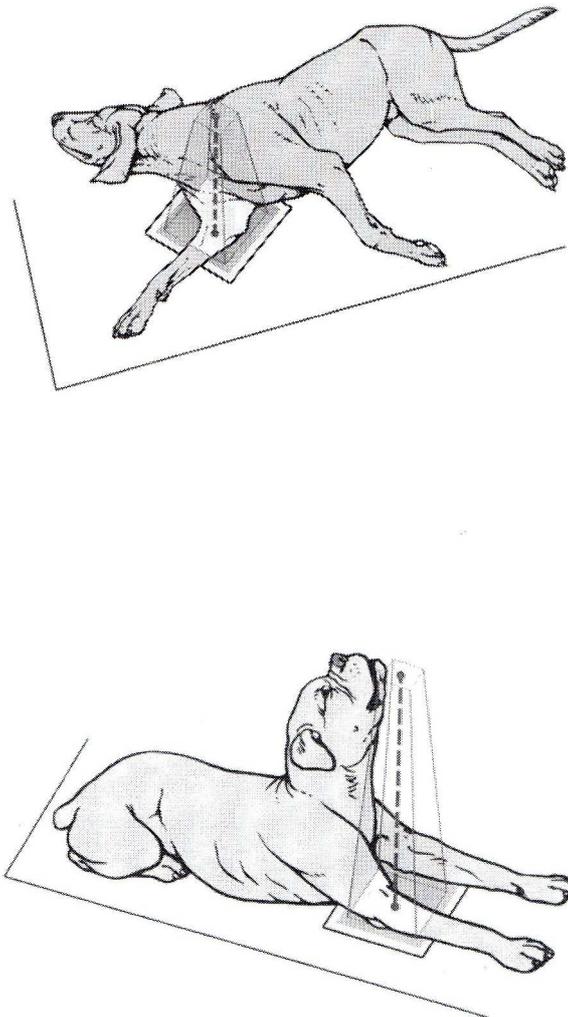


Abb. 3: Lagerung zur röntgenologischen Darstellung des Ellbogengelenks, mediolateraler (oben) und kraniokaudaler (unten) Strahlengang, aus: „Atlas der Röntgenanatomie des Hundes“ von Schebitz et al. (2005).

#### **2.4.2.1 Die Röntgendiagnostik des fragmentierten Processus coronoideus mediales ulnae**

Die Röntgendiagnostik des fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae kann sich sehr schwierig gestalten, da der Processus coronoideus medialis ulnae in dem klassischen Röntgengrundbildpaar von anderen Knochenstrukturen überlagert wird, sodass die direkte Diagnose nur dann zu stellen ist, wenn dieser frakturiert und deutlich disloziert ist. Carpenter et al (1993) geben nur eine Sensitivität von 23,5 % für die Summationsaufnahme an. Die Verdachtsdiagnose basiert auf sekundären Verdichtungen der Knochenstruktur, Stufenbildung und im fortgeschrittenen Stadium auf Gelenksarthrosen. Die Arthrosen lassen jedoch keine Unterscheidung zwischen FPCMU und IPA zu, deshalb kommen häufig weitere diagnostische Verfahren in Form von CT, MRT, Arthroskopie oder Athrotomie zum Einsatz (Berry und Clifford 1992). Cook und Cook (2009) empfehlen zusätzlich zu dem Röntgengrundbildpaar weitere Schrägaufnahmen anzufertigen, um den Processus coronoideus medialis ulnae möglichst überlagerungsfrei darstellen zu können.

#### **2.4.2.2 Die Röntgendiagnostik der Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri**

Die OCD entsteht am Ellbogengelenk fast ausschließlich an der gewichttragenden Trochlea humeri (Reichel und Richard 2000; Cook und Cook 2009).

Die OCD kann meistens frühzeitig röntgenologisch dargestellt werden, nur selten ist die Darstellung nicht möglich, sodass die sekundären Arthrosezeichen zur Diagnosestellung herangezogen werden müssen (Berry und Clifford 1992). Im Röntgenbild stellt sich die OCD als Aufhellung häufig auch mit einem Sklerosesaum im Randbereich dar. Ein freies Fragment ist jedoch nur sehr selten darzustellen (Cook und Cook 2009).

Zur Darstellung sollten 2 Ebenen angefertigt werden. Die Osteochondrose lässt sich in medio-lateralen und kranio-kaudalen Projektionen erkennen. Ein sicheres Gelingen der Projektion der OCD kann mit einer kranio-lateralen Aufnahme, 15° nach kaudomedial, gekippt erreicht werden.

### **2.4.2.3 Die Röntgendiagnostik des isolierten Processus anconaeus ulnae**

Die sichere radiologische Diagnose des IPA ist erst ab der 20. Lebenswoche möglich, da bei Hunden ein eigenes Ossifikationszentrum vorliegt. Zur Diagnose sollte eine Röntgenaufnahme mit gebeugtem Gelenk im mediolateralen Strahlengang angefertigt werden. Durch die Beugung kann der Proc. anconaeus überlagerungsfrei dargestellt werden (Goring und Bloomberg 1983). Bei längerem Bestehen kann es zu starken Deformationen und Osteophytenbildungen kommen, sodass der Proc. anconaeus nicht mehr darstellbar ist (Meyer-Lindenberg 1992). Meyer-Lindenberg zeigte (2006) die hohe Prävalenz vom kombinierten Auftreten des FCPMU und IPA im ipsilateralen Gelenk. Andere Autoren empfehlen sogar nach der Feststellung eines IPA routinemäßig eine Computertomografie durchzuführen, um einen FPCMU sicher ausschließen zu können (Reichel und Richard 2000; Snaps et al. 1999).

### **2.4.2.4 Die Röntgendiagnostik der Ellbogeninkongruenz**

Mason et al. zeigten 2002 in einer Studie mit experimentell verursachten Inkongruenzen, dass die 90° gebeugte Aufnahme mit mediolateralem Strahlengang zur Beurteilung der Kongruenz des Ellbogengelenks am besten geeignet sei. Jedoch ist eine exakte Beurteilung mittels klassischer Radiografie nur sehr unsicher. Durch die Computertomografie kann ein besseres Ergebnis erzielt werden (Mason et al. 2002; Wagner et al. 2007).

### **2.4.3 Die Ultraschalldiagnostik**

Die Ultraschalldiagnostik ist keine Standardmethode bei der Diagnostik der Ellbogendysplasie des Hundes (Cook und Cook 2009). Der isolierte Processus coronoideus medialis ulnae und der isolierte Processus anconaeus können mittels Sonografie festgestellt werden. Sie zeigen im positiven Fall eine veränderte Knochenstruktur. Die Osteochondrose und die Ellbogeninkongruenz können mittels Ultraschall jedoch nicht diagnostiziert werden, da die inneren Bereiche der Gelenksfläche sonografisch nicht darstellbar sind (Lamb und Wong 2005).

#### **2.4.4 Die Diagnostik mittels Computertomografie**

Die Computertomografie (CT) ist ein nicht invasives Schnittbildverfahren, in dem sich alle knöchernen Strukturen des Gelenks überlagerungsfrei darstellen lassen. Diese überlagerungsfreie Darstellung ermöglicht eine deutlich sensitivere Diagnostik des fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae. Carpenter et al. (1993) geben die Sensitivität mit 88,2 % und die Spezifität mit 86,7 % an.

Die CT-Untersuchung ermöglicht einen guten Knochenkontrast. Eine Beurteilung der Weichteilgewebe, die das Gelenk umgeben, ist jedoch nur unzureichend möglich (De Rycke et al. 2002).

Eine direkte Darstellung des Gelenkknorpels ist mithilfe der Computertomografie nicht möglich und kann nur mittels einer Magnetresonanztomografie durchgeführt werden (Snaps et al. 1999).

Die Ellbogeninkongruenz kann mithilfe der Computertomografie genauer quantifiziert werden, als dies mit konventionellen Röntgenbildern möglich ist (Gemmill und Clements 2007). Jedoch ist die Kongruenz des Ellbogengelenks stark abhängig von der Lagerung des Gelenks. Eine Beurteilung sollte, wenn möglich, nur in 3D-Rekonstruktionen erfolgen (Wagner et al. 2007).

#### **2.4.5 Die Diagnostik mittels Magnetresonanztomografie**

Die Magnetresonanztomografie ist eine nicht invasive Schnittbilddiagnostik, die in der Ellbogengelenksdiagnostik beim Hund jedoch nicht routinemäßig eingesetzt wird. Wie auch bei der Computertomografie können hier Schnittbilder ohne Überlagerungen verschiedener anatomischer Strukturen erzeugt werden. Durch die MRT ist eine Darstellung des Knochens, sowie der Weichteile möglich. Sie ist das einzige, nicht invasive diagnostische Mittel zur Darstellung des Gelenkknorpels (Snaps et al. 1999; De Rycke et al. 2002)

Klumpp verglich 2008 in einer Studie mit 44 Ellbogengelenken die MRT- und CT-Diagnostik im Hinblick auf die Sensitivität bei der Diagnose eines FCP und konnte keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Der Vorteil in der Untersuchung mittels MRT, ist die direkte Darstellung von Weichteilen, Knochen, Knorpel sowie des Knochenmarks (Snaps et al. 1999).

### **3. Das Knochenmark**

#### **3.1 Zusammensetzung des Knochenmarks**

In histologischen Präparaten von physiologischem Knochenmark können 3 Komponenten unterschieden werden. Die knöchernen Komponente, die zelluläre Komponente sowie die das Knochenmark unterstützende Komponente sind voneinander abgrenzbar.

Zur knöchernen Komponente gehört der spongiöse Knochen, bestehend aus Primär- und Sekundärtrabekeln. Die Trabekel bilden das mechanische Grundgerüst des Knochenmarks. Zur zellulären Komponente zählen die haematopoetischen Zellen-, Fett-, und Retikulumzellen. Diese Zellen bilden die eigentliche Funktionseinheit des Knochenmarks. Die das Knochenmark unterstützende Komponente besteht aus Gefäßen neuralen und lymphatischen Elementen.

Haematopoetisch aktives Knochenmark wird auch als rotes Knochenmark bezeichnet, es besteht zu 40 % aus Wasser, zu 40 % aus Fett und zu 20 % aus Protein (Feller 2002). Das sogenannte Fettmark oder gelbe Knochenmark besteht zu 15 % aus Wasser, 80 % Fett und zu 5 % aus Protein.

Bei der Geburt besteht das gesamte Knochenmark nur aus haematopoetischem Knochenmark. Dieses rote Knochenmark konvertiert sich während der Ontogenese zu gelbem Knochenmark (Kricum 1985). Auch in vollständig konvertierten Knochenmark können noch Inseln von roten Knochenmark nachgewiesen werden, diese Residualkörper kommen häufig in langen Röhrenknochen auch bei älteren Individuen vor (Vahlensieck und Schmidt 2000). Unger und Summers konnten 1989 nachweisen, dass bei Menschen mit einem Lebensalter von 80 Jahren bis zu 70 % des ursprünglich roten Knochenmark bereits zu gelben Mark konvertiert sind.

#### **3.2 Die Darstellung des Knochenmarks mittels Magnetresonanztomografie**

Die MRT-Untersuchung ist die einzige nicht invasive Möglichkeit zur Darstellung des Knochenmarks sowie des Gelenkknorpels. Beide Bestandteile werden auch als osteochondrale Funktionseinheit bezeichnet (Hofmann et al. 2003).

Die Magnetresonanztomografie wird in der Human- und Tiermedizin gleichermaßen

als Goldstandard zur Darstellung des Knochenmarks angesehen (Armbrust et al. 2004; Carrino et al. 2006; Armbrust et al. 2008; Roemer et al. 2008). Die wichtigen Komponenten für die Signalgebung sind Wasser, Fett und von geringer Bedeutung auch die Trabekelstruktur des Knochens (Vande Berg 1998). Durch die altersbedingte Veränderung der Zusammensetzung des Knochenmarks kommt es auch zu einer unterschiedlichen Signalgebung (Jaramillo et al. 1991). Fett ist in jedem Alter ein dominanter Bestandteil des Knochenmarks. Es weist eine sehr schnelle T1-Relaxationszeit und aufgrund seiner CO<sub>2</sub>-haltigen Molekülkette eine moderate T2-Relaxationszeit auf (Vande Berg 1998). Die Signalgebung wird jedoch nicht nur vom Alter, sondern auch von dem Knochen, der Lokalisation im Knochen, der Rasse und der individuellen Stoffwechselsituation des Tieres beeinflusst (Raskin 1993; Armbrust et al. 2004; Armbrust et al. 2008; Sherlock et al. 2010).

Ein Standarduntersuchungsprotokoll besteht aus T1-gewichteten, T2-gewichteten, und fettunterdrückten Sequenzen in allen 3 Ebenen (Armbrust 2004; Armbrust et al. 2008; Klumpp und Kramer 2008).

#### **4. Das Knochenmarködem**

##### **4.1 Die Pathogenese und Ätiologie des Knochenmarködems**

Die Pathogenese des Knochenmarködems ist auf eine Flüssigkeitsvermehrung im Knochen als Folge einer Durchblutungsstörung in der Endstrombahn zurückzuführen. Knochenmarködeme werden in der Humanmedizin hinsichtlich ihrer Ätiologie nach Hofmann et al. (2003) folgendermaßen eingeteilt:

#### **I. ischämische Knochenmarködeme**

- a) Knochenmarködemsyndrom
- b) Osteonekrose
- c) Osteochondritis dissecans
- d) chronic regional pain syndrome I ( Morbus Sudeck)

#### **II. reaktive Knochenmarködeme**

- a) Knochenmarködeme bei Arthrosen
- b) postoperative Knochenmarködeme
- c) Knochenmarködeme bei Arthritiden und Tumoren

### **III. mechanische Knochenmarködeme**

- a) posttraumatisches Knochenmarködem
- b) Stress-Knochenmarködem und Stressfrakturen

Andere Einteilungen fügen noch eine 4. Ätiologie hinzu, dass sogenannte metabolische Knochenmarködem. Unter diesen Begriff fällt die transiente Osteoporose, die im englischen Sprachgebrauch auch als „bone marrow edema syndrom“ bezeichnet wird (Walther und Stabler 2007).

#### **4.2 Korrelation zwischen Knochenmarkveränderungen und Schmerz**

Laut Felson et al. (2001) besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Schmerzen und dem Auftreten eines Knochenmarködems. Dies wird durch den vermehrten intra- und oder extrazellulären Flüssigkeitsgehalt im Knochenmark erklärt. So kommt es durch die vermehrte Flüssigkeit zu einem erhöhten intraossären Druck. Der physiologische Druck wird mit 30-50 mmHg angegeben. Eine deutliche Erhöhung führt zu einem Druckschmerz in der jeweiligen Knochenregion. Aigner (2009) zeigte jedoch, dass der Ausprägungsgrad des Knochenmarködems in der MRT-Bildgebung nicht immer mit dem Grad der Schmerzen korreliert. So konnten auch bei asymptomatischen Patienten Knochenmarködeme detektiert werden.

In der Humanmedizin werden Knochenmarködeme im Bereich der proximalen Extremität häufig als wichtiger diagnostischer Hinweis auf strukturelle Defekte gewertet (Felson 2001).

An der distalen Gliedmaße kann diese These jedoch nicht bestätigt werden. Walther und Stabler (2007) zeigen, dass am Fuß von bis zu 80 % der beschwerdefreien Laufsportler eine dem Knochenmarködem ähnliche Bildgebung in der Magnetresonanztomografie festgestellt wurde.

### 4.3 Magnetresonanztomografie im Vergleich zur Histologie

Sherlock et al. zeigten 2010, dass bei stark abgemagerten Pferden eine seröse Atrophie des Knochenmarks einsetzt. Sie konnten bei den 3 untersuchten Pferden sowohl im Niederfeldgerät als auch im Hochfeldgerät eine Reduktion der Signalintensität in den T1-gewichteten Sequenzen, und auch eine hyperintense Signalgebung in den T2- und STIR-gewichteten Sequenzen feststellen, was einer Knochenmarködemen ähnlichen Signalgebung entspricht. Keines der Pferde zeigte eine Lahmheit der untersuchten Gliedmaße. Diese Fettatrophie zeigt, dass die klassische Signalgebung eines Knochenmarködems nicht immer histologisch auch ein Ödem beinhaltet.

Martig et al. stellten 2007 fest, dass bei Hunden mit Osteoarthritis zwar die Signalgebung in der MRT der eines Knochenmarködems entspricht, jedoch histologisch nur selten ein klassisches Ödem nachgewiesen werden konnte. Häufig wurden Einblutungen, Fibrosen oder Nekrosen histologisch nachgewiesen. Zanetti et al. beschrieben diese Beobachtung schon im Jahr 2000 beim Menschen. Weiterhin stellten sie fest, dass histologisch Knochenmarködeme kleinerer Ausbreitung festgestellt werden konnten, obwohl die MRT-Signalgebung in diesen Bereichen unauffällig war. Im umgekehrten Fall können histologisch unspezifische Veränderungen bis hin zu Normalbefunden vorliegen, obgleich die MRT-Befunde für ein Knochenmarködem sprechen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse bezeichneten Sie diese charakteristische Signalgebung auch als „bone marrow edema like pattern“, da eine Abgrenzung der verschiedenen Differenzialdiagnosen mittels Magnetresonanztomografie nicht möglich ist.

## 5. Die Darstellung von Knochenmarksveränderungen mittels Magnetresonanztomografie

Wie bereits besprochen ist eine sichere Abgrenzung des Knochenmarködems von anderen Pathologien des Knochenmarks mittels Magnetresonanztomografie nicht möglich (Hofmann et al. 2003; Martig et al. 2007). Aus diesem Grund soll im Folgenden nur von Knochenmarksveränderungen oder Knochenmarksödemen ähnlicher Signalgebung gesprochen werden.

### **5.1 Die Darstellung einer Knochenmarködem ähnlichen Signalgebung**

Zur Darstellung des „bone marrow edema like pattern“ können verschiedene Sequenzen zum Einsatz kommen.

Man spricht von einer „Knochenmarködem ähnlichen Signalgebung“ bei einer Hyperintensität in „short tau inversion recovery“-gewichteten Sequenzen und einer Hypointensität in T1-gewichteten Sequenzen, wobei sich die T2-gewichteten Sequenzen sehr indifferent verhalten können (Bauer-Melnyk 2005).

Weitere Studien zeigten, dass die Aussagekraft von STIR-gewichteten und T1-gewichteten Kontrastmittel-Sequenzen nahezu identisch ist, sodass in der vorliegenden Studie auf die Applikation von Kontrastmittel verzichtet wurde (Schmid et al. 2002).

Die detailgetreue Darstellung kann durch sogenannte Gradientenechosequenzen im Vergleich zu konventionellen Turbo-Spine-Echo-Sequenzen noch verbessert werden. So kommen in der Humanmedizin häufig T2-gewichtete Gradientenechos bei der Diagnostik von Knochenmarksveränderungen zum Einsatz (Vahlensieck und Schmidt 2000).

### **5.2 Bedeutung und Bewertung verschiedener Sequenzen zur Darstellung von Knochenmark und Knochenmarkpathologien**

Die Namen und Art der Sequenzen sind abhängig vom Hersteller des Kernspintomografen. Die Bezeichnungen stammen aus der Software des Kernspintomografen vom Typ Magnetom Symphony der Firma Siemens Medizintechnik (Erlangen, Deutschland).

#### **5.2.1 T1-gewichtete Sequenzen**

In T1-gewichteten Sequenzen stellt sich Fett hyperintens und Flüssigkeit, sowie Knochen, hypointens dar. Durch die hypointense Signalgebung von Knochen und Flüssigkeit sind die T1-gewichteten Sequenzen wichtig für die Differenzierung von jungem, fettreichen Knochenmark und pathologisch verändertem Knochenmark mit vermehrtem Flüssigkeitsanteil.

In den T1-gewichteten Sequenzen lassen sich häufig Veränderungen der Knochenkortikalis gut darstellen.

### **5.2.2 T2-gewichtete Sequenzen**

Prinzipiell lässt sich sagen, dass T2-gewichtete Sequenzen Fett und Flüssigkeit hell erscheinen lassen. In herkömmlichen T2-gewichteten Turbo-Spin-Echo-MR-Bildern erscheint daher Flüssigkeit, wie der Liquor synovialis oder der Liquor cerebrospinalis hyperintens, und die Kortikalis hypointens. Fett ergibt ein intermediäres Signal (Yulish et al. 1987; Recht et al. 1993; Disler et al. 1995). Knorpelgewebe stellt sich in konventionellen T2-gewichteten Bildern, trotz seines hohen Wassergehalts, dunkel dar. Dieses T2-Verhalten resultiert aus dem ausschließlich im Knorpelgewebe vorkommenden Kollagen und der Art seiner Organisation (Ghosh et al. 1990; Gold et al. 2003). Das Kollagen immobilisiert mit seiner regulären Struktur Wassermoleküle und führt zu dipolaren Interaktionen zwischen den Protonen, was diese T2-Relaxation erklärt (Disler et al. 2000). Es hat sich gezeigt, dass aufgrund dieser Signalgebung, T2-gewichtete Sequenzen keine hohe Sensitivität bei der Diagnostik von Knorpeldefekten aufweisen (Yulish et al. 1987; Disler et al. 1996).

### **5.2.3 Short Tau Inversion Recovery (STIR)**

Bei der „short tau Inversion recovery“ handelt es sich um eine T2-gewichtete Sequenz, bei der jedoch das Fettsignal unterdrückt wird. Diese fettunterdrückte Sequenz zeigt eine hyperintense Signalgebung für Gewebe mit langer T1- und T2-Relaxationszeit.

Durch die Unterdrückung des Fettsignals können Pathologien des gelben, fettreichen Knochenmarks gut dargestellt werden (Bydder und Young 1985; Porter et al. 1987; Young 1987).

### **5.2.4 Fast Low Angle Short (FLASH)**

Für die Untersuchung wurde die T1-FLASH-3D-WE-Sequenz der Firma Siemens, Erlangen, Deutschland verwendet. Es handelt sich um eine Gradienten-Echo-Sequenz (GE). Diese Verfahren verkürzen die Aufnahmezeit deutlich. Diese Verkürzung der

Aufnahmezeit wird durch eine Reduktion der Repetitionszeit (TR) erreicht. Zur Vermeidung von Sättigungseffekten können nur Flip-Winkel kleiner als  $90^\circ$  verwendet werden. Bei diesen Sequenzen wird auf die  $180^\circ$ -Refokussierungspulse zugunsten der geringeren Aufnahmezeiten verzichtet.

Die Wichtung bei diesen Sequenzen erfolgt durch die Wahl des Flip-Winkels und der Parameter TE und TR. Eine ausgeprägte T2-Wichtung ist allerdings nicht möglich.

Die „FLASH“-Sequenz gehört zu den gespoilten Gradienten-Echo-Sequenzen. Das bedeutet, dass das Restsignal der Quermagnetisierung durch einen Spoiler-Hochfrequenzimpuls zerstört wird, deshalb wird nur das Signal der Längsmagnetisierung genutzt.

Durch entsprechende Wahl der Parameter TR, TE und des Flip-Winkels kann die Signalintensität beeinflusst werden. Hiermit sind sowohl T1-gewichtete Bilder als auch protonendichte-gewichtete Bilder möglich. Die „FLASH“ kann als 2D- und 3D-Sequenz akquiriert werden. Die fettunterdrückte T1-FLASH-3D-Sequenz wurde von Disler et al. (2000) als sehr sensitives Verfahren zur Darstellung von Knorpeldefekten beschrieben, dieser stellt sich hyperintens zu dem umliegenden Gewebe dar und kann somit gut beurteilt werden.

Schuller zeigte 2003, dass durch eine transversale Schnittführung die mediale Abteilung des Ellbogengelenks des Hundes in der FLASH gut dargestellt werden kann, es jedoch schwierig ist, die beiden gegenüberliegenden Knorpelschichten zu differenzieren und oberflächliche Knorpeldefekte zu detektieren.

Die fettunterdrückte T1-FLASH-3D-Sequenz ist aufgrund ihres guten Knorpel-zu-Fett als auch einem guten Knorpel-zu-Flüssigkeit-Kontrasts in der Humanmedizin eine bewährte Sequenz, um Gelenkknorpeldefekte und Läsionen im subchondralen Knochen darzustellen (Recht et al. 1993; Disler et al. 1995; Disler et al. 1996).

Die sehr lange Aquisitionszeit ist jedoch auch in der Tiermedizin ein Nachteil, da die Hunde für eine magnetresonanztomografische Untersuchung in Allgemeinanästhesie verbracht werden müssen. Diese langen Messzeiten können durch eine sogenannte „water-excitation“ (we-Sequenzen) verkürzt werden. Das Prinzip dieser we-Sequenzen ist eine selektive Anregung von nicht fettgebundenen Protonen, die die spektrale Fettunterdrückung hinfällig macht (Glaser et al. 2001).

**5.2.5 3D-T2\* multiple-echo data image combination Sequenz (MEDIC)**

Die Medic ist eine T2- gewichtete Gradientenechosequenz. Der Knochen wird hier hypointens dargestellt. Der Knorpel erscheint intermediär bis hin zu einer geringen Signalintensität, Gelenkflüssigkeit und Knochenmarkläsionen werden hyperintens dargestellt (Schmid et al. 2002).

Zur Bildgebung nutzt die multiple-echo data image combination Sequenz enkodierte Phasen gradienten Echos.

In der Humanmedizin konnten Schmid et al. (2002) zeigen, dass die MEDIC zur Untersuchung von Knorpel und subchondralen Knochen gut geeignet ist.

### III Material und Methoden

#### 1. Zielsetzung und Studienaufbau

Bei den 36 ausgewählten Hunden handelt es sich um Patienten der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Die Messungen und Untersuchungen wurden im Zeitraum zwischen 2008-2009 durch den Doktoranten unter Anleitung eines Fachtierarztes für klinische Radiologie und Strahlentherapie oder einem Tierarzt mit Erfahrung im Bereich der Radiologie, der Abteilung für Kleintierchirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität, München durchgeführt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 36 Hunde ausgewertet. Es wurde von jedem Hund jeweils ein Ellbogen mittels digitaler Röntgentechnik, Computertomografie, und Magnetresonanztomografie untersucht.

33 der 36 Hunden zeigten eine Lahmheit der untersuchten Gliedmaße, die verbleibenden 3 Tiere waren symptomfrei. Bei der klinischen Untersuchung sowie der Röntgen-, CT- und MRT-Untersuchung wurde auf das Vorliegen einer Krankheitsursache die zum Symptomkomplex der Ellbogengelenksdysplasie gehört, geachtet. Hierfür wurde nach der Definition der International Elbow Working Group (IEWG) auf die Veränderungen eines fragmentierten Processus medialis ulnae, eines isolierten Processus anconaeus, einer Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri und einer Ellbogeninkongruenz geachtet. Der Vergleich zwischen MRT und CT stellte einen besonderen Gesichtspunkt dar.

Es wurde anhand der MRT-Bilder überprüft, ob diese degenerativen Erkrankungen des Ellbogens mit dem Vorkommen von Knochenmarksveränderungen vergesellschaftet sind. Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit eine Lahmheit und der Grad dieser Lahmheit mit dem Vorkommen von Knochenmarksveränderungen korrelieren. Zusätzlich wurden das Vorkommen von Weichteilveränderungen in den MRT-Bildern evaluiert.

Die Schnittbilddiagnostik wurde in Allgemeinanästhesie unter Inhalationsnarkose mit Isofluran durchgeführt. Zur Prämedikation wurden Benzodiazepine und Propofol verwendet. Im Falle einer anschließenden Operation wurden die Hunde mit einem Opiat analgetisch versorgt.

Alle Hunde wurden nach einem Standardprotokoll wie unten angegeben untersucht, und je nach Befund anschließend chirurgisch oder konservativ therapiert.

## **2. Durchführung der Untersuchungen**

Die klinische Untersuchung und die bildgebende Diagnostik wurden mit einem maximalen Abstand von 48 Stunden durchgeführt, um Veränderungen der Ellbogen-Pathologien zwischen den Untersuchungen zu vermeiden.

### **2.1 Klinische Untersuchung**

Bei allen an der Studie beteiligten Tieren wurde eine klinische Allgemeinuntersuchung sowie eine Lahmheitsuntersuchung durchgeführt.

### **2.2 Röntgenologische Untersuchung**

Die röntgenologische Untersuchung wurde mit einem Gerät der Firma Siemens durchgeführt. Bei dem Siemens Axiom Luminos dRF handelt es sich um ein Röntgengerät mit Flachdetektor für die direkte Radiografie und digitale Durchleuchtung. Das Gerät weist folgende technischen Daten auf 150/40/80HC-100, 40-150 kV; 0,5-220 mAs, 52 kW/103kW, 15 kV, 450 W, 12° Anodenwinkel

Als Detektor wurde ein Gerät mit amorphen Silicon und einem Bildfeld von 43 x 43 cm verwendet. Der Detektor arbeitet mit einer Auflösung von 3,4 lp/mm und einer Pixelgröße von 148 µm sowie einer Bildtiefe von 14 bit.

Als Standardebenen wurden 2 orthograd zueinander stehenden Projektionen angefertigt. Hierbei handelt es sich um einen mediolateralen Strahlengang bei dem sich das Ellbogengelenk in neutraler Stellung (ca. 120-145°) befindet. Die 2. Ebene wurde mit einem kraniokaudalen Strahlengang, bei der sich das Ellbogengelenk in leichter Pronation befindet, angefertigt.

Es wurden immer seitenvergleichende Aufnahmen beider Ellbogen angefertigt, zur Auswertung wurde in dieser Studie jedoch nur die jeweils erkrankte Seite herangezogen.

### 2.3 Computertomografische Untersuchung

Zur computertomografischen Untersuchung der 36 Ellbogen wurde ein einzeliger Spiral-CT der 3. Generation der Firma Siemens, Erlangen, Deutschland vom Typ SOMATOM AR. SP verwendet.

Die technischen Daten des verwendeten CT-Gerätes gehen aus Tabelle 1 hervor.

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| Röhrensorgung                     | 110 kV, 130 kV       |
| Röhrenstrombereich                | 63 mA, 83 mA, 103 mA |
| Anzahl der Projektionen/Sekunde   | 500                  |
| Anzahl der Messpunkte/Projektion  | 1024                 |
| Schichtdicke                      | 1, 2, 3, 5, 10 mm    |
| Neigungsbereich Schicht/Vertikale | 22°                  |
| Messfeld                          | 45 cm                |
| Gantryöffnung                     | 60 cm                |
| Strahlenfächer                    | 54,4°                |
| Fokus-Detektor-Abstand            | 890 mm               |
| Fokus-Drehzentrum-Abstand         | 510 mm               |

*Tab. 1: Technische Daten des verwendeten CT-Gerätes*

Die computertomografische Untersuchung erfolgte in derselben Vollnarkose wie die magnetresonanztomografische Untersuchung. Die Tiere lagen in Brustlage mit dem Kopf voran und den Vordergliedmaßen nach kranial gestreckt im Computertomografen. Die für die Untersuchung beanspruchte Zeit betrug bei ca. 1-2 min zuzüglich ca. 5 min zur korrekten Positionierung des Patienten auf dem Untersuchungstisch in der Gantry. Es wurden von jedem Patienten seitenvergleichende, transversale 1 mm-Schnitte angefertigt.

## 2.4 Magnetresonanztomografische Untersuchung

Die magnetresonanztomografische Untersuchung der 36 Ellbogengelenke wurde an einem Kernspintomografen der Firma Siemens Medizintechnik (Erlangen, Deutschland) vom Typ Magnetom Symphony durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein geschlossenes Hochfeldsystem mit einer Magnetfeldstärke von 1,5 Tesla.

Die Namen und Art der verwendeten Sequenzen sind abhängig vom Hersteller des Kernspintomografen. Die Bezeichnungen stammen aus der Software des Kernspintomografen vom Typ Magnetom Symphoy der Firma Siemens Medizintechnik (Erlangen, Deutschland). In Vorversuchen wurden alle Sequenzen am Ellbogen des Hundes getestet. Die erzeugten Bilder wurden visuell auf Kontrast, Schärfe und Rauschen beurteilt. Die verwendeten Sequenzen lieferten eine gute Bildqualität und somit gut auswertbare Ergebnisse.

Die Hunde wurden in Seitenlage auf der zu untersuchenden Seite im MRT gelagert. Das zu untersuchende Bein wurde nach kranial gezogen und mittels einer im MRT-Tisch befindlichen „Spine“-Spule und einer über dem Ellbogen angebrachte oberflächen „Body-array“-Extender-Spule untersucht.

Die gesamte Untersuchungszeit für die oben angegebenen Sequenzen liegt bei durchschnittlich 31 min exklusive der Zeit für die einmalige Lagerung des Patienten, und der Akquisition der sogenannten Lokalizer oder Pilot-Sequenzen. Die Zeit hängt in geringem Maße auch von der Größe der Hunde und der daher unterschiedlich großen Untersuchungsareale ab.

## 2.4.1 Angewendete MRT-Sequenzen

| Bezeichnung der Sequenzen         | Dor T1 TSE  | Dor T2 TSE  | Dor T2 STIR | Sag T2 me3d we      | Axial T1 flash 3d we |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|----------------------|
| Auflösung                         | 320         | 384         | 230         | 384                 | 120                  |
| TR                                | 386         | 5190        | 6080        | 37                  | 23                   |
| TE                                | 13          | 108         | 49          | 20                  | 10.00                |
| Mittelungen                       | 2           | 2           | 1           | 1                   | 1                    |
| Verknüpfungen                     | 1           | 1           | 1           | 1                   | 1                    |
| Schichten                         | 13          | 19          | 23          | 96<br>(im 3d Block) | 64<br>(im 3d Block)  |
| Voxelgröße                        | 0,8X0,6X2,5 | 0,6X0,6X2,5 | 0,9X0,7X3,0 | 0,5 iso             | 0,4X0,4X0,8          |
| Messzeit                          | 01:50       | 04:57       | 04:35       | 14:09               | 07:05                |
| field of view                     | 194         | 220         | 230         | 180                 | 120                  |
| spezielle Verwendung hinsichtlich | Ödem        | FCP/Ödem    | Ödem        | Knorpel/<br>Ödem    | Knorpel              |

Tab. Nr. 2: Technischen Daten der verwendeten MRT-Sequenzen

### **3. Auswertungsprotokolle**

Alle akquirierten Daten wurden unabhängig voneinander und mit anonymisierten Patientendaten durch den Doktoranden und einen Fachtierarzt für diagnostische Radiologie oder einen Tierarzt mit MRT-Erfahrung im Cconsens reading ausgewertet.

Ein Vergleich der verschiedenen diagnostischen Modalitäten der jeweiligen Patienten wurde erst nach Abschluss aller Untersuchungen durchgeführt.

#### **3.1 Auswertungsprotokoll der klinischen Untersuchung und der Anamnese**

Ausgewertet wurden die Angaben des Alters, Rasse und Geschlecht. Bei den anamnestischen Daten wurden die Lahmheit und die betroffene Gliedmaße, der Grad der Lahmheit, ein vorangegangenes Trauma sowie das Ergebnis der sogenannten „Coronoidprobe“ erhoben.

#### **3.2 Auswertungsprotokoll der Röntgenuntersuchung**

Anhand der Röntgenbilder wurde jedem Ellbogen mithilfe eines durch die IEWG etablierten Schemas, der sogenannten ARTH-Methode, ein Arthrosegrad zugeordnet. Bei dieser Methode werden sekundäre Arthrosen zur Quantifizierung der Ellbogengelenkdysplasie herangezogen. Diese Methode wurde in der Studie modifiziert angewendet. Es wurde bei den Auswertungen der Röntgenbilder nur das Auftreten und der Grad von sekundären Arthrosen beurteilt, da eine Beurteilung von Primärläsionen, wie FPCMU, OCD, IPA, INC, nicht nur ein Röntgengrundbildpaar sondern auch weitere Projektionen erfordert.

### 3.2.1 Arthroseinteilung anhand der Röntgenaufnahmen

| Punkte | Osteophyten im Bereich des<br>Processus anconaeus | Osteophyten an anderen<br>Stellen |
|--------|---|-----------------------------------|
| 0      | keine Osteophyten                                 | keine Osteophyten                 |
| 1      | < 2 mm  | < 2 mm                            |
| 2      | 2-5 mm  | 2-5 mm                            |
| 3      | > 5 mm  | > 5 mm                            |

| Punkte | Knochendichte im Bereich der<br>Incisura trochlearis der Ulna,<br>am Caput ulnae, am Radius | Kongruenz des<br>Humeroulnargelenks, Stufe<br>zwischen Radius und Ulna |
|--------|---|--|
| 0      | normal  | normal   |
| 1      | minimale Sklerosierung  | geringgradige Inkongruenz,<br>leichte Stufe, < 2 mm                    |
| 2      | deutliche vermehrte<br>Strukturveränderung  | mittelgradige Inkongruenz,<br>< 4 mm                                   |
| 3      | hochgradige Strukturveränderung   | hochgradige Inkongruenz,<br>> 4 mm                                     |

Tab. 3: Arthroseinteilung anhand der Röntgenaufnahmen nach IEWG.

Die jeweiligen Punkte aus den 4 verschiedenen Beurteilungskriterien, wie in Tabelle 3 gezeigt, wurden summiert. Nach der ARTH-Methode wurde jedem Patienten ein Arthrosegrad zugeteilt (s. Tabelle 4).

| Grad der arthrotischen Veränderungen | Punktzahl         |
|--------------------------------------|-------------------|
| Grad 0 (frei von Arthrose)           | 0 Punkte          |
| Grad 1 (ggr. Arthrose)               | 1-4 Punkte        |
| Grad 2 (mgr. Arthrose)               | 5-8 Punkte        |
| Grad 3 (hgr. Arthrose)               | 8 und mehr Punkte |

Tab. 4: Gradeinteilung der Arthrose nach ARTH-Methode

### 3.2.2. Arthrose-Klassifizierung mittels ARTH-Methode

#### **Grad 0:** keine Anzeichen auf Arthrose

normal, keine Anzeichen für Arthrose oder erhöhte Strahlendichte des Knochens im Bereich der Ulna, kaudal zur Incisura trochlearis und/oder des Radiuskopfs

#### **Grad 1:** ggr. Arthrose, einer oder mehrere der folgenden Punkte treffen zu:

- a) Osteophyten dorsale Begrenzung Proc. anconaeus < 2 mm
- b) ggr. Osteophyten (< 2 mm in jede Richtung) dorsal im proximalen Bereich des Radius
- c) oder im Bereich des Proc. coronoideus
- d) oder palmar im lateralen Anteil der Trochlea humeri
- e) deutliche Sklerose kaudal des distalen Endes der Incisura trochlearis und im proximalen Radiusanteil

#### **Grad 2:** mgr. Arthrose, einer oder mehrere der folgenden Punkte treffen zu:

- a) Osteophyten dorsale Begrenzung Proc. anconaeus 2-5 mm
- b) mgr. Osteophyten (2-5 mm in jede Richtung) in den Bereichen b, c, d, wie unter Grad 1 beschrieben

#### **Grad 3:** hgr. Arthrose, einer oder mehrere der folgenden Punkte treffen zu:

- a) Osteophyten dorsale Begrenzung Proc. anconaeus > 5 mm
- b) hgr. Osteophyten (> 5 mm in jede Richtung) in den Bereichen b, c,

d, wie unter Grad 1 beschrieben

Die Grad Einteilung erfolgte in Anlehnung an die von Lang et al. (1995) vorgeschlagene Klassifizierung (International Elbow working Group 2009).

## 3.3 Auswertungsprotokoll der computertomografischen Untersuchung

| <b>CT-Auswertungs-Nr.</b>                             |  |                          |                |
|---|--|--------------------------|----------------|
| <b>Processus<br/>coronoideus<br/>medialis ulnae</b>   |  | + / -                    |                |
|   |  | <b>positiv<br/>(1-3)</b> | <b>negativ</b> |
| FPCMU   | einzelnes strahlendichtes Fragment     |                          |                |
|   | Fissurlinie sichtbar                   |                          |                |
|   | Demineralisation                       |                          |                |
| Fissur/Fragment                                       | in situ                                |                          |                |
|   | disloziert                             |                          |                |
| Osteophyten<br>am FPCMU                               |  |                          |                |
| <b>Processus anconaeus</b>                            |  | + / -                    |                |
|   |  | <b>positiv<br/>(1-3)</b> | <b>negativ</b> |
| IPA   |  |                          |                |
| Dislokation   |  |                          |                |
| <b>Hinweis auf<br/>degenerative<br/>Veränderungen</b> |  | + / -                    |                |
|   |  | <b>positiv<br/>(1-3)</b> | <b>negativ</b> |
| Osteophyten   | Humerus                                |                          |                |
|   | Ulna (nicht an Proc. coronoideus med.) |                          |                |
|   | Radius                                 |                          |                |

Tab. 5: Modifiziertes Auswertungsprotokoll der CT-Untersuchung nach K. Mussmann (2009). Die Größe der Osteophyten wurde in Anlehnung an die Röntgenauswertung quantifiziert (0-3)

### 3.4 Auswertungsprotokoll der magnetresonanztomografischen Untersuchung

Das Auswertungsprotokoll beinhaltet die verschiedenen Sequenzen, die vergleichend zum CT-Auswertungsprotokoll ausgewertet wurden.

| MRI-Auswertung                          |                                     |         |         |
|---|-------------------------------------|---------|---------|
| Nr. des Patienten                       |                                     |         |         |
| Processus coronoideus<br>medialis ulnae |                                     | +/-     |         |
|   |                                     | positiv | negativ |
| PCMU                                    | Fissurlinie erkennbar               |         |         |
|   | Fragmente nahe am medialen Coronoid |         |         |
|   | Signalveränderungen am PCMU         |         |         |
| Veränderungen sichtbar in               | T2-STIR dorsal                      |         |         |
|   | T2-tse dorsal                       |         |         |
|   | T1-se dorsal                        |         |         |
|   | T1-FLASH - 3d - we                  |         |         |
|   | T2-Medic-dorsal                     |         |         |
|   | T2-Medic-saggital                   |         |         |
|   | T2-Medic-axial                      |         |         |
| Fragment                                | in situ                             |         |         |
|   | disloziert                          |         |         |
| Osteophyten am PCMU                     |                                     |         |         |
| zusätzliche Notizen                     |                                     |         |         |

|                            |                      |                |                |             |
|----------------------------|----------------------|----------------|----------------|-------------|
|                            |                      |                |                |             |
| <b>Processus anconaeus</b> |                      | +/-            |                |             |
|                            |                      | <b>MEDIC</b>   | <b>FLASH</b>   |             |
| IPA                        |                      |                |                |             |
| Dislokation                |                      |                |                |             |
| zusätzliche Notizen        |                      |                |                |             |
| <b>Knochenmarködem</b>     |                      | <b>iso</b>     | <b>hyper</b>   | <b>hypo</b> |
|                            |                      |                |                |             |
| Lokalisation               |                      |                |                |             |
|                            |                      |                |                |             |
| Veränderung sichtbar in    | T2-Medic-dorsal      |                |                |             |
|                            | T2-Medic-axial       |                |                |             |
|                            | T2-Medic-saggital    |                |                |             |
|                            | T1-FLASH-3d-we       |                |                |             |
|                            | T2-STIR-dorsal       |                |                |             |
|                            | T2-tse-dorsal        |                |                |             |
|                            | T1-se-dorsal         |                |                |             |
| zusätzliche Notizen        |                      |                |                |             |
| <b>Gelenksknorpel</b>      |                      | +/-            |                |             |
|                            |                      | <b>positiv</b> | <b>negativ</b> |             |
| medialer Aspekt            | isointense Bereiche  |                |                |             |
|                            | hypointense Bereiche |                |                |             |

|   |  |                |                |
|---|--|----------------|----------------|
|   | (hyperintense Bereiche)                            |                |                |
| lateraler Aspekt  | hypointense Bereiche                               |                |                |
|   | (hyperintense Bereiche)                            |                |                |
|   | isointense Bereiche                                |                |                |
| Veränderung sichtbar auf                                  | rekonstruierter dorsaler<br>Schnittebene T2*3dme   |                |                |
|   | rekonstruierter sagittaler<br>Schnittebene T2*3dme |                |                |
|   | rekonstruierter axialer<br>Schnittebene T2*3dme    |                |                |
| zusätzliche Notizen                                       |  |                |                |
| <b>Hinweis<br/>auf<br/>degenerative<br/>Veränderungen</b> |  | +/-            |                |
|   |  | <b>positiv</b> | <b>negativ</b> |
| Osteophyten   | Humerus  |                |                |
|   | Ulna (nicht an Processus<br>coronoideus medialis)  |                |                |
|   | Radius   |                |                |
| Veränderung sichtbar in                                   | T2-STIR dorsal                                     |                |                |
|   | T2-tse dorsal                                      |                |                |
|   | T1-se dorsal                                       |                |                |
|   | T1-FLASH-3d-we                                     |                |                |
|   | T2 *3dme   |                |                |
|   |  |                |                |

Tab. 6: Auswertungsprotokoll der MRT-Untersuchung.

## IV Ergebnisse

### 1 Studiendaten

In die Studie wurden nur Hunde mit einem Körpergewicht über 20 kg integriert. Bei den zufällig ausgewählten Tieren lag das mittlere Alter bei 4,92 Jahren, das jüngste Tier wurde mit 20 Wochen und das Älteste mit 10,5 Jahren untersucht. Darunter befanden sich 17 männliche und 19 weibliche Hunde. Von den männlichen Tieren waren 7 und von den weiblichen 10 Tiere kastriert.

Insgesamt wurden 16 rechte und 20 linke Ellbogengelenke untersucht.

Bei der Rasseverteilung sind Labrador Retriever und Labradormischlinge mit 10 von 36 Hunden deutlich überrepräsentiert.

26 Patienten wurden nach der Diagnostik operativ behandelt. 23 Hunde wurden durch eine Athrotomie und Entfernung des medialen Processus coronoideus ulnae versorgt, bei weiteren 3 Tieren wurde eine Fixierung (2) oder Extraktion (1) des isolierten Processus anconaeus durchgeführt.

| <b>Alter</b> | <i>Anzahl</i> |
|--------------|---------------|
| 0-1 Jahr     | 5             |
| 1-2 Jahre    | 8             |
| 2-3 Jahre    | 5             |
| 3-X Jahre    | 18            |

*Tab. 7: Alterverteilung der Patienten.*

| <b>Rasse bzw. deren Mischlinge</b>                  | <b>Anzahl</b> |
|---|---------------|
| Labrador Retriever und Labrador-Retriever-Mischling | 10            |
| Deutscher Schäferhund und Schäferhund-Mischling     | 5             |
| Golden Retriever und Golden Retriever-Mischling     | 4             |
| Berner Sennenhund und Berner Sennenhund-Mischling   | 3             |
| Border Collie und Border-Collie-Mischling           | 3             |
| Leonberger und Leonberger-Mischling                 | 2             |
| Rottweiler-Mischling                                | 1             |
| Schnauzer   | 1             |
| Airdale-Terrier                                     | 1             |
| Kleiner Münsterländer-Mischling                     | 1             |
| Boxer-Mischling                                     | 1             |
| Bernhardiner  | 1             |
| Magyar Vizsla                                       | 1             |
| Irish-Setter-Mischling                              | 1             |
| Hovawart-Mischling                                  | 1             |

*Tab. 8: Rasseverteilung der in die Studie involvierten Tiere.*

## 2 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Von den 36 untersuchten Hunden wurde bei 33 Tieren eine Lahmheit festgestellt. Der Lahmheitsgrad variierte von Grad 1-4.

| Grad | Lahmheitsgrad           | Anzahl der Hunde |
|------|-------------------------|------------------|
| 0    | keine Lahmheit          | 3                |
| 1    | undeutlich geringgradig | 11               |
| 2    | deutlich geringgradig   | 9                |
| 3    | mittelgradig            | 11               |
| 4    | hochgradig              | 2                |

Tab. Nr.9: Lahmheitsgrade der Patienten.

Von den 33 Hunden mit einer Vorderhandlahmheit hatten vorherichtlich 2 ein Trauma erlitten. Bei den 31 übrigen Patienten berichteten die Besitzer von einer einseitigen Lahmheit, die bei der klinischen Lahmheitsuntersuchung nachvollzogen werden konnte.

23 der 33 lahmen Hunde zeigten bei einer Provokationsprobe des Ellbogengelenks, bei der das Karpalgelenk um 90° gebeugt wird und die Pfote in eine Supinationsstellung gebracht wird, eine Schmerzäußerung (Coronoidprobe).

Von diesen 23 Hunden mit positiver Coronoidprobe konnte bei 21 Tieren mittels OP, CT oder MRT eine Veränderung am Processus medialis ulnae festgestellt werden, wohingegen bei den 3 gesunden Tieren keines eine Schmerzreaktion während der Coronoidprobe zeigte und auch keine Veränderungen im CT und MRT aufwies.

Bei 2 Hunden konnte die Coronoidprobe aufgrund des Verhaltens der Tiere nicht adäquat beurteilt werden. Bei 8 Tieren war die Probe an der lahmen Gliedmaße negativ, obwohl die Tiere eine Lahmheit im Trab zeigten.

### 3 Ergebnisse der MRT-, CT- und Röntgenuntersuchung

Bei den 33 lahmen Tieren konnte bei 31 Tieren eine Veränderung im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae beobachtet werden, hierbei wurde im CT bei 17 von 33 und im MRT bei 17 von 33 das Vorliegen einer Fissurlinie festgestellt. Im CT wurde bei 31 Tieren eine Demineralisation festgestellt und im MRT bei 28 Tieren eine Veränderung der Signalgebung im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae.

Keines der 3 gesunden Tiere zeigte im CT oder MRT Veränderungen im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae. Es konnten nur im Röntgen geringgradige Knochenverdichtungen im Bereich des Processus medialis ulnae festgestellt werden.

Bei 2 Tieren lag zusätzlich zu den Veränderungen am Processus medialis ulnae auch noch ein isolierter Processus anconaeus vor. Bei weiteren 2 Tieren konnte mittels MRT und CT eine OCD in Kombination mit einem FPCMU festgestellt werden. Bei einem 3 Tier konnte nur in der MRT-Untersuchung eine Veränderung im Bereich des Gelenkknorpels der Trochlea humeri festgestellt werden, diese konnte im CT jedoch nicht nachvollzogen werden.

Bei 23 Tieren konnte mittels Arthrotomie eine Fissur des Processus coronoideus medialis ulnae bestätigt werden. Alle operierten Tiere zeigten eine Lahmheit der betreffenden Gliedmaße, die in ihrer Ausprägung von undeutlich geringgradig bis deutlich variierte.

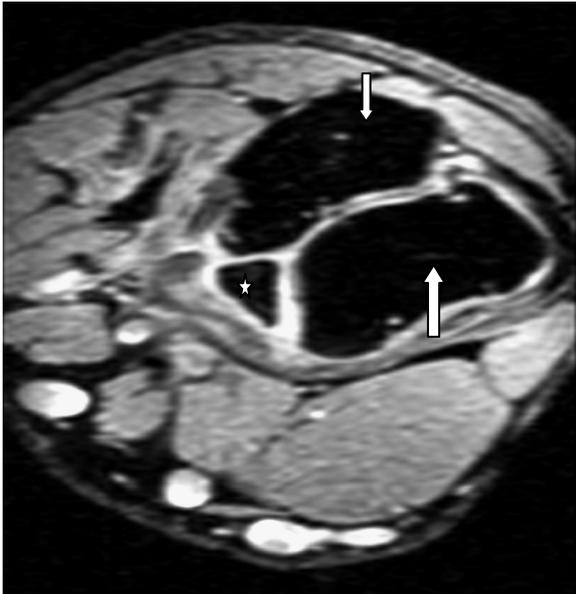
Bei 17 der 23 am Ellbogen operativ versorgten Hunde konnte im CT eine Fissurlinie dargestellt werden. In der Magnetresonanztomografie konnte ebenfalls bei 17 Tieren eine Fissurlinie dargestellt werden, jedoch konnte nur bei 15 Tieren in beiden bildgebenden Diagnostiken eine Fissurlinie beobachtet werden. Bei allen Tieren mit positiven OP-Befund konnten in beiden Schnittbildverfahren Veränderungen im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae festgestellt werden.

Die übrigen 5 Tiere wurden aufgrund einer Lahmheit in Kombination mit computertomografisch deutlich darstellbaren Veränderungen in Form von Demineralisationen im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae operativ versorgt.

Bei 7 Hunden konnte ein deutlich disloziertes Fragment im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae dargestellt werden, hierbei waren die Ergebnisse von

MRT und CT deckungsgleich.

Bei den lahmen Tieren (n = 33) lag der ARTH Score bei durchschnittlich 1,36, bei den Tieren ohne Symptome (n = 3) konnte ein Score von 0,33 ermittelt werden.



*Abb. 4: Axiale Rekonstruktion einer T2\*3Dme we bei einem Patienten mit großem FPCMU. Fragment: Stern, oberer Pfeil: Ulna, unterer Pfeil: Radius*



*Abb. 5: Sagittale Rekonstruktion T2\*3Dme we bei dem selben Patienten wie in Abb. 4, Stern: Fragment, oberer Pfeil: Humerus, unterer Pfeil: Ulna*

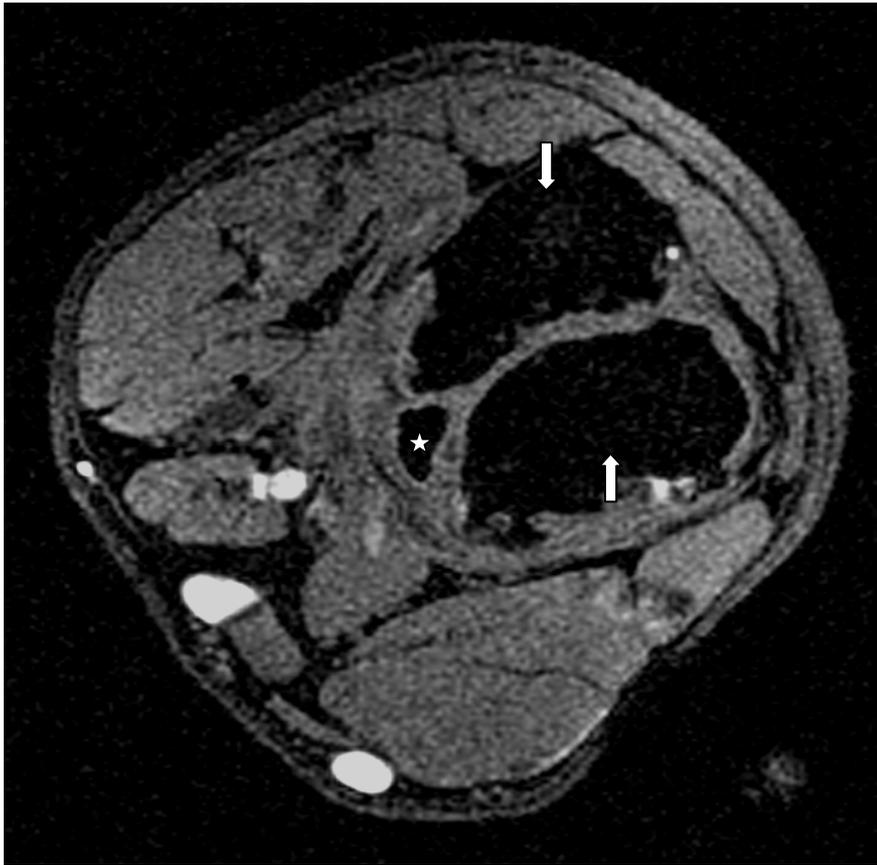


Abb. 6: Axiale T1-Flash, Patient wie in Abb. Nr. 4/5. Stern: Fragment, oberer Pfeil: Ulna, unterer Pfeil: Radius

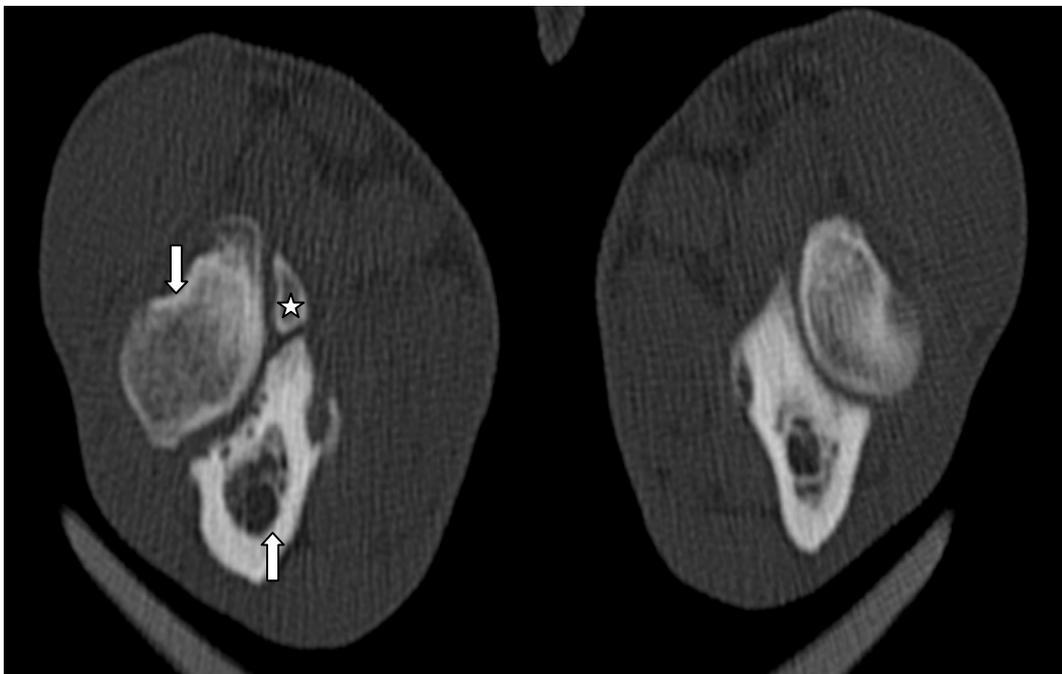


Abb. 7: CT Transversale Schnittebene beider Ellbogengelenke, Patienten von Abb. 4/5/6, Stern: Fragment, oberer Pfeil: Radius, unterer Pfeil: Ulna

Bei den Patienten, bei denen Veränderungen im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae in CT, MRT oder OP festgestellt worden sind, konnte bei 11 Tieren im Röntgen eine geringgradige und bei 14 eine mittelgradige und bei 2 Hunden eine hochgradige Arthrose (Einteilung nach ARTH-Score der IEWG) festgestellt werden. Bei 6 konnte keine Auffälligkeit im Röntgen beobachtet werden.

Bei den Tieren mit einem isolierten Processus anconaeus konnte bei 2 Tieren eine mittelgradige und bei einem Tier eine hochgradige Arthrose festgestellt werden.

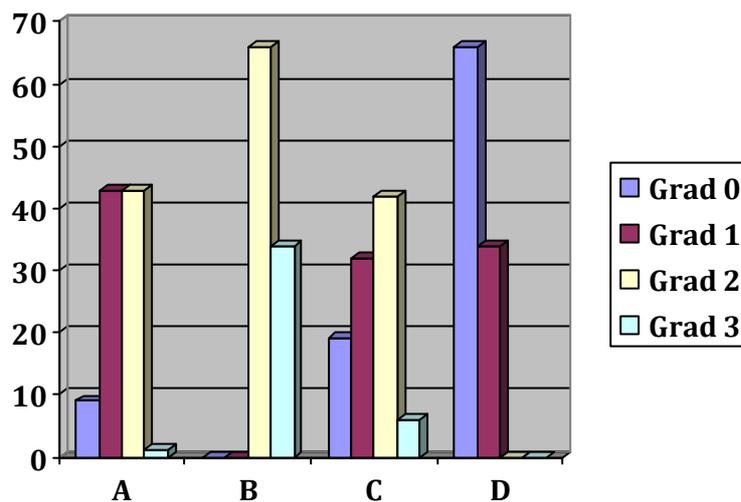


Abb.8 Grad der sekundären Veränderungen im Ellbogengelenk nach ARTH(in %)

A: Isolierter Processus coronoideus medialis ulnae in OP, CT, MRT bestätigt, B: isolierter Processus anconaeus in OP, CT, MRT bestätigt, C: Hunde mit Veränderungen am PCMU in CT und MRT, D: gesunde Tiere.

Bei 3 Tieren konnte mittels MRT und CT ein isolierter Processus anconaeus nachgewiesen werden. Die Patienten waren im Alter von 0,5, 1 und 8 Jahren vorgestellt worden, der mittlere ARTH - Score im Röntgen lag mit 2,3 deutlich höher als bei nicht erkrankten Tieren, die im Schnitt einen ARTH-Score von 0,3 aufwiesen.

Der durchschnittliche ARTH-Score für Tiere mit einem chirurgisch bestätigten

FPCMU lag bei 1,43, der bei Tieren mit einem isolierten Processus anconaeus lag im Durchschnitt bei 2,33.

In allen MRT-Sequenzen und Ebenen konnte der isolierte Processus anconaeus eindeutig nachgewiesen werden.

Bei den Hunden mit isolierten Processus anconaeus war eine deutliche Osteophytenbildung im Bereich des Processus anconaeus zu erkennen. 2 Hunde hatten Osteophyten deren Größe zwischen 2-5 mm lag, bei dem 3. Patienten waren die Osteophyten deutlich über 5 mm groß.

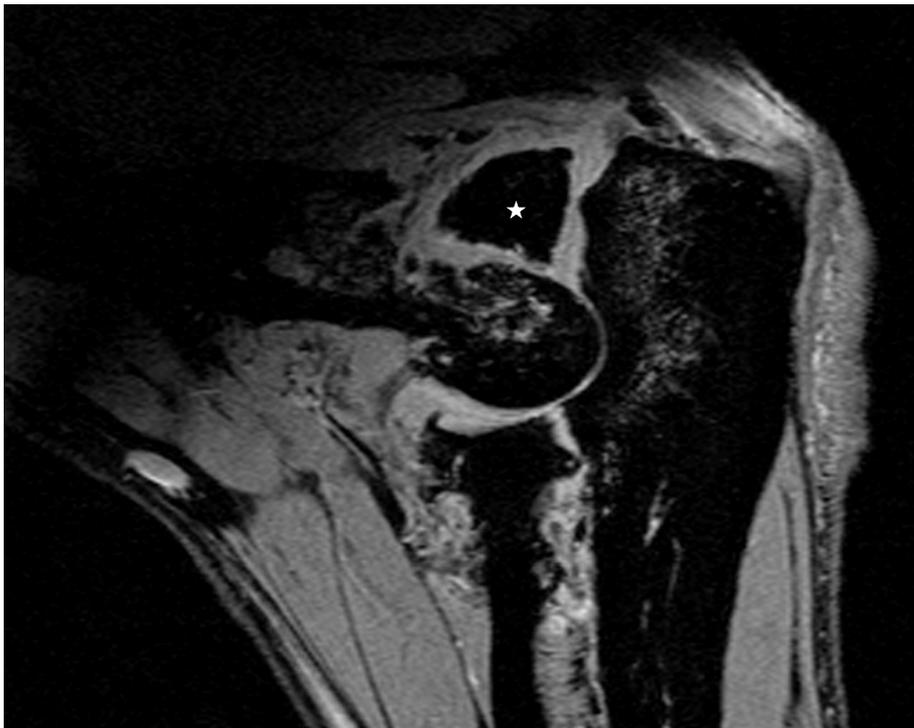


Abb. 9: Sagittale T2\* me3D, Isoliertem Processus anconaeus (x)

Bei 2 Tieren konnte mittels MRT und CT eine OCD in Kombination mit einem FCPMU festgestellt werden. Bei einem 3. Tier konnte nur in der MRT-Untersuchung eine Veränderung im Bereich des Gelenkknorpels der Trochlea humeri festgestellt werden, diese konnte im CT jedoch nicht nachvollzogen werden.

#### 4 Ergebnisse der verschiedenen MRT-Sequenzen

Die Veränderungen am Processus coronoideus medialis ulnae konnte in der T2\*me3D we am häufigsten dargestellt werden. Diese Veränderungen konnten von den 31 im CT dargestellten Signalveränderungen bei 28 Tieren mittels der sagittalen T2\*me3D we nachvollzogen werden. In der dorsalen Ebene konnten bei 13 der 31 Tiere Veränderungen des medialen Processus coronoideus ulnae sichtbar gemacht werden, in der axialen Ebene der T2\*me3D we wurde bei 27 Hunden eine Veränderung festgestellt.

In der axialen T1-FLASH we konnten bei 22 der 31 Hunde eine Veränderungen in Form von einer Fissurlinie oder eines Konturverlusts beobachtet werden. In den dorsalen T1-, T2- gewichteten und der T2-STIR-Sequenz konnten bei 2 Tieren Veränderungen in Form von einer Fissurlinie dargestellt werden.

Mittels CT-Untersuchung konnten bei 21 von den 33 lahrenden Hunden Osteophyten im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae festgestellt werden. Mithilfe der MRT konnten diese jedoch nur bei 8 Tieren bestätigt werden. Mithilfe der CT-Untersuchung konnten 22 positive Tiere ermittelt werden, die Osteophyten im Bereich des Humerus hatten, dies konnte jedoch nur bei 16 Tieren in der MRT-Darstellung nachvollzogen.

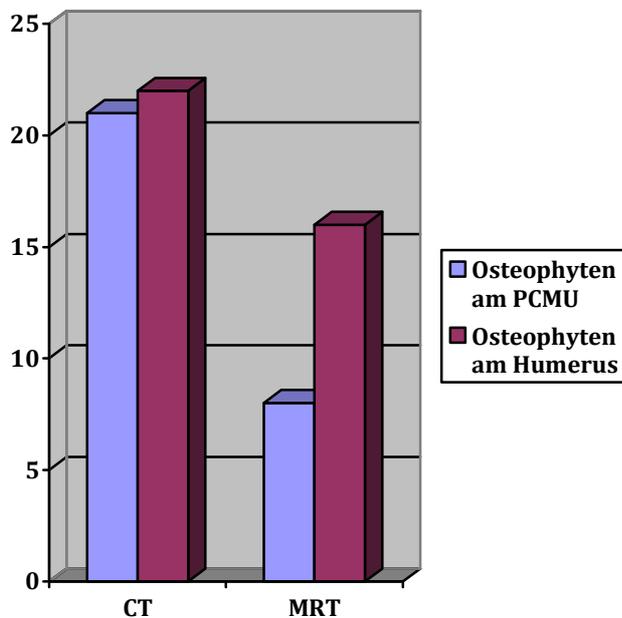


Abb. 10: Vergleich der sekundären Arthrosen in CT und MRT.

## 5 Ergebnisse der MRT-Untersuchung des Knochenmarks

Von den 33 lahmen Hunden konnte bei 19 Tieren eine Knochenmarksveränderung dargestellt werden.

Die Veränderung war mit Abstand am häufigsten im Bereich der Ulna auf Höhe des Gelenkspalts lokalisiert, hier konnte die Veränderung in 17 Fällen dargestellt werden. Deutlich seltener wurde eine Veränderung im Bereich des gelenknahen Humerus (4) oder im Bereich des proximalen Radiuskopfs (1) dargestellt.

Der Bereich des veränderten Knochenmarks stellt sich in den durchgeführten MRT-Sequenzen wie in Tabelle Nr.9 beschrieben dar.

| Bezeichnung der Sequenzen | Anzahl der Tiere mit hyperintensiven Bereichen | Anzahl der Tiere mit isointensen Bereichen | Anzahl der Tiere mit hypointensen Bereichen |
|---------------------------|--|--|---|
| Sag. T2*me3D we           | 15   | 4  | 0   |
| dors. T2*me3D we          | 15   | 4  | 0   |
| axial T2*me3D we          | 15   | 4  | 0   |
| axial T1 FLASH 3D we      | 4  | 14   | 1   |
| dors. T2 stir             | 19   | 0  | 0   |
| dors. T2 TSE              | 16   | 3  | 0   |
| dors. T1 TSE              | 0  | 4  | 15  |

Tab. 10: Signalintensität der Knochenmarksveränderungen in den Sequenzen.

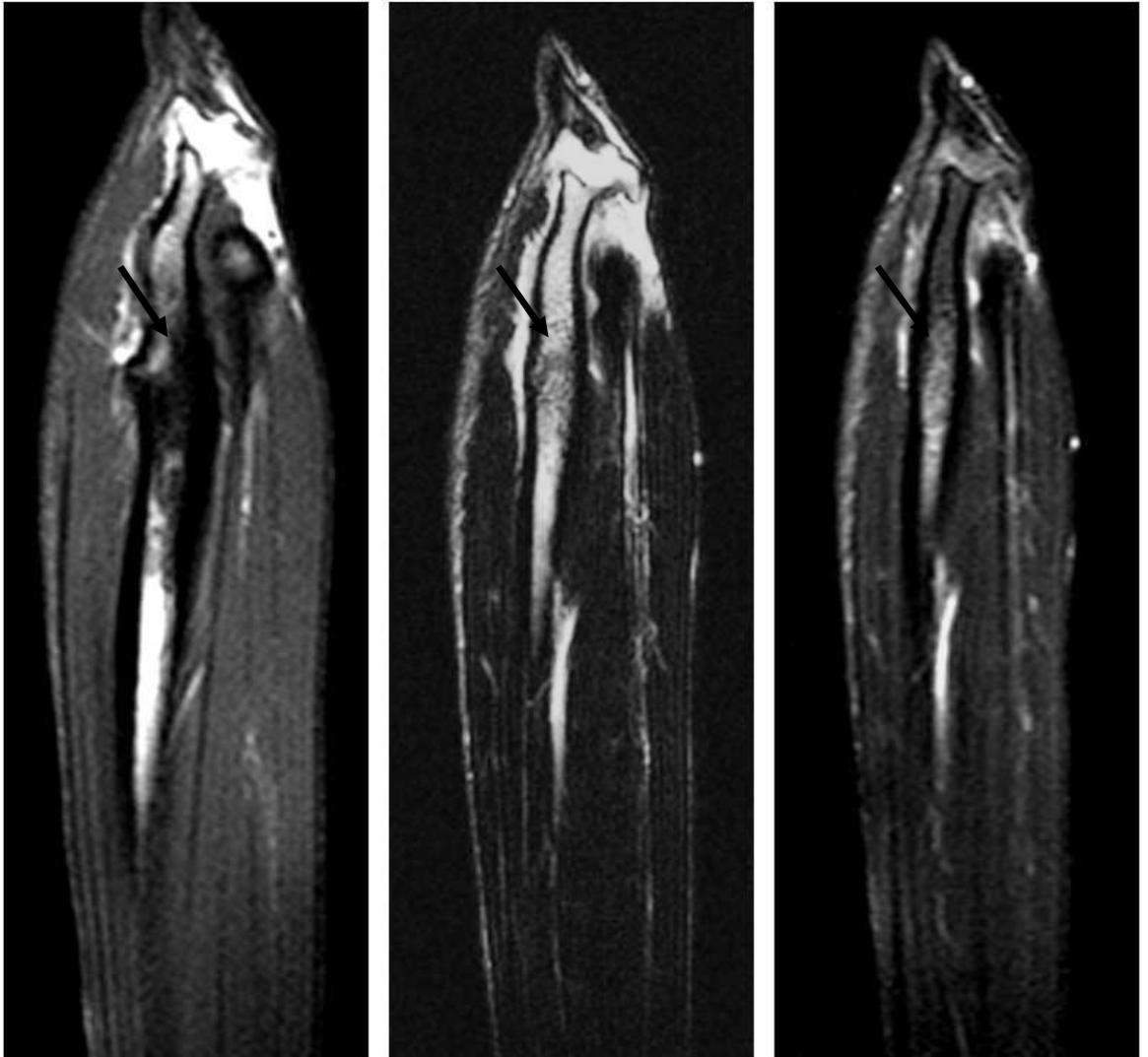
Von den 19 Patienten mit einer Veränderung im Bereich des Knochenmarks zeigten alle eine Lahmheit, bei 12 Hunden war die Coronoidprobe positiv. Der Grad der Lahmheit variierte stark. Der durchschnittliche Lahmheitsgrad lag bei 2,4, das entspricht einer deutlich geringgradigen bis mittelgradigen Lahmheit.

Bei den Hunden, die eine Lahmheit zeigten, aber bei denen keine Veränderung im gelenknahen Knochenmark (n=14) festgestellt wurde, konnte ein durchschnittlicher Lahmheitsgrad von 1,7 berechnet werden. Dies entspricht einer Lahmheit von undeutlich geringgradig bis deutlich geringgradig.

Abb. 11

Abb. 12

Abb. 13



*Abb. 11: T1 se dorsal, proximale Ulna, Pfeil: hypointense Bereiche im gelenknahen Knochenmark.*

*Abb. 12: T2 tse dorsal, proximale Ulna, Pfeil: hyperintense Bereiche im gelenknahen Knochenmark.*

*Abb. 13: T2 STIR dorsal, proximale Ulna, Pfeil: hyperintense Bereiche im gelenknahen Knochenmark.*

## 6 Darstellung von Weichteilveränderungen und Gelenkerguss im MRT

Bei 6 Tieren konnte mittels MRT eine deutliche Weichteilveränderung in Form von Schwellungen und Ödemen im Bereich der das Ellbogengelenk umgebenden Muskulatur festgestellt werden. Auch konnte in den T2-gewichteten Sequenzen bei 3 untersuchten Patienten ein deutlicher Gelenkerguss festgestellt werden. Bei allen Tieren mit Weichteilschwellung oder Gelenkerguss konnte eine Lahmheit und eine Primärläsion dargestellt werden. Eine Darstellung der Weichteilveränderung war nur mittels Magnetresonanztomografie möglich, und konnte daher mit keiner anderen Modalität nachvollzogen werden.

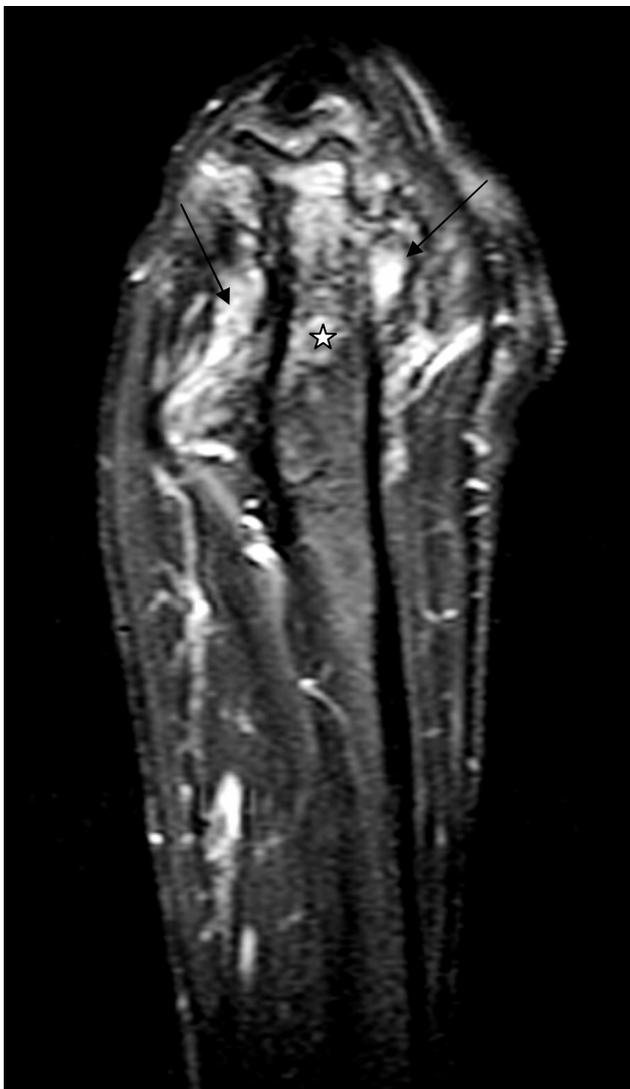
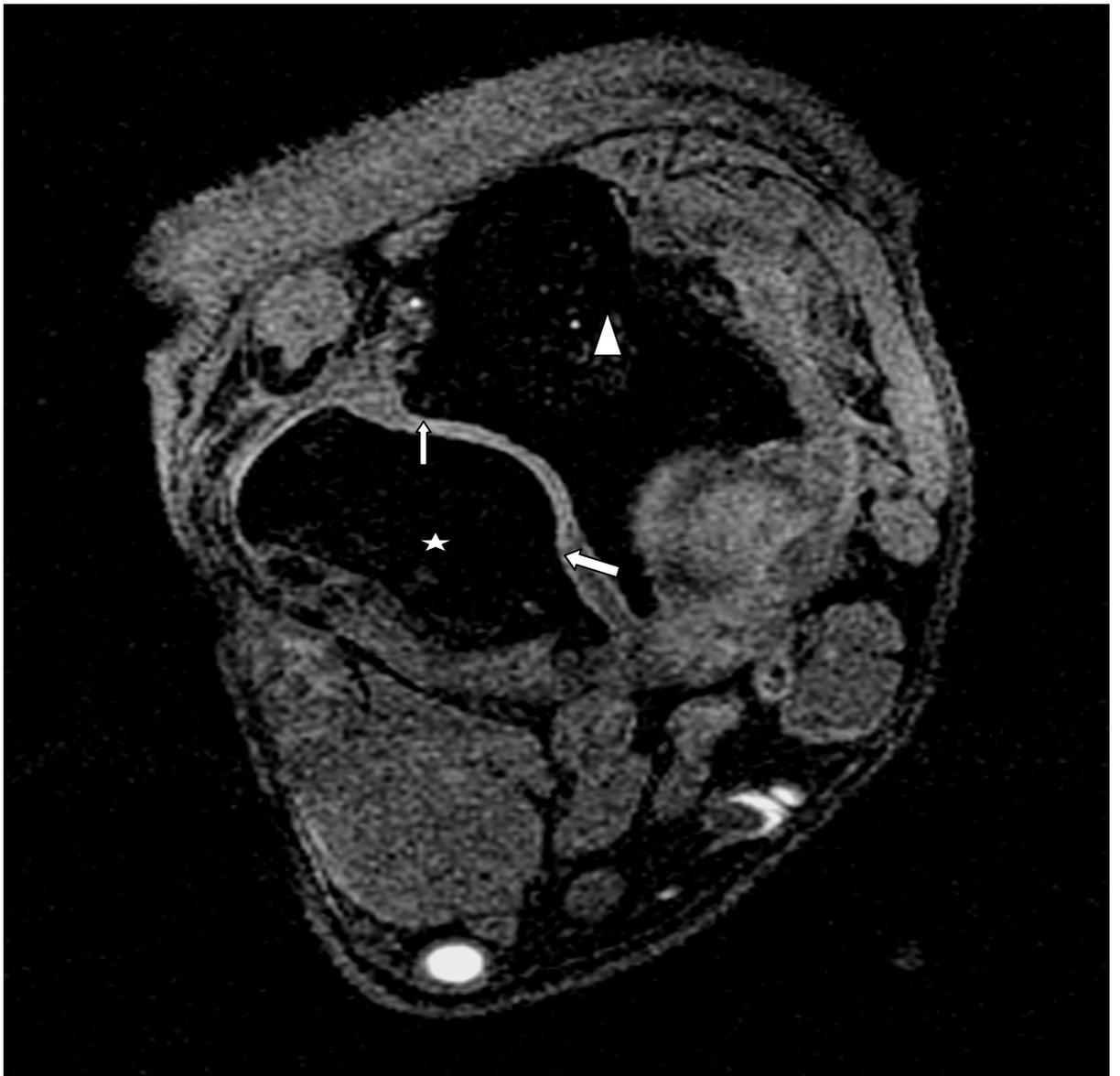


Abb. 14: T2-STIR dorsal. Pfeile: Weichteilödem, Stern: proximale Ulna.

## 7 Darstellung des Gelenkknorpels mittels MRT

Mittels der T1-FLASH-3D-WE konnte der Knorpel des Ellbogengelenks dargestellt werden. Beide gegenüberliegenden Knorpelschichten konnten über weite Strecken voneinander abgegrenzt werden. In der T2\*me3D konnte keine klare Abgrenzung der Knorpelschichten ermittelt werden.



*Abb. 15: T1-FLASH-3D-WE axial. Pfeile: Darstellung des Gelenkknorpels, Dreieck: Humerus, Stern: Ulna*

## **V Diskussion**

### **1 Zielsetzung**

Ziel dieser Arbeit war es zu prüfen, inwieweit eine Knochenmarködem ähnliche Signalgebung bei den am Ellbogengelenk erkrankten Tieren dargestellt werden kann, und ob eine Korrelation des Ödems mit einer Schmerzhaftigkeit besteht.

Des Weiteren sollte mittels MRT untersucht werden, inwieweit spezielle Gradientenechosequenzen im Vergleich zu Turbo-Spinecho-Sequenzen eine höhere diagnostische Genauigkeit bei der Untersuchung von Ellbogengelenkserkrankungen ergeben. Hierfür wurden sowohl die CT als auch die Arthrotomie als etablierte Methoden bei der Diagnostik der Ellbogengelenkdysplasie zum Vergleich herangezogen.

### **2 Patientendaten**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 33 Hunde ausgewählt die, eine Vorderhandlahmheit aufgrund einer Ellbogenerkrankung aufwiesen. Bei allen in die Studie einbezogenen Patienten wurde zusätzlich eine klinische Lahmheitsuntersuchung inklusive Coronoidprobe, eine Röntgenuntersuchung, eine computertomografische Untersuchung und eine magnetresonanztomografische Untersuchung durchgeführt. Zur Kontrolle der bildgebenden Diagnostik wurden alle Untersuchungen auch bei 3 lahmfreien Tieren durchgeführt.

#### **2.1 Anamnestische Daten**

Da die Ellbogendysplasie vorwiegend bei großen, schnellwüchsigen Hunderassen mit einem hohen Körpergewicht vorkommt (van Herpen 1988; Boulay 1998; Sjöström 1998; Cook und Cook 2009), wurden in die Untersuchung nur Hunde mit einem Körpergewicht von über 20 kg eingeschlossen.

Die Rasseverteilung in dieser Studie entspricht auch der für die Ellbogendysplasie prädisponierten Hunderassen (Guthrie 1989; Olsson 1993; Cook 2001; La Fond et al. 2002; Meyer-Lindenberg et al. 2006). Hierzu zählen Labrador Retriever, Golden Retriever, Deutsche Schäferhunde und Berner Sennenhunde.

Obgleich die Ellbogendysplasie eine entwicklungsbedingte Erkrankung ist, die sich in der Regel schon im Alter von 0,5 Jahren manifestiert, hatten die Hunde dieser Untersuchung ein relativ hohes Durchschnittsalter von 4,9 Jahren. Dies darf aber nicht im Widerspruch zur Literatur angesehen werden, da viele Besitzer die ersten Anzeichen einer klinisch manifesten Lahmheit nicht wahrnehmen.

Da es sich bei dieser Studie nicht um eine Untersuchung zur Erhebung der Inzidenz der Ellbogendysplasie beim Hund handelt, wurde darauf verzichtet die kontralaterale nicht lahrende Seite zu untersuchen. In der Literatur wird ein beidseitiges Vorkommen der Ellbogendysplasie mit unterschiedlich hohen Wahrscheinlichkeiten von bis zu 50 % abhängig von der jeweiligen Primärläsion angegeben (Guthrie 1989; Cook 2001).

### **3 Diagnostik der Ellbogendysplasie**

#### **3.1 Klinische Diagnostik**

Bei der klinischen Lahmheitsuntersuchung zeigten die Hunde einen unterschiedlichen Lahmheitsgrad, eine Korrelation mit dem Alter der Tiere konnte nicht festgestellt werden.

Bei der sogenannten Coronoidprobe wird durch Supination der im Karpalgelenk um 90° gebeugten Vordergliedmaße vermehrt Druck im medialen Bereich des Ellbogengelenks aufgebaut. Diese Provokationsprobe konnte bei 23 der 33 lahmen Hunde als positiv bewertet werden, wobei 21 Tiere mit positiver Coronoidprobe auch Veränderungen im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae aufwiesen. Es wurden jedoch auch positive Coronoidproben bei Tieren mit anderen Erkrankungen des Ellbogengelenks, zum Beispiel einem isolierten Processus anconaeus beobachtet, sodass die Coronoidprobe nur als diagnostischer Hinweis auf eine Erkrankung im Bereich des Ellbogengelenks gewertet werden sollte.

Einen weiteren häufig zu beobachtenden Hinweis auf Veränderungen im Ellbogengelenk brachte eine Auswärtsrotation der Zehe bei deutlicher Adduktion der gesamten Gliedmaße. Hieraus kann gefolgert werden, dass eine exakte ursächliche Diagnose anhand der klinischen Untersuchung allein nicht möglich ist.

### 3.2 Röntgendiagnostik

In dieser Studie wurde ein Röntgengrundbildpaar angefertigt. Bei den angefertigten Ebenen handelt es sich um eine Röntgenaufnahme mit mediolateralen Strahlengang, bei der sich der Ellbogen in einer neutralen Position befand und eine weitere Röntgenaufnahme mit kraniokaudalen Strahlengang, bei der das Ellbogengelenk in eine leichte Pronation gebracht wurde.

Da bei beiden Aufnahmen wichtige Strukturen nur überlagert dargestellt werden können (Carpenter et al. 1993; Kirberger 2006), wurden Primärläsionen, wie eine Fissur oder Frakturen des Processus coronoideus medialis ulnae, ein isolierter Processus anconaeus, Osteochondrosis dissecans sowie eine Ellbogeninkongruenz, nicht beurteilt.

Im Röntgenbild wurden die sekundären Arthrosen beurteilt, die laut Berry (1992) Hinweise auf degenerative Erkrankungen im Bereich des Ellbogengelenks geben.

Der höhere Arthrosegrad von Hunden mit degenerativen Erkrankungen des Ellbogengelenks konnte auch in dieser Studie bestätigt werden. Auffällig war eine stärkere Ausprägung von sekundären Arthrosen bei Tieren mit einem isolierten Processus anconaeus im Vergleich zu den Patienten mit einer Veränderung am Processus coronoideus medialis ulnae.

Auf die von Kirberger (2006) und anderen Autoren beschriebenen Schrägaufnahmen zur überlagerungsfreien Darstellung des Processus coronoideus medialis ulnae oder der stark gebeugten Aufnahme zur Projektion des isolierten Processus anconaeus wurde verzichtet, da alle Autoren dem CT eine höhere Sensitivität und Spezifität zu sprechen (Carpender et al. 1993; Cook und Cook 2009).

### 3.3 Diagnostik mittels Computertomografie

Die Computertomografie wird von vielen Autoren als nicht invasiver Goldstandard zur Darstellung von Primärläsionen bei Erkrankungen des Ellbogens bezeichnet (Carpenter et al. 1993; Kirberger 2006; Cook und Cook 2009).

Das in dieser Studie verwendete Protokoll beinhaltete transversale Schnitte von 1mm Schichtdicke mit einer „region of interest“ vom proximalen Olekranon bis distal des Radiuskopfs.

Die von Carpenter et al. (1993) und anderen Autoren beschriebene hohe Sensitivität und Spezifität für Veränderungen im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae konnte in dieser Studie bestätigt werden.

Die Bilder wurden im Hinblick auf die Primärläsionen der Ellbogengelenkdysplasie (FPCMU, IPA, OCD) exklusive der radioulnaren Inkongruenz untersucht, da eine Darstellung der Inkongruenz aufgrund der Lagerung mittels MRT nicht möglich ist.

### **3.4 Diagnostik mittels Magnetresonanztomografie**

Die Magnetresonanztomografie wird von einigen Autoren (Holsworth et al. 2005; Klumpp und Kramer 2008; Cook und Cook 2009) mit einer ähnlichen oder höheren Sensitivität und Spezifität im Bezug auf die Darstellung von Primärläsionen der Ellbogengelenkdysplasie im Vergleich zur Computertomografie angegeben.

Es liegen bislang nur wenige Vorschläge für ein MRT-Standarduntersuchungsprotokoll des caninen Ellbogens vor. Die meisten Untersuchungsprotokolle sind in starker Anlehnung an die der humanmedizinischen Protokolle entwickelt worden. Das menschliche Ellbogengelenk ist in der Regel deutlich größer als das des Hundes. Aus diesem Grund wurde in dieser Studie darauf geachtet, dass bei der Untersuchung Sequenzen mit einer sehr hohen Ortsauflösung verwendet wurden.

Eine Darstellung der Knochenstrukturen des Ellbogengelenks war in allen verwendeten Sequenzen gut möglich. Zur Darstellung der knöchernen Feinkonturen, wie die Apex des Processus coronoideus medialis ulnae und des Gelenkknorpels, wurden Gradientenechosequenzen angefertigt.

Es ist zu bedenken das der Zeit- und Kostenaufwand bei einer MRT-Untersuchung deutlich über dem einer Röntgen oder CT-Untersuchung liegt. Der entscheidende Vorteil der Magnetresonanztomografie liegt in der Darstellung der Weichteile, des Gelenkknorpels und des Knochenmarks.

Ein wesentlicher Zeitfaktor ist die Anzahl und die Art der akquirierten Sequenzen. Um die Anzahl der Sequenzen möglichst gering zu halten, sollte ein an den Patienten angepasstes Untersuchungsprotokoll vorliegen. Es ist von Vorteil 3D-Sequenzen mit isotroper Voxelgröße anzufertigen, da diese Sequenzen für eine 3D-Rekonstruktion am geeignetesten sind.

### 3.4.1 Bewertung der ausgewählten MRT-Sequenzen

Das in dieser Studie verwendete Protokoll beinhaltet sowohl die von Klumpp und Kramer (2008) angegebenen Spin-Echo-, beziehungsweise Turbo-Spin-Echo-Sequenzen in T1- und T2-Wichtung, sowie eine T2-gewichtete Sequenz mit Fettunterdrückung (STIR) zur Darstellung von Knochenmark und Weichteilödemen.

Um eine höhere Ortsauflösung zu erreichen wurden sogenannte Gradientenechosequenzen angefertigt. Die T2\* me3D ist eine Gradientenechosequenz mit isotroper Voxelgröße und sehr guter Ortsauflösung. Aufgrund der isotropen Voxelgröße konnte die in einer sagittalen Schnittführung akquirierte Sequenz in den beiden anderen Dimensionen rekonstruiert werden. Durch das Vorliegen aller 3 Dimensionen konnte verglichen werden, welche Ebene im Hinblick auf Veränderungen des medialen Processus coronoideus medialis ulnae am aussagekräftigsten ist.

So konnten bei den 31 Hunden mit einer in der Computertomografie dargestellten Veränderung des medialen Processus coronoideus ulnae auch bei 28 Tieren in der sagittalen T2\*me3D nachvollzogen werden. In den beiden anderen Ebenen konnten diese Veränderungen deutlich seltener dargestellt werden. Bei 3 Tieren konnten die Veränderungen nicht mittels MRT dargestellt werden, hierbei handelt es sich um Patienten mit geringer Demineralisation im Bereich des PCMU.

Die T1- und T2- gewichteten Turbo-Spin-Sequenzen wurden in einer dorsalen Ebene akquiriert. Aufgrund der geringen Auflösung und der Ebene konnten hier nur deutliche Veränderungen des Processus coronoideus medialis ulnae dargestellt werden. Da das akquirieren der Sequenzen in allen 3 Ebenen jedoch die Untersuchungszeit und damit auch die Narkosedauer deutlich verlängert hätte, wurde auf die sagittale und axiale Ebene bei den T1-, T2- und STIR-gewichteten Sequenzen verzichtet werden, diese weiteren Ebenen hätten aufgrund der hohen Schichtdicke aber nicht zu einer verbesserten Darstellung der anatomischen Feinstruktur geführt. Die dorsale Schnittführung erwies sich als sehr aussagekräftig bei der Darstellung des gelenksnahen Knochenmarks.

Die dorsale Schnittführung zeigte die größte Aussagekraft bei der Beurteilung des Knochenmarks im Bereich der Ulna. Um sichere Aussagen im Bezug auf Veränderungen des Knochenmarks machen zu können, müssen T1-, T2- und STIR-

Sequenzen vorliegen, um Gefäße, fettreiches Knochenmark und pathologische Knochenmarksveränderungen voneinander abgrenzen zu können.

Eine weitere akquirierte Gradientenechosequenz stellte die T1-gewichtete T1-FLASH-3D-WE dar. Diese Sequenz wurde von verschiedenen Autoren (Schuller 2003; Flatz 2006) zur Darstellung des Gelenkknorpels verwendet. Aufgrund der anisotropen Voxelgrößen wurde in dieser Studie auf eine 3D-Rekonstruktion verzichtet. In Vorversuchen konnte gezeigt werden, dass die axiale Ebene für die Beurteilung des Gelenkknorpels am besten geeignet ist, hier konnte bei allen Hunden, deren Körpergewicht immer über 20 kg lag, eine sichere Abgrenzung der beiden gegenüberliegenden Knorpelschichten beobachtet werden.

Auf Kontrastmittel-Applikationen wurde verzichtet, da Schmid (2002) zeigte, dass die T1-gewichteten Kontrastmittel Sequenzen keinen entscheidenden Vorteil gegenüber einer „short tau inversion recovery“ Sequenz bei der Darstellung von Knochenmarks-Pathologien im MRT zeigen.

Zur Untersuchung des Ellbogengelenks mittels Magnetresonanztomografie sollte immer ein Protokoll mit einer T2-Gradientenechosequenz mit kleiner Voxelgröße und hoher Schichtzahl verwendet werden, um die feinen Strukturen der Processus genau darstellen zu können. Zur Beurteilung des Knochenmarks wird zusätzlich eine T1-gewichtete und eine fettunterdrückte T2 gewichtete Sequenz benötigt. In der Humanmedizin werden zu den T1-FLASH-3D-WE-Sequenzen noch fettunterdrückte, protonendichte Sequenzen zur Knorpeldarstellung verwendet (Schaefer et al. 2007).

#### **4 Computertomografie versus Magnetresonanztomografie bei der Darstellung von Pathologien im Ellbogengelenk**

##### **4.1 Darstellung von Primärläsionen in CT und MRT**

Die Gruppe der Tiere, bei denen eine Veränderung des Processus coronoideus medialis ulnae durch eine Arthrotomie des Ellbogengelenks bestätigt wurde, bestand aus 23 Tieren. Bei all diesen Tieren konnte eine Veränderung im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae im CT festgestellt werden, eine deutliche Fissurlinie zeigten nur 17 Tiere.

Bei der Untersuchung mittels Magnetresonanztomografie konnte bei 28 der 31 im CT

veränderten PCMU auch eine Veränderung in der Signalgebung des Processus coronoideus medialis ulnae beobachtet werden. Bei 16 von den 17 Tieren mit Fissurlinie im CT konnte diese auch in der MRT-Untersuchung nachvollzogen werden. Zur Detektion von Fissurlinien im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae zeigte die T2\*me3D-Sequenz mit ihren Rekonstruktionen die beste Eignung. In der sagittalen T2\*me3D konnte noch bei einem weiteren Patienten eine Fissurlinie erkannt werden, die in der computertomografischen Untersuchung nicht zu erkennen war, intraoperativ aber bestätigt wurde.

Diese Ergebnisse erlauben in Übereinstimmung mit der Literatur die Aussage, dass die Magnetresonanztomografie eine ähnliche Sensitivität bei der Darstellung von Pathologien des Processus coronoideus medialis ulnae besitzt (Klumpp und Kramer 2008; Cook und Cook 2009).

3 der in diese Studie involvierten Patienten waren an einem isolierten Processus anconaeus erkrankt. Der isolierte Processus anconaeus konnte in allen Modalitäten problemlos dargestellt werden und wurden in allen 3 Fällen anschließend chirurgisch bestätigt.

Bei allen Patienten mit einem isolierten Processus anconaeus konnte in der MRT bei allen ein Gelenkerguss und bei 2 Patienten auch eine periartikuläre Weichteilveränderung dargestellt werden. Inwieweit diese Weichteilveränderungen einen Einfluss auf die Schmerzhaftigkeit und die Prognose hat, muss in weiteren Studien überprüft werden. Die 3 hier untersuchten Tiere hatten eine undeutlich geringgradige bis deutlich geringgradige Lahmheit, und eine mittel- bis hochgradige Ausprägung von Sekundärarthrosen (durchschnittlicher ARTH-Score von 2,33).

Eine Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri konnte mittels Magnetresonanztomografie bei 3 Tieren festgestellt werden. Diese Ergebnisse korrelierten jedoch nur in 2 von 3 Fällen mit denen der Computertomografie und wurden chirurgisch nicht evaluiert.

#### **4.2. Darstellung von sekundären Veränderungen mittels CT und MRT**

Bei der Darstellung von sekundären Veränderungen, wie Arthrosen im Gelenksbereich, bestand nur eine sehr geringe Korrelation zwischen MRT- und CT-Untersuchung.

So konnte bei 21 der 33 lahmen Hunde mittels CT-Untersuchung eine Osteophytenbildung im Bereich des Processus coronoideus medialis ulnae beobachtet werden, somit bleibt die Computertomografie die überlegene Methode bei der Beurteilung von oberflächlichen Knochenkonturen.

## 5 Darstellung von Knochenmarksveränderungen im MRT

Die Magnetresonanztomografie ist die einzige nicht invasive Möglichkeit zur Beurteilung des Knochenmarks (Aigner 2009). Die Schwierigkeit bei der Knochenmarkbeurteilung ergibt sich durch die dynamischen Veränderungen, die sich mit dem fortschreitenden Alter vom hyper- zum hypozellulären Knochenmark verschieben.

Knochenmarkveränderungen sind von fetthaltigem Knochenmark und Gefäßen abzugrenzen, sodass nur sicher von einer Pathologie des Knochenmarks gesprochen werden kann, wenn die Signalgebung in verschiedenen Sequenzen dafür spricht. So kann von einer Pathologie gesprochen werden, wenn sich der Bereich in der T2-STIR-gewichteten Sequenz als hyperintens und in der T1-gewichteten Sequenz als hypointens darstellt. Die Signalgebung in den T2 gewichteten Sequenzen ist unzuverlässiger und muss als intermediär bezeichnet werden.

Das Erscheinungsbild verschiedener Knochenmarkveränderungen ist in der MRT-Bildgebung sehr ähnlich. Eine Differenzierung der Pathologien aufgrund der MRT-Bilder ist in der Regel nur anhand der Anamnese, des Verlaufs oder eines histologischen Ergebnisses einer Knochenmarksbiopsie möglich (Pfleiderer 2010).

Verschiedene Autoren beschreiben, dass die ursprünglich als Knochenmarködem bezeichnete Veränderung im MRT häufig histologisch nicht den Veränderungen eines Ödems entsprechen (Zanetti et al. 2000; Mäki et al. 2001).

In dieser Studie konnte bei 19 von 33 lahmen Hunden eine Knochenmarkveränderung festgestellt werden. Die Häufigkeit von 90 %, mit der das Ödem im Bereich der Ulna auf Höhe des Gelenkspalts und im Bereich der Incisura trochlearis vorkam, lässt auf eine Assoziation mit dem Bereich der Primärläsion, in diesem Fall des veränderten Processus coronoideus medialis ulnae, schließen.

Bei den 3 gesunden Tieren konnten keine Veränderungen im Bereich des

Knochenmarks beobachtet werden. Bei 14 der 33 lahmen Hunde, mit teilweise eindeutigen Primärläsionen, konnte kein Hinweis auf Veränderungen des Knochenmarks festgestellt werden. Ob dies mit dem Alter der Primärläsion zusammenhängt oder mit anderen Faktoren, kann nur anhand einer längeren Beobachtungszeit bei nicht therapierten Tieren sowie einer histologischen Bestimmung und Differenzierung der Veränderungen im Bereich der auffälligen Signalgebung geklärt werden.

In der Humanmedizin wurde beobachtet, dass Patienten mit einer länger bestehenden Veränderung im Bereich des Knochenmarks zum einen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit eine Knorpeldegeneration entwickeln (Roemer et al. 2008) und zum anderen eine Prädisposition für subchondrale Zysten im Bereich der Knochenmarkveränderung aufweisen (Carrino et al. 2006).

Im Bezug auf die Ellbogendysplasie müssten die Hunde untersucht werden, bevor sie das erste halbe Lebensjahr vollendet haben. So könnte geprüft werden ob bei symptomfreien Tieren ohne Primärläsion schon zu diesem Zeitpunkt eine Veränderungen in dem Bereich des Knochenmarks beobachtet werden kann, in deren Nähe zu einem späteren Zeitpunkt ggf. eine Primärläsion im Sinne der Ellbogengelenkdysplasie auftreten könnte.

Die Beobachtung, dass auch bei bis zu 30 % der symptomfreien Menschen Veränderungen im Bereich des Knochenmarks des Fußes festgestellt werden können (Walther und Stabler 2007), kann in dieser Studie nicht bestätigt werden. Allerdings wurde eine zu geringe Anzahl (3 Tiere) von symptomfreien Hunden untersucht. Walther zeigte (2007), dass bei bis zu 80 % der symptomfreien Laufsportlern im Bereich des Fußes Knochenmarködemen ähnliche Signalgebungen festgestellt werden können. In weiteren Studien muss geklärt werden, ob bei lahmfreien und stark belasteten Hunden eine Veränderung im Bereich des Knochenmarks vorliegt und in welcher Lokalisation diese auftritt.

### **5.1 Korrelation von Knochenmarksveränderungen und Lahmheit**

In der Humanmedizin gibt es verschiedene Publikationen zur Korrelation von Schmerz und Veränderungen im Knochenmark (Felson 2001, Aigner 2009).

Es konnte beobachtet werden, dass eine starke Schmerzhaftigkeit erst in und nach

längeren Ruhephasen auftritt. Felson et al. (2001) erklären dieses Phänomen damit, das Knochenmark nach der Bewegung eine gewisse Zeit benötigt, um zu reagieren und deshalb die Schmerzhaftigkeit erst in der Ruhephase auftritt.

Beim Hund lässt sich eine Schmerzhaftigkeit der Gliedmaßen in den Ruhephasen nur schwer evaluieren. Bei Hunden mit einer bekannten Ellbogendysplasie kann beobachtet werden, dass die Tiere direkt nach Ruhephasen eine stärkere Lahmheit zeigen.

Ein weiterer Hinweis auf eine Schmerzursache außerhalb der synovialen Strukturen ergibt sich aus Studien mit intraartikulären Anästhesien, die bei einer Osteoarthritis des Gelenks häufig negativ bleiben. Dieser Zusammenhang wurde beim Menschen, Pferd und Hund belegt (Dyson 1986; Creamer et al. 1996; Buder 2005).

Felson et al (2003) zeigte, dass 77,5 % der 351 Personen mit einer schmerzhaften Osteoarthritis im Knie eine Veränderung des Knochenmarks im MRT aufwiesen.

In der vorliegenden Studie konnten bei 19 der 31 Hunden mit einer Lahmheit, die auf das Ellbogengelenk lokalisiert war, eine Veränderung des Knochenmarks im Bereich des Ellbogengelenks mittels MRT dargestellt werden.

Da keine Quantifizierung der intraartikulären Knorpelschäden vorlag, konnte die in der Humanmedizin beschriebene Korrelation zwischen Größe des Knorpel-Knochen-Defekts und Größe der Knochenmarködeme ähnlichen Signalgebung nahe der Läsion (Kijowski et al. 2006) nicht nachvollzogen werden.

In dieser Studie konnte festgestellt werden, dass der Lahmheitsgrad in der Gruppe der Hunde mit einer Veränderung am PCMU und einer Veränderung des gelenknahen Knochenmarks um ca. 1 Lahmheitsgrad höher war, als bei den Tieren, die nur eine Veränderung des PCMU zeigten.

Dies könnte ein Hinweis auf einen Schmerzreiz, ausgehend von der Veränderung des Knochenmarks, sein.

## **6. Weichteilveränderungen im MRT**

Auch bei der Darstellung von Weichteilveränderungen und vermehrter Gelenksfüllung stellt das MRT ein sehr sensitives diagnostisches Mittel dar (De

Rycke et al. 2002).

Bei 6 Tieren konnten zusätzlich zu den Veränderungen im Bereich des PCMU und einer Knochenmarködemen ähnlichen Signalgebung, auch Weichteilveränderungen festgestellt werden. Alle 6 Tiere mit Weichteilveränderungen zeigten eine Lahmheit, sowie eine positive Coronoidprobe.

Bei den Kombinationen von Weichteilveränderungen und knöchernen Veränderungen ist es nur schwer zu differenzieren, welche Läsionen und zu welchem Anteil die jeweiligen Läsionen zu Schmerzen und damit auch zu Lahmheiten führen. Bei den meisten Studien zum Therapieerfolg von Coronoidektomien wurden die Hunde postoperativ mit Entzündungshemmern behandelt, und für einen längeren Zeitraum ruhig gehalten. Diese Therapie könnte auch zur Besserung oder sogar zur Heilung von Weichteilveränderungen führen. Damit könnte das Ergebnis über den Erfolg einer Coronoidektomie und das Coronoid als lahmeitsverursachende Primärläsion verfälscht werden.

## **7. Knorpeldarstellung mittels Magnetresonanztomografie**

In der Humanmedizin ist die Magnetresonanztomografie eine Standardmethode zur Knorpeldarstellung größerer Gelenke (Schaefer et al. 2007).

In der Tiermedizin wird die Magnetresonanztomografie seltener eingesetzt, sie bietet jedoch auch gute Möglichkeiten zur Knorpeldarstellung des Kniegelenks größerer Hunderassen (Flatz 2006).

Schuller (2003) konnte die beiden gegenüberliegenden Knorpelschichten im Ellbogengelenk des Hundes mit einer T1-FLASH-3D-WE aufgrund des sehr schmalen Gelenkspalts nicht isoliert darstellen. In dieser Studie konnte mithilfe einer stärkeren Magnetfeldstärke von 1,5 Tesla und einiger technischer Veränderungen der T1-FLASH-3D-WE-Sequenz gezeigt werden, dass eine isolierte Darstellung beider Knorpelschichten möglich ist. Die T1-FLASH-3D-WE zeigte im Vergleich zur T2\*-me3D auch eine deutlich bessere Darstellung des Knorpels. So konnte in der T1-FLASH-3D-WE bei 2 Tieren eine Knorpelläsion an der Trochlea humeri festgestellt werden, bei denen auch im CT eine Veränderung des subchondralen Knochens dargestellt werden konnte. Zur sicheren Diagnostik von Knorpelschäden im Ellbogen des Hundes mittels T1-FLASH-3D-WE-Sequenzen werden weitere Studien benötigt,

bei denen möglichst die Arthroskopie als Referenzmethode verwendet werden sollte.

Des Weiteren sind Studien mit fettunterdrückten protonendichten Sequenzen zur isolierten Darstellung des Gelenksknorpels nötig, diese Methode hat sich in der Humanmedizin bereits etabliert (Schaefer et al. 2007).

## VI Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene bildgebende Modalitäten zur Diagnostik der Ellbogengelenkdysplasie verglichen. Die röntgenologische Untersuchung, die häufig als „Screening-Verfahren“ zur Diagnostik der Ellbogendysplasie eingesetzt wird und die computertomografische Untersuchung als etablierte Schnittbilddiagnostik zur Darstellung von Primärläsionen wurden mit der Magnetresonanztomografie verglichen.

Das Standard-MRT-Protokoll wurde mit verschiedenen Gradientenechosequenzen im Hinblick auf die Knorpel- und Knochenmarkdarstellung optimiert. Durch den Zugewinn an Informationen, den man durch eine magnetresonanztomografische Untersuchung erhält, kann gerade bei fraglichen Veränderungen im CT das MRT bei der Diagnostik hilfreich sein. Insbesondere können Veränderungen der Weichteile und des Knochenmarks erkannt werden, die im CT nicht dargestellt werden können. Zur Darstellung von Primärläsionen der Ellbogengelenkdysplasie hat sich gezeigt, dass die MRT eine ähnlich gute diagnostische Genauigkeit aufweist, im Speziellen bei der Detektion des fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae.

Die hier durchgeführten Gradientenechosequenzen und insbesondere die T2\*me3D können mithilfe der ausgewerteten 3D Rekonstruktionen eine sehr genaue Darstellung des zu untersuchenden Gelenkbereichs bieten. Darüber hinaus kann mithilfe einer MRT-Untersuchung eine Darstellung von Weichteil- und Knorpelschäden erfolgen. Eine sichere Abgrenzung von pathologischen Knochenmarksveränderungen lässt sich jedoch nur durch eine Kombination von T1-, T2- und fettunterdrückten Sequenzen durchführen.

Es konnte auch gezeigt werden, dass ein Standard-MRT-Untersuchungsprotokoll zur Diagnostik der Ellbogendysplasie des Hundes eine isotrope T2\*me3D, eine STIR und eine T1-gewichtete Sequenz enthalten sollte. In dieser Studie konnte ferner gezeigt werden, dass Ellbogenerkrankungen in 56 % der Fälle (19 von 33 Hunden) mit einer Veränderung des Knochenmarks einhergehen.

Eine deutliche Korrelation zwischen Schmerz und Knochenmarksveränderungen war nicht ersichtlich. Ein Hinweis ergibt sich aus dem durchschnittlich höheren Lahmheitsgrad bei Tieren mit Knochenmarksveränderungen.

## VII Summary

### **Bone marrow changings in the MRI in degenerative elbow diseases of the dog**

In this study different modalities for the diagnosis of the elbow dysplasia were compared. The x-ray examination, often used as the Screening Procedure for elbow dysplasia diagnosing, in addition to the CT examination as an established method in cross-sectional diagnosing were compared with the magnet resonance imaging.

It has been tried to improve and to simplify the standard MRI protocol with different gradient-echo sequences. With the added gain in information you get with the magnet resonance imaging, the diagnostics of elbow-diseases of dogs can be considerably enhanced.

It could be shown that the MRI examination has a similar ability in description of prime lesions in elbow-dysplasia, the fragmented processus coronoideus medialis ulnae in particular.

The deciding advantage here is in the acquisition of high-definition gradient-echo sequences.

In our study we could prove, that the accomplished gradient-echo sequences and especially the T2\*me3D-Sequence including the 3D-reconstruction, could afford a very specific definition of the region of the joint that should be examined. Furthermore with an MRI you can display lesions in soft tissues as well as in cartilage tissues. A definite classification between pathologic changes in the bone marrow, can only be made with a combination of T1- , T2- and fatsuppressive sequences.

A standard MRI protocol for the elbow-joint should include an isotropic T2\*me3D, a STIR and a T1-weighted sequence. For further diagnosis, sequences with contrast agent should be used.

We could also show, that mentioned diseases of the elbow-joint are combined with an alteration of the bone marrow in 56% of all cases.

An evident correlation between pain and bone marrow-changings could not obviously be shown in this study. There is a hint though, because of the correlation between a higher grade of lameness and the changes in the bone marrow.

## VIII Literaturverzeichnis

Aigner N

Das Knochenmarködem – Differentialdiagnose und Therapie

Update Rheumatologie Congress, Wien Speisingen, 2009

Armbrust LJ, Hoskinson JJ, Biller DS, Wilkerson M

Low-field magnetic resonance imaging of bone marrow in the lumbar spine, pelvis, and femur in the adult dog

Vet Radiol Ultrasound 2004; **45** (5): 393-401

Armbrust LJ, Ostmeier M, McMurphy R

Magnetic resonance imaging of bone marrow in the pelvis and femur of young dogs

Vet Radiol Ultrasound 2008; **49** (5): 432-437

Bauer-Melnyk A

Bone marrow imaging in MRI

Eur J Radiol 2005; **55** (1): 1-1

Bennett DD, Kene SR, Lee RO

Osteochondritis dissecans and fragmentation of the coronoid process in the elbow joint of the dog

Vet Rec 1981; **109** (15): 329-336

Berry C, Clifford RD

Evaluation of the canine elbow for fragmented medial coronoid process

Vet Radiol Ultrasound 1992; **33** (2): 273-276

Bollet J

Edema of the bone marrow can cause pain in osteoarthritis and other diseases of bone and joints

Ann Intern Med 2001; **134**: 591-593

Boudrieau RJ, Hohn RB, Bardet JF

Osteochondritis dissecans of the elbow in the dog

J Am Anim Hops Assoc 1983; **19**: 627-635

Boulay JP

Fragmented medial Coronoid process of the ulna in the dog

J Am Anim Hops Assoc 1998; **16**: 327-336

Breit S, Künzel W, Seiler S

Variation in the ossification process of the Anconeal and medial Coronoid processes of the canine ulna

Res Vet Sci 2004; **77** (1): 9-16

Brunnberg L

Lahmheitsdiagnostik beim Hund

Parey, Berlin, 1999

Brunnberg L, Pauls J, Burger M, Hermanns W, Waibl H

Interkondyläre, nicht dislozierte Humerusfraktur

Kleintierpraxis 2001; **12**: 783-792

Buder A

Diagnostische Anästhesie zur Untersuchung von Lahmheiten am Ellbogen- und Kniegelenk des Hundes

Diss. med. vet., Giessen, 2005

Bydder G, Young M

MR imaging: clinical use of inversion recovery sequence

J Comput Assist Tomogr 1985; **9**: 649-675

Carpenter L, Schwarz PD, Lowry JE, Park RD, Steyn PF

Comparison of radiologic imaging techniques for the diagnosis of fragmented medial coronoid process in the canine elbow

J Am Vet Med Assoc 1993; **203** (1): 78-83

Carrino J, Blum J, Parellada JA, Schweitzer ME, Marrison W

MRI of bone marrow edema-like signal in the pathogenesis of subchondral cysts

Osteoarthritis Cartilage 2006; **14** (10): 1081-1085

Cohen MS, Bruno RJ

The collateral ligaments of the elbow: anatomy and clinical correlation

Clin Orthop Relat Res 2001; **383**: 123-130

Constantinescu GM, Constantinescu IA

A clinically oriented comprehensive pictorial review of canine elbow anatomy

Vet Surg 2009; **38** (2): 135-143

Cook JL

Forelimb lameness in the young dog

Vet Clin North Am Small Anim Pract 2001; **31** (1): 55-83

Cook CR, Cook JL

Diagnostic imaging of canine elbow dysplasia: a review

Vet Surg 2009; **38** (2): 144-153

Creamer P, Hunt M, Dieppe P

Pain mechanisms in osteoarthritis of the knee: effect of intraarticular anesthetic

J Rheumatol 1996; **23**: 1031-1036

Danielson F, Fitzpatrick N

Histomorphometry of fragmented medial coronoid process in dogs: a comparison of affected and normal coronoid processes

Vet Surg 2006; **35**: 501-509

De Rycke L, van Bree H, Simoens P

Computerized tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) of the normal canine elbow

Am J Vet Res 2002; **63** (10): 1400-1407

Disler D, McCauley TR, Kellmann GG, Fuchs MD, Ratner LM, Wirth CR, Hospodar PP

Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging of hyaline cartilage defects in the knee: comparison with standard MR imaging and arthroscopy

Am J Roentgenol 1996; **167** (1): 127-132

Disler D, McCauley TR, Wirth CR, Fuchs MD

Detection of knee hyaline cartilage defects using fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging: comparison with standard MR imaging and correlation with arthroscopy

Am J Roentgenol 1995; **165** (2): 377-382

Disler D, Recht MP, McCauley TR

MR imaging of articular cartilage

Skeletal Radiol 2000; **29** (7): 367-377

Dyson S

Problems associated with the interpretation of the results of regional and intra-articular anaesthesia in the horse

Vet Rec 1986; **118**: 419-422

Engelke E, Koch R, Brunnberg L, Waibl H

Das Ligamentum olecrani des Ellbogengelenks bei Hund und Katze

Kleintierpraxis 2005; **50** (5): 281-348

Feller JF

MRI of bone marrow

Advanced MRI from head to toe 2002

Felson DT, Chaisson CE, Hill CL, Totterman S, Gale ME, Skinner KM, Kazis L, Gale DR

The association of bone marrow lesions with pain in knee osteoarthritis

Ann Intern Med 2001; **134**: 541-549

Felson DT, McLaughlin S, Goggins MP, LaValley ME, Gale ME, Totterman GS, Hill W, Li W, Gale D

Bone marrow edema and its relation to progression of knee osteoarthritis

Ann Intern Med 2003; **139**: 330-336

Flatz K

Ex-vivo-Untersuchungen zum Nachweis von Knorpeldefekten im Kniegelenk des Hundes mit der Hochfeld-Magnetresonanztomografie

Diss. med. vet. München, 2006

Flückiger M

Ellenbogendysplasie (ED) beim Hund

Schweiz Arch Tierheilk 1992; **134**: 261-271

Fossum TW

Chirurgie der Kleintiere

Urban & Fischer, München, 2007

Gemill TJ, Clements DN

Fragmented coronoid process in the dog: is there a role for incongruency?

J Small Anim Pract 2007; **48**: 361-368

Ghosh P, Wells C, Snith M, Hutadilok N

Chondroprotection, myth or reality: an experimental approach

Semin Arthritis Rheum 1990; **19** (4): 3-9

Glaser C, Faber S, Eckstein F, Fischer H, Springer V, Heudorfer L, Stammberger T, Englmeier KH, Reiser M

Optimization and validation of rapid high-resolution T1-w 3D FLASH waterexcitation MRI sequence for the quantitative assessment of articular cartilage volume and thickness

Magn Reson Imaging 2001; **19** (2): 177-185

Gold G, McCauley TR, Gray ML, Disler DG

What's new in cartilage

Radiographics 2003; **23** (5): 1227-1242

Goring RL, Bloomberg MS

Selected developmental abnormalities of the canine elbow: Radiographic evaluation and surgical management

Compend Cont Ed Pract Vet 1983; **5**: 178-188

Grondalen J

Arthrosis in the elbow joint of young rapidly growing dogs

Nord Vet Med 1982; **34**: 65-67

Grondalen J

Occurrence and genetic aspects of elbow dysplasia

7 Annual Meeting der IEWG, Constance, Germany, 1996

Grondalen J, Braut T

Lameness in two young dogs caused by a calcified body in the joint capsule of the elbow

J Small Anim Pract 1976; **17** (10): 681-684

Gruyter D

Pschyrembel klinisches Wörterbuch

Parey, Berlin, 2004

Guthrie S

Use of a radiographic scoring technique for the assessment of dogs with elbow Osteochondrosis

J Small Anim Pract 1989; **30**: 639-644

Guthrie S, Pidduck HG

Heritability of elbow osteochondrosis within a closed population of dogs

J Small Anim Pract 1990; **31**: 93-96

Hazewinkel HA

Elbow dysplasia; definitions and clinical diagnosis

23 Annual Meeting IEWG, Dublin, Ireland 2008: 8-12

Hazewinkel HA, Kantor A, Mrij B, Voorhout G

Fragmented coronoid process and osteochondritis dissecans of the medial humeral condyle

Tijdschr Diergeneeskd 1988; **113** (1): 41-46

Hedhammar A, Swenson L, Egenvall A

Elbow arthrosis and hip dysplasia in Swedish dogs as reflected by screening programmes and insurance data

Europ J Comp Anim Pract 1999; 9: 119-121

Heller H, Wissdorf E

Die postnatale Entwicklung des Schultergliedmaßenskeletts des Hundes unter Berücksichtigung der röntgenologischen Darstellung der Epi- und Apophysen

J Effem- Forschung für Kleintiernahrung; **198**: 11

Henschel E

Anatomical and clinical aspects of the growing lower-arm bones, compared with distractio cubiti of the dog and Mandelung's deformity in man

Arch Exp Veterinarmed 1972; **26** (5): 741-787

Hofmann S, Kramer J, Schmidt HM

Das schmerzhafte Knochenmarködem im Kniegelenk

Arthroskopie 2003; **16** (2): 88-101

Holsworth IG, Wisner ER, Scherrer WE, Filipowicz D, Kass PH, Pooya H, Larson R, Schulz K

Accuracy of computerized tomographic evaluation of canine radio-ulnar incongruence

in vitro

Vet Surg 2005; **34** (2): 108-113

Imatani I, Ogura T, Morito Y, Hashizume H, Inoue H

Anatomic and histologic studies of lateral collateral ligament complex of the elbow joint

J Shoulder Elbow Surg 1999; **8** (6): 625-627

International Elbow Working Group

Proceedings of the IEWG

24 Annual Meeting, Sao Paulo, Brazil, 2009

Janutta V

Genetic analyses of elbow and hip dysplasia in German shepherd dogs

Diss. Med. Vet. Hannover, 2005

Jaramillo D, Laor T, Hoffer FA

Epiphyseal marrow in infancy MR imaging

Radiology 1991; **80**: 809-812

Kijowski R, Stanton P, Fine J, De Smet A

Subchondral bone marrow edema in patients with degeneration of the articular cartilage of the knee joint

Radiology 2006; **238** (3): 703-710

Kirberger RM

The elbow joint

BSAVA manual of canine and feline musculoskeletal imaging 2006: 103-119

Klumpp S, Kramer M

Der fragmentierte Processus coronoideus medialis ulnae beim Hund, Erstellung eines MRI-Routineuntersuchungsprotokolls

Proceeding DVG 2008: 568

Körbel J

Ellbogengelenkdysplasie (ED) des Hundes – eine computertomografische und CT osteoabsorptiometrische Studie

Diss. med. vet. München, 2000

Kricum M,

Red-yellow marrow conversion: its effect on the location of some solitary bone lesion

Skeletal Radio 1985; **14**: 10-19

La Fond E, Gert J, Breuer C, Austin C

Breed susceptibility for developmental orthopedic diseases in dogs

Am Anim Hosp Assoc 2002; **38**: 467-477

Lamb C, Wong K

Ultrasonographic anatomy of the canine elbow

Vet Radiol Ultrasound 2005; **46**: 319-325

Lang J, Busato A, Baumgartner D, Flückiger M

Comparison of two classification protocols in the evaluation of elbow disease in the Bernese Mountain Dog

Vet Radiol Ultrasound 1995; **36** (2): 170

Lewis PD, Parker RB, Hager DA

Fragmented medial coronoid process of the canine elbow

Compend Contin Educ Pract Vet 1989; **11**: 703-716

Liebich HG, König HE

Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße

In Liebich HG, König HE: Anatomie der Haussäugetiere Bd. 1, Schattauer, München, 1999

Lozier SM

How I treat elbows in the older canine patient and new perspectives in elbow dysplasia

Proceedings of the 13<sup>th</sup> Annual ESVOT Congress 2006; **13**: 93-96

Mäki K, Groen AE, Liinamo I

Population structure, inbreeding trend and their association with hip and elbow dysplasia in dogs

Anim Sci 2001; **73**: 217-228

Mairl J

Morphologische und biomechanische Untersuchung der physiologischen Inkongruenz am Ellbogengelenk des Hundes

Vortrag für Gesellschaft zur Förderung kynologischer Forschung 2003

Mairl J

Is incongruity pathological

12th Annual Meeting of the ESVOT Congress, München, Germany, 2004

Martig S, Boisclair J, Konar M, Spreng D, Lang J

MRI Characteristics and histology of bone marrow lesions in dogs with experimentally induced osteoarthritis

Vet Radiol Ultrasound 2007; **48** (2): 105-112

Mason DR, Schulz KS, Samii VF, Fujita Y, Hornof WJ, Herrgesell EJ, Long CD, Morgan JP, Kass PH

Sensitivity of radiographic evaluation of radio-ulnar incongruence in the dog in vitro

Vet Surg 2002; 31 (2): 125-132

Meyer-Lindenberg A

Diagnosis and therapy of developmental defects in the canine elbow joint

Annual Congress Br Small Anim Vet Assoc 1992

Meyer-Lindenberg A, Fehr M, Nolte I

Co-existence of ununited anconeal process and fragmented medial coronoid process of the ulna in the dog

J Small Animal Pract 2006; **47**: 61-65

Meyer-Lindenberg A, Langhann A, Fehr M, Nolte I

Prevalence of fragmented medial coronoid process of the ulna in lame adult dogs

Vet Rec 2002; **151** (8): 230-234

Morgan JP, Wind A, Davidson AP

Bone dysplasias in the labrador retriever: a radiographic study

J Am Anim Hosp Assoc 1999; **35** (4): 332-340

Morgan JP, Wind A, Davidson AP

Elbow dysplasia

Schlütersche, Hannover, 2000

Mussmann K

Ellbogengelenkdysplasie des Hundes: Studie zur bildgebenden Diagnostik und postoperativen Erfolgskontrolle mittels computerisierter Ganganalyse

Diss. med. vet. München, 2009

Nap RC

Pathophysiology and clinical aspects of canine elbow dysplasia

Vet Comp Orthop Traumatol 1995; **9** (2): 58-61

Nickel R, Schummer A, Seiferle E

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Bd. I: Bewegungsapparat

Parey, Berlin, Hamburg, 1992

Olsson SE

Pathophysiology, morphology and clinical signs of osteochondrosis in the dog

Febiger, Philadelphia, 1993

Pfleiderer B,

Persönliche Mitteilung

Münster, 2010

Pibat Pascale H

Encyclopedia of Canine Clinical Nutrition

Royal Canine, 2000

Pobisch R, Geres V, Arbesser E

Ellbogengelenkdysplasie beim Hund

Wien Tierarztl Monatschr 1972; **59** (10): 297-307

Porter BA, Olson DO, Stimack GK

STIR imaging of marrow malignancies

J Magn Reson Imaging 1987; **10** (2): 169-176

Probst CW

Fragmented medial coronoid process and Osteochondrosis dissecans of the elbow

Comp Anim Pract 1988; **2**: 27-33

Puccio M, Marino DJ, Stefanacci JD, McKenna B

Clinical evaluation and long-term follow-up of dogs having coronoidectomy for elbow incongruity

J Am Anim Hosp Assoc 2003; **39** (5): 473-478

Quick B, Berzon D

Fragmented coronoid process: anatomical, clinical and radiographic considerations with case analysis

J Am Anim Hosp Assoc 1980; **16**: 241-251

Raskin R

Bone marrow

Textbook of Small Animal Surgery 2<sup>nd</sup> ed.

Slatter, Saunders, Toronto, 1993

Recht MP, Kramer J, Marcelis S, Patharia MN, Trudell D, Haghighi P, Sartoris DJ, Resnick D

Abnormalities of articular cartilage in the knee: analysis of available MR techniques

Radiology 1993; **187** (2): 473-478

Reichle JK, Park RD, Bahr AM

Computedtomographie findings of dogs with cubital joint lameness

Vet Radiol Ultrasound 2000; **41** (2): 125-130

Remy D, Neuhart L, Fau DK, Genevois JP

Canine elbow Dysplasie and primary lesions in German shepherd dogs in France

J Small Anim Pract 2004; **45**: 244-248

Riser WH, Shirer JF

Hip dysplasia: coxafemoral abnormalities in neonatal German Shepherd dogs

J Small Anim Pract 1966; **7** (1): 7-12

Roemer FW, Guermazi A, Javaid MK, Lynch JA, Niu J, Zhang Y, Felson DT, Lewis CE, Torner J, Nevitt MC

Change in MRI-detected subchondral bone marrow lesions is associated with cartilage loss: the MOST Study. A longitudinal multicentre study of knee osteoarthritis

Ann Rheum Dis 2008; **68** (9): 1461-1465

Samoy Y, Van Ryssen B, Gielen I, Wlaschot N

Review of the literature: elbow incongruity in the dog

Vet Comp Orthop Traumatol 2006; **19** (1): 1-8

Schaefer FK, Kurz B, Schaefer PJ, Fuerst M, Hedderich J, Grassner J, Schuenke M, Heller A

Accuracy and precision in the detection of articular cartilage lesions using magnetic resonance imaging at 1.5 tesla in an in vitro study with orthopaedic and histopathologic correlation

Acta Radiol 2007; **48** (10): 1131-1137

Schebitz H, Waibl H, Meyerhofer E, Matis U, Brunenberg L, Köstlin R

Atlas der Röntgenanatomie des Hundes

Parey, München, 2005

Schmid MR, Hodler J, Vienne P, Blinkert CA, Zanetti M

Bone marrow abnormalities of foot and ankle: STIR versus T1-weighted contrast-enhanced fat-suppressed spin-echo MR imaging

Radiology 2002; **224**: 463-469

Schröder M

Beitrag zur Entwicklung des Skeletts der Vordergliedmaße bei Deutschen Schäferhunden

Diss. med. vet. München, 1978

Schuller S

Magnetresonanztomografische Darstellung des Gelenkknorpels am Schulter- und Ellbogengelenk des Hundes

Diss. med. vet. München, 2003

Sherlock CE, Mair TS, Murray RS, Blunden TS, Dyson S

Magnetic resonance imaging features of serous atrophy of bone marrow fat in the distal limb of three horses

Vet Radiol Ultrasound 2010; **51** (6): 607-613

Sjöström L

Ununited Anconeal process in the dog

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1998; **28** (1): 75-86

Snaps FR, Park RD, Saunders JH, Balligand M, Dondelinger RF

Magnetic resonance arthrography of the cubital joint in dogs affected with fragmented medial coronoid processes

Am J Vet Res 1999; **60**: 190-193

Unger E, Summers TB

Bone marrow

Top Magn Reson Imaging 1989; **1**: 31-52

Vahlensieck M, Schmidt HM

Normales Knochenmark und seine Variationen in der MRT

Radiologe 2000; **40**: 688-693

Vande Berg C

Magnetic resonance imaging of the normal bone marrow

Skeletal Radiology 1998; **27**: 471-483

Van Herpen H

Anatomy and development of the elbow joint

Tijdschr Diergeneeskd 1988; **113** (1): 38-41

Van Ryssen B, Gielen I, Samoy Y, Van Bree H

How I manage elbow incongruity

Proceedings of the 12<sup>th</sup> Annual ESVOT Congress, 2004

Vollmerhaus B, Roos H

Postnatal development of the forearm bones in dogs during functional adaption

Berl Munch Tierarztl Wochenschr 1980; **93** (8): 150-155

Wagner K, Griffon DJ, Thomas MW, Schaeffer DJ, Schulz KS, Samii VF, Necas A

Radiographic, computed tomographic, and arthroscopic evaluation of experimental radio-ulnar incongruence in the dog

Vet Surg 2007; **36** (7): 691-698

Walde I, Tellhelm B

De fragmentierte Processus coronoideus medialis ulnae (FPC) und die Osteochondritis dissecans (OCD) im Ellbogengelenk und Sprunggelenk des Hundes-  
Literaturübersicht, Diagnose und Therapie

Wien Tierarztl Monatsschr 1991; **78**: 414-424

Walther M, Stabler A

Knochenmarködem und „bone bruise“ am Fuß des Sportlers

Sport Ortho Sport Trauma 2007; **23** (1): 49-56

Wind AP

Elbow incongruity and developmental elbow diseases in the dog

J Am Anim Hosp Assoc 1986; **22**: 725-730

Winhard FE

Anatomische und computertomografische Untersuchung am gesunden und degenerativ veränderten Schulter- und Ellbogengelenk des Hundes

Diss. med. vet. München, 2007

Winhart S

Zur Fraktur des Processus coronoideus medialis ulnae beim Hund

Diss. med. vet. München 1991

Wolschrijn CF, Weijs WA

Development of the trabecular structure within the ulnar medial coronoid process of young dogs

Anat Rec Disov Mol Cell Evol Biol 2004; **278** (2): 514-519

Young IR

Advanced imaging techniques

Oxford, IRL Press 1987; **6**: 14-16

Yulish B, Montanez J, Goodfellow DB, Bryan PJ, Mulopolus GP, Modic MT

Chondromalacia patellae: assessment with MR imaging

Radiology 1987; **164** (3): 763-766

Zanetti M, Bruder E, Romero J, Hodler J

Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings

Radiology 2000; **215**: 835-840

## **IX Anhang**

### **1. Verzeichnisse**

#### **1.1 Tabellenverzeichnis**

- Tab. Nr.: 1 Technische Daten des verwendeten CT-Geräts**
- Tab. Nr.: 2 Technische Daten der verwendeten MRT-Sequenzen**
- Tab. Nr.: 3 Arthrose-einteilung anhand der Röntgenaufnahmen nach IEWG**
- Tab. Nr.: 4 Gradeinteilung der Arthrose nach IEWG**
- Tab. Nr.: 5 Auswertungsprotokoll der CT-Untersuchung**
- Tab. Nr.: 6 Auswertungsprotokoll der MRT-Untersuchung**
- Tab. Nr.: 7 Altersverteilung der Patienten**
- Tab. Nr.: 8 Rasseverteilung der in die Studie involvierten Tiere**
- Tab. Nr.: 9 Lahmheitsgrade der an der Studie beteiligten Hunde**
- Tab. Nr.: 10 Signalintensität der Knochenmarksveränderungen in den verschiedenen Sequenzen**

## 1.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. :1** Schema der sagittalen Ebene des Ellbogengelenks
- Abb. :2** Schema eines caninen Ellbogengelenks von medial
- Abb. :3** Lagerung zur röntgenologischen Darstellung des Ellbogengelenks
- Abb. :4** Axiale Rekonstruktion einer T2\*me3D we bei einem Patienten mit großen FCPMU
- Abb. :5** Sagittale Rekonstruktion einer T2\*me3D we bei demselben Patienten von Abb. 4
- Abb. :6** Axiale T1 FLASH 3D we bei demselben Patienten von Abb. 4
- Abb. :7** Transversal-Schnitt beider Ellbogengelenk im CT des Patienten von Abb. 4
- Abb. :8** Grad der sekundären Veränderungen im Ellbogengelenk nach ARTH ( in %)
- Abb. :9** Sagittale T2\*me3D we eines Patienten mit isolierten Proc. anconaeus
- Abb. :10** Vergleich der sekundären Arthrosen im CT und MRT
- Abb. :11** T1 tse dors. der proximalen Ulna mit hypointensen Bereichen
- Abb. :12** T2 tse dors. der proximalen Ulna mit hyperintensens Bereichen
- Abb. :13** T2 STIR dors. der proximalen Ulna mit hyperintensens Bereichen
- Abb. :14** T2 STIR dors. mit Weichteilödem eines degenerativ veränderten Ellbogengelenks
- Abb. :15** Axiale T1 FLASH 3D we zur Darstellung des Gelenksknorpels

### 1.3 Abkürzungsverzeichnis

|       |  |
|-------|--|
| ARTH  | Arthrose   |
| CT    | Computertomografie                                       |
| dors  | Dorsal   |
| dtl.  | deutlich   |
| ED    | Ellbogengelenkdysplasie                                  |
| EI    | Ellbogengelenk – Inkongruenz                             |
| FPCMU | fragmentierter Processus coronoideus medialis ulnae      |
| FLASH | T1-gewichtete Gradientenechosequenz<br>( T1 FLASH 3D WE) |
| PCMU  | Processus coronoideus medialis ulnae                     |
| GE    | Gradientenechosequenz                                    |
| Ggr.  | geringgradig   |
| HE    | Hounsfield Einheiten                                     |
| Hg    | Quecksilber  |
| hgr.  | Hochgradig   |
| IEWG  | International Elbow Working Group                        |
| IOHC  | Incomplete ossification of the humeral condyle           |
| IPA   | isolierter Processus anconaeus                           |
| KM    | Knochenmark  |
| LH    | Lahmheit   |
| Lig.  | Ligamentum   |
| LW    | Lebenswoche  |

|       |   |
|-------|---|
| Mo    | Monate  |
| M.    | Musculus  |
| MEDIC | T2-gewichtete Gradientenechosequenz<br>(T2*me3D we) |
| mgr   | mittelgradig  |
| Mm    | Millimeter  |
| MRT   | Magnetresonanztomografie                            |
| OCD   | Osteochondrosis dissecans                           |
| PA    | Processus anconaeus                                 |
| prox  | proximal  |
| sag.  | sagittal  |
| TR    | Time of Repetition                                  |
| TSE   | Turbo-Spine-Echo                                    |
| we    | Water excitation                                    |

## 2 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. R. Köstlin für die Überlassung des interessanten Themas und für die Unterstützung bei der Durchführung recht herzlich danken.

Des Weiteren möchte ich mich ganz besonders bei Frau Dr. Katharina Flatz, Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik der LMU, für die sehr gute Betreuung und die wissenschaftliche Anleitung bedanken.

Danken möchte ich auch Frau Prof. Dr. U. Matis für die Möglichkeit einer 2-jährigen Famulatur in der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU, eine Zeit, die mein Interesse an der Magnetresonanztomographie erst weckte.

Ein großer Dank gilt auch dem gesamten Team der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik, im Besonderen Dr. A. Brüschwein, Dr. M. Zöllner und allen Mitarbeitern der Abteilung für Radiologie.

Des Weiteren möchte ich Frau Dr. Ines Holz für die stetige Hilfe bei der Patientenauswahl und den klinischen Untersuchungen danken.

Herrn Prof. Straubinger möchte ich für seine geduldige Hilfe bei der technischen Auswertung danken.

Danken möchte ich auch Dr. D. Remmler und seiner ganzen Familie, die mich schon seit vielen Jahren nicht nur auf meinem beruflichen Werdegang unterstützt und begleitet haben.

Ein großer Dank gilt meinen Geschwistern Julian und Johanna für Ihre stetige Unterstützung bei der Formatierung und dem Layout.

Ein großer Dank gilt auch meiner Freundin Yvonne Welpmann für Ihre Geduld und für die Durchsicht dieser Arbeit.

Zum Schluss und insbesondere möchte ich meinen Eltern danken, die mir durch Ihre ständige Unterstützung mein Studium und somit diese Arbeit erst ermöglicht haben.