Aus dem Institut für Röntgendiagnostik und
Nuklearmedizin des Klinikums Konstanz
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Freiburg im Breisgau

Radiologische Untersuchung und Betrachtung archäologischer Ausgrabungen und Funde

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Medizinischen Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Albert Ludwigs Universität
Freiburg im Breisgau

Vorgelegt 2005
Von Frans-Timon Schiller
Konstanz

Dekan	Prof. Dr. C. Peters
1.Gutachter	Prof. Dr. Dr. A. Beck
2.Gutachter	Prof. Dr. H. W. Heiss
Jahr der Promotion	2005

Inhaltsverzeichnis

<u>I. Einleitung</u>	1
<u>II. Material und Methoden</u>	3
1. Die Geschichte der Radiologie von ihren Ursprüngen bis zur heutigen digitalen Bildverarbeitung in CT und MRT	3
2. Geschichtlicher Kurzaufsatz der Entwicklung der Röntgenstrahlen in der medizinischen Anwendung	4
3. Konventionelle Röntgendiagnostik	5
4. Röntgenstrahlen und Röntgenröhre	7
5. Computertomographie	14
5.2 Konventionelle Tomographie	14
5.2. Computertomographie	15
5.2.1 Einzel-Detektor-Rotationsscanner (1. Generation)	16
5.2.2 Mehrdetektor-Rotations-Translations-Scanner (2. Generation)	17
5.2.3 Rotationssystem mit beweglichem Detektorsystem (3. Generation)	17
5.2.4 Rotationssystem mit stationären Detektoren (4. Generation)	18
5.2.5 Spiral CT	23
6 Magnetresonanztomographie (MRT)	24
7 Knochenfunde	25
7.1 Allgemein	25
<u>III: Hauptteil</u>	29
1. Untersuchung von Knochen des Bewegungsapparates	29
1.1 Frakturen	29
1.1.1 Klavikula re. u. li. , je mit verheilten Fraktur	29
1.1.2 Humerus li. Mit verheilten Fraktur	31
1.1.3 Tibia mit in Fehlstellung verheilten Fraktur	33

1.2 Knochendeformationen, degenerative Knochenveränderungen und Erkrankungen	35
1.2.1 Tibia re. proximal deformiert	35
1.2.2 Femur, Tibia und Fibula li. mit ankylosiertem Kniegelenk	37
1.2.3 Calcaneus und ankylosiertes Os Cuboideum li.	39
1.2.4 Becken, Femur, Tibia rechts und Links mit Sekundärgelenk und Atrophie links	41
1.2.5 3 Lendenwirbel u. 1 Halswirbel mit starken Osteophyten	44
1.2.6 Rechtes Becken mit kartilaginären Exostosen	47
1.2.7 Humerus, Radius, Ulna, li. mit degeneriertem Ellenbogengelenk	49
1.2.8 Humerus, rechts, rachitisch verkrümmt	51
1.3 Systemische Knochenerkrankungen	53
1.3.1 Allgemein	53
1.3.2 Osteomyelitis	54
1.3.2.1 Tibia und Fibula, links, Osteomyelitis	54
1.3.2.2 Femur rechts, Osteomyelitis	56
1.3.2.3 Tibia eines Säuglings, rechts und links Osteomyelitis	58
1.3.3 Periostitis	60
1.3.3.1 Tibia rechts Periostitis	60
1.3.3.2 Tibia Syphilitisch (tertiär)	62
1.3.3.3 Femur, links mit Auftreibung in der Unteren Schafthälfte	64
1.3.3.4 Femur links mit Zyste im Trochanter major	67
2. Untersuchung von Schädeln	70
2.1 Schädelfrakturen	70
2.1.1 Calvarium mit verheilten Fraktur im linken Schläfenbereich	70
2.1.2 Os frontale mit diskreter Impressionsfraktur	72
2.1.3 Schädel mit behandeltem Lochdefekt	74
2.1.4 Calvarium mit Trepanation	76
2.2 Kongenitale knöcherne Veränderungen und Erkrankungen des Schädels	79
2.2.1 Schädel mit fehlender Koronarnaht	79
2.2.2 Schädel mit prämaturner Nahtsynostose der Sagittalnaht	81

2.2.3 Schädel eines 2 ½ - 4 jährigen Kindes mit Hydrozephalus	83
2.3 Schädel mit noch vorhandenem Weichteilmantel	86
2.3.1 Peruanischer Mumien Schädel	86
 <u>IV. Diskussion</u>	 90
 <u>V. Zusammenfassung</u>	 99
 <u>VI. Abkürzungsverzeichnis</u>	 100
 <u>VII. Literaturverzeichnis</u>	 101
 <u>VIII. Abbildungsverzeichnis</u>	 106

I. Einleitung

Von frühester Zeit an faszinierte die Menschen der Gedanke, in verschlossene Behältnisse oder durch Wände hindurch sehen zu können. Dies sollte sich durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen (von ihrem Entdecker als "X-Strahlen" bezeichnet) durch Wilhelm Conrad Röntgen möglich werden. Zwar handelte es sich bei der Röntgenstrahlung um ein zufälliges Nebenprodukt, aber mit umso mehr Enthusiasmus und Forscherdrang wurde an deren Nutzung und Weiterentwicklung gearbeitet. Am Anfang stand das einfache und heute primitiv erscheinende, doch in seiner Form noch bis heute verwendete Summationsbild. Später kamen Schichtaufnahmen, die Computertomographie in all ihren Entwicklungsstufen und die digitale Bildverarbeitung, um nur einige Innovationen zu nennen, hinzu. Durch diese Errungenschaften wurde uns nicht nur endlich die Möglichkeit gegeben, durch "Wände" sehen zu können, sondern auch die Fähigkeit, die innere Struktur dieser "Wände" sichtbar zu machen.

Die vielfältigen oben genannten Techniken kommen nicht nur in der Medizin zur Anwendung, häufig kommen sie in Industrie, Forschung und auch in Bereichen, in denen man dies nicht erwartet, zum Einsatz.

Ob es sich dabei um die Röntgenkontrolle des Gepäcks am Flughafen handelt, die Suche nach Materialfehlern bei der Endkontrolle in der Produktion von LKW-Reifen oder bei der Echtheitsdiagnostik und Altersbestimmung von Kunstwerken, überall kommt die Röntgenstrahlung und Weiterentwicklung der damit verbundenen bildgebenden Verfahren zum Einsatz. Sie ist so zu einem mittlerweile unverzichtbaren Bestandteil unseres alltäglichen Lebens geworden.

Der Schwerpunkt dieser Anwendungen und der Entwicklung neuer Techniken liegt heute wie in der Vergangenheit Zweifels ohne in der Medizin.

Die hierbei verwendeten Techniken lassen sich aber auch in der Archäologie anwenden.

Sowohl in der Archäologie als auch in der Medizin steht der Mensch, mit seinen Lebensgewohnheiten, der Gesellschaft in der er lebt, bzw. gelebt hat, seinen Krankheiten, die ein Individuum oder auch ganze Völker prägen und prägten, im Mittelpunkt.

Mit Hilfe der Radiologie wird uns die Möglichkeit gegeben, Erkenntnisse und Fakten über äußerst empfindliche und zerbrechliche Funde, deren Innenleben und Strukturen zu erlangen, ohne diese dabei überhaupt antasten zu müssen. Kombiniert mit moderner Computertechnologie, können mit Hilfe der aus der Untersuchung gewonnenen Datensätzen dreidimensionale Bilder errechnet werden. Im Anschluss hieran können dann an den resultierenden virtuellen Objekten Schnittbilder oder auch weiter aufbauende Rekonstruktionen, wie zum Beispiel von Gesichtern, erfolgen.

In der Vergangenheit konnten auch mit Hilfe dieser radiologischen Techniken bei archäologischen Funden bereits Echtheitsnachweise geführt und Fälschungen entlarvt werden. Auch wurden mit Hilfe radiologischer Techniken Datierungen präzisiert und korrigiert.

Ziel dieser Arbeit ist es darzustellen, inwieweit mit Hilfe radiologischer Techniken und Methoden (konventioneller Art, computertomographisch, kernspintomographisch) neue Erkenntnisse oder Aussagen im Bezug auf archäologische Funde getätigt werden können.

II. Material und Methoden

1. Die Geschichte der Radiologie von ihren Ursprüngen bis zur heutigen, digitalen Bildverarbeitung in CT und MRT

Im November 1895 beobachtete der an der Universität Würzburg tätige Professor Conrad Wilhelm Röntgen bei seiner Arbeit für ihn unerklärliche physikalische Phänomene. Bei seinen Versuchen stellte er als Nebenprodukt einer Apparatur die Emission von X-Strahlen fest. Diese brachten, bei abgedunkeltem Raum, eine mit einer Chemikalie beschichtete Platte zum leuchten.

In der Folge entdeckte er die Fähigkeit der Strahlen, Materie zu durchdringen und dabei ein Negativbild der “durchleuchteten“ bzw. “durchstrahlten“ Objekte, abhängig von deren Dichte, auf der beschichteten Platte zu erzeugen.

Für diese Entdeckung wurde er 1901 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Kernpunkt seiner Entdeckung war, dass in evakuierten Gasentladungsröhren bei Anlegen einer hohen elektrischen Spannung, Kathodenstrahlen, welche durch ein Hindernis abgebremst werden, eine neue Art von Strahlen erzeugen.

Diese entstandenen Strahlen können Körper aller Art durchdringen, werden von diesen allerdings unterschiedlich stark absorbiert. In Abhängigkeit von der Absorption schwärzen sie chloresilberhaltiges Papier oder bringen einen Fluoreszenzschirm zum leuchten (32).

Diese Strahlen ließen sich weder durch Magnetfelder noch durch elektrische Felder in ihrer Ausbreitung beeinflussen, noch in irgendeiner Weise reflektieren.

2. Geschichtliche Übersicht über die Entwicklung der Röntgenstrahlen in der medizinischen Anwendung

- 1895 Entdeckung der Röntgenstrahlen durch C.W. Röntgen
- 1904 Wismutsalze werden als Kontrastmittel für Magen- Darmuntersuchungen eingesetzt (Hermann Rieder, "Rieder-Mahlzeit")
- 1905 Aszendierende Pyelographie und Zystographie erst mit Wismutsalzen, dann mit Collargol (Voelker und A. von Lichtenberg).
Bariumsulfat wird als Kontrastmittel eingeführt.
- 1910 Uretrographie (Cunningham, USA)
- 1918 Bronchographie (Chevalier, Jackson, USA)
- 1919 Enzephalographie durch Luftinsufflation
- 1923 Myelographie mittels Lipdol (J.A. Sicard, J.E. Forestier)
- 1924 Entwicklung der Hartstrahlen Technik (J. Gortan)
- 1927 Röntgenuntersuchung der Brust (Kleischmidt, Warren)
- 1930 Entwicklung der Drehanodenröhre (A. Bouwers, Holland)
- 1931 Arteriographie mittels Kontrastmittel (Dos Santos, Lamas, Caldas)
Angiokardiographie (W. Fossmann, Deutschland)
- 1936 Einführung der Schirmbildmethode (M. de Abreu, Brasilien)
- 1947 Entwicklung der retroperitonealen Gasfüllung (M. Ruiz Rivas, Spanien)
- 1949 Einführung der Portographie (A. de Souza Pereira)
- 1952 Einführung der Lymphographie (Kinmonth, England)
- 1953 Modifizierung der Arteriographie mittels Kathetertechnik (Seldinger, Schweden)
- 1971 Einführung der Computertomographie des Schädels (G.N. Hounsfield, USA)
- 1973 Entwicklung der Kernspintomographie (Lauterbur, USA)
- 1974 Einführung der interventionellen Radiologie (Margulis)

Tab. (1) Übersicht über die Entwicklung in der Radiologie (Kopie: A.Beck Röntgenstrahlen in der Archäologie, 1996, S22 Abb. III-2).

3. Konventionelle Röntgendiagnostik

Bei der Erstellung eines konventionellen Röntgenbildes bedient man sich auch heute noch genau dieser besonderen, oben genannten Eigenschaften der Röntgenstrahlung.

Diese erfahren beim Durchdringen von Materie eine verschieden starke Abschwächung, die entweder auf einer Photoplatte (siehe Abb.3) festgehalten (siehe Abb.1) oder bei modernen Verfahren in digitale Signale transformiert werden können.

Abbildung 1: Die Röntgendichte als Funktion der Objektdicke.
 Das hier durchstrahlte Objekt ist homogen zusammengesetzt und weist eine stufenartig zunehmende Dicke auf. Die grauen Schattierungen geben den Schwächungsgrad der Röntgenstrahlen an. Aus *Fundamentals of Radiography*, S. 6, 25. Eastman Kodak Co. Rochester, N.Y. .

Entscheidend für die Abschwächung der Strahlen sind die Dichte und die Dicke des durchstrahlten Objektes sowie die Zusammensetzung des Strahlengemisches. Dies gilt für alle Objekte, sowohl für belebte als auch unbelebte, somit also auch für archäologische Funde (2).

Die Röntgendichte ist bei einer Substanz eine Funktion ihrer Stärke (siehe Abb. 1). Bei unterschiedlichen Substanzen aber muss bei deren Vergleich von der relativen Röntgendichte gesprochen werden. Hiermit ist die, oben bereits erwähnte, bei konstanter Stärke und Form, unterschiedlich starke Absorption gemeint (siehe Abb.2).

Abbildung 2 Die Form und das Volumen der durchstrahlten Objekte bleiben konstant, aber die Zusammensetzung des Objektes ändert sich. Die Obere Reihe stellt die durchstrahlten Objekte dar, die darunter abgebildete Fläche gibt die resultierende Schwärzung des Röntgenfilms wieder (weißer Röntgenfilm bedeutet völlige Absorption der Strahlung, schwarzer Röntgenfilm bedeutet extrem strahlendurchlässig). Aus: Squire, Noveline, Radiologie, Grundlagen der klinischen Diagnostik, S. 9, 27, Schattauer Stuttgart, N.Y. 1993.

Radiologisch diagnostische Verfahren sind seit ihrer Entdeckung immer weiter entwickelt worden und haben somit dazu beigetragen, einer der wichtigsten Untersuchungsparameter bei der Einschränkung der Differentialdiagnose, oder gar der Diagnosestellung an sich zu sein.

Abbildung 3 : Querschnitt durch eine Röntgenfilmkassette
Aus: Fundamentals of Radiography, S.6,25. Eastman Kodak Co. Rochester N.Y. .

Anfangs beschränkte sich diese Diagnostik auf die knöchernen Strukturen, dies änderte sich jedoch mit der Weiterentwicklung und Verfeinerung der Untersuchungsmethoden. Heutzutage lassen sich auch beinahe alle Weichteile differenziert und in detail darstellen.

Auf diese Weise war es der Medizin möglich geworden, in den Menschen "hineinzusehen". Im heutigen Zeitalter der interventionellen Radiologie ist nun auch die Therapie des Patienten in das Arbeitsgebiet der Radiologie gelangt. So ist die hochentwickelte Kathetertechnik bei Gefäßerkrankungen als Standard anzuführen. Grundlage dieser gesamten, mittlerweile hochmodernen Technik ist, mit Ausnahme der Kernspintomographie, noch immer das Erzeugen einer Abbildung mit Hilfe von Röntgenstrahlen.

4. Röntgenstrahlen und Röntgenröhre

Entstehungsort der Röntgenstrahlen ist die Röntgenröhre. Heutzutage werden fast ausschließlich Coolidge-Röhren verwendet, welche aus einem hochevakuiertem Glaskolben bestehen ($<10^{-4}$ mbar). In diese sind die Glühkathode als Elektronenspender, meist eine hitzebeständige Wolframscheibe, sowie die metallene Anode eingearbeitet. Mittels eines Heizkreislaufes wird die Wolframscheibe auf 2000 Grad Celsius erhitzt, dabei treten aus ihr negativ geladene Glühelctronen aus. Da hierbei eine starke Erwärmung stattfindet, bis ca. 2000° C im Focus, muss die Anode vor Überhitzung geschützt werden. Aus diesem Grund besteht die Anode meist aus einer rheniumlegierten Wolframscheibe und ist zusätzlich rotierbar gebaut, oder kann von einer Flüssigkeit durchspült werden (siehe Abb. 4).

Ein Hochspannungstransformator sorgt dafür, dass zwischen Anode und Kathode eine sehr hohe Spannung entsteht, wodurch die aus der erhitzten Wolframscheibe austretenden Glühelctroden mit sehr großer Geschwindigkeit von der Anode angezogen werden. Dieser sogenannte Röhrenstrom kann nur ungehindert fließen, wenn es nicht zur Kollision mit Luftmolekülen kommt, was durch Vakuum verhindert werden soll.

Abb.4: Prinzip der Drehanodenröhre. Darstellung aus Einführung in die rad. Diagnostik, von P. Thurn und E. Bücheler S. 11.

- 1 = Glühkathode
- 2a = Anodenteller (Seitenansicht)
- 2b = Anodenteller (Aufsicht)
- 3 = Strichförmiger Brennfleck (in wirklicher Größe)
- 4 = Strichförmiger Brennfleck (bei Aufsicht auf den Anodenteller)
- 5 = Optisch wirksamer Brennfleck
- 5a = Vom Brennfleck beschriebene Ringfläche (bei Seitenansicht des Anodentellers)
- 6b = Vom Brennfleck beschriebene Ringfläche (bei Aufsicht des Anodentellers)

Beim Aufprallen der Glühelctronen auf der Anode werden diese abgebremst, wobei Röntgenstrahlen entstehen.

Mittels der Röhrenspannung kann man die Geschwindigkeit der Elektronen beeinflussen und damit die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen. Je größer die angelegte Spannung ist, desto tiefer ist die Eindringtiefe.

Übersicht über die unterschiedlichen Grade von Strahlung:

- 5 - 20 KV: überweiche Strahlung- 60 – 100 KV: mittelharte Strahlung- 100 – 250 KV: harte Strahlung (diagnostische Hartstrahlentechnik:
100 – 150 KV)- > 250 KV: ultraharte Strahlung |
|--|

Die von der Anode ausgehenden Röntgenstrahlen gehören dem Wesen nach zu den elektromagnetischen Schwingungen. Das Spektrum der elektromagnetischen Schwingungen erstreckt sich von Gamma- und Röntgenstrahlen, über sichtbares Licht, bis zu den elektromagnetischen Wellen der Nachrichtentechnik, wie Radar, Fernsehen oder Rundfunk.

Die Wellenlänge der Röntgenstrahlen liegt im Bereich von Angström (1 Angström = 10^{-10} m) und ist damit ausgesprochen kurz.

Von der Anode breitet sich die Strahlung geradlinig aus, wobei die Strahlenintensität mit dem Quadrat der Focusentfernung abnimmt. Wird also die Entfernung zur Strahlungsquelle verdreifacht, kommt es zu einer Abnahme der Intensität um das Neunfache (Abstandsquadratgesetz).

Abbildung 5: Übersicht über die vorkommenden Wellenlängen (Einheit: cm) im Bezug zum radiologisch diagnostisch verwendeten Wellenspektrum. (Kopie: A. Beck, Original oder Fälschung, 1990, S. Tab 20).

Eine weitere Eigenschaft dieser Bremsstrahlung ist, dass sie beim Durchdringen von Materie abgeschwächt wird. Hierfür sind in erster Linie die Absorptions- und Streuvorgänge an den Atomen des durchstrahlten Stoffes verantwortlich, wobei die Absorption eine vollständige Energieabgabe der Strahlungsquanten an die Atome bedeutet und die Streuung der einer Richtungsänderung des Strahls mit teilweiser Energieabgabe entspricht.

Diese besonders bei harten Röntgenstrahlen entstehende Streustrahlung tritt wiederum ungerichtet aus dem durchstrahlten Objekt aus und führt zu erheblichen Unschärfen des Röntgenbildes. In der konventionellen Röntgendiagnostik werden

aus diesem Grund fast ausschließlich Streustrahlenraster verwendet, welche zwischen Film und Objekt angebracht sind.

Feine Bleilamellen sind parallel oder auf den Focus gerichtet angeordnet, so dass sie lediglich die parallel zu ihnen einfallenden Strahlen durchlassen, die ungerichtete Streustrahlung jedoch absorbieren (Siehe Abb. 6)

Abbildung 6: Schematische Darstellung der Blendenvorrichtungen und Streustrahlenraster nach Eggert, (Abb. aus P. Thurn, E. Bücheler, Einführung in die rad. Diagnostik, 1992, S.23).

Von zentraler Bedeutung für die Schärfe der Abbildung von Objekten ist außerdem die Größe des Brennfleckes, welcher auf der Anode entsteht. Da jedes Röntgenbild eine Zentralprojektion darstellt, welche ihr Zentrum im Brennfleck hat und einem

Schattenbild gleicht, kann auch eine geometrische Unschärfe entstehen. Das Schattenbild wird umso unschärfer, je größer der Brennfleck ist und umgekehrt. Auf der anderen Seite darf der Brennfleck eine gewisse Größe nicht unterschreiten, da bei bestimmten Aufnahmen hohe Röhrenströme benötigt werden, und die Gefahr des Schmelzens der Anode besteht. Die Bündelung der Elektronen zu einem kleinen Strahl wird durch den Wehnelt-Zylinder, einer eng gewickelten Drahtspirale, erreicht. Diese Spirale umgibt die Strahlen wie ein elektronenoptischer Reflektor (33).

Viele Verfahren sind angewandt worden, um diesem Problem der geometrischen Unschärfe bei gleichzeitiger Gefahr der Anodenüberhitzung zu begegnen. 1922 entwickelte Otto Goetze eine Strichfokusröhre, deren Brennfleck von rechteckiger Form ist und auf einer schrägen Anodenfläche auftrifft. Durch die Schräge reduziert sich die größere Fläche des Focusses, welcher dadurch belastbarer wird, auf ein kleineres Quadrat des optisch wirksamen Brennfleckes. Die geometrische Unschärfe wurde bei der Vergrößerung des Brennfleckes nicht verschlechtert. Weiterhin wurde eine Doppelfokusröhre, eine Doppelwinkelröhre und die bereits weiter oben erwähnte Drehanodenröhre entwickelt.

Ebenso von Bedeutung für die Qualität des entstehenden Röntgenbildes ist der Abstand des Objektes vom Film. Je weiter das Objekt vom Film entfernt ist, umso stärker ist die resultierende Vergrößerung. Dies nennt man geometrische Unschärfe. Röhrennahe Gegenstände werden annähernd in der richtigen Form und scharf abgebildet. Gerade bei archäologischen Objekten ist durch die Form eines Geweihs zum Beispiel ein Bereich filmnah gelegen und damit scharf und nicht vergrößert, das andere Ende dagegen aber vergrößert und unscharf dargestellt (siehe Abb.7).

Abbildung 7: Zentralprojektion und Fokus-Objekt-Abstand. Bei gleichbleibender Entfernung des Fokus vom Objekt nimmt die Vergrößerung des Schattenbildes (a) bei großem Objekt-Film-Abstand im Vergleich zum Schattenbild (b) zu. Bei gleichbleibendem Objekt-Film-Abstand nimmt die Vergrößerung des Schattenbildes bei großer Entfernung des Fokus vom Objekt im Vergleich zum Schattenbild bei geringem Abstand ab (c)
 (Abb. aus: P. Thurn, E. Bücheler, Einführung in die rad. Diagnostik 1992, S.27).

5. Computertomographie

5.1 Konventionelle Tomographie

Mit Hilfe der konventionellen Tomographie können Röntgenbilder von Schichten eines untersuchten Patienten oder Objektes erstellt werden. Dieses Verfahren wird dann angewandt, wenn eine exakte Darstellung einer Struktur, ohne Überlagerungseffekte, die in der Verlaufsrichtung des Röntgenstrahls liegt, erforderlich ist. Bei diesem Verfahren sind jedoch nur die Strukturen gut erkennbar, die sich in der Ebene des Drehpunktes, des Röntgenstrahles, befinden. Andere Bereiche die vor oder hinter dem Drehpunkt liegen kommen oft nur verzerrt oder verwischt zur Abbildung (siehe Abb.8).

5.2 Computertomographie

Mit Erfindung der Computertomographie eröffnete sich sozusagen die dritte Dimension für die bisher zweidimensionale Röntgendiagnostik. Die Anfertigung von, in der Ebene frei wählbaren Querschnittebenen war hiermit möglich geworden. Die lästige Beeinträchtigung durch die am Rand entstehenden Verwischungseffekte am Rand des Röntgenbildes fällt weg. Dies bedeutet aber nicht, dass damit die konventionelle Schichtaufnahme überflüssig geworden ist. Sie wird nach wie vor zum Beispiel beim i.v. Pyelogramm angewandt.

Die Weiterentwicklung zum sogenannten Grenzfall des klassischen Transversalschichtverfahrens wurde besonders von Frank (1940), Takahashi (1975) und Heckmann (1968) mit photographischen Mitteln, sowie mit elektronischen Verfahren durch Gajewski und Linke (1971) vorangetrieben. Aber auch bei diesen weiterentwickelten Verfahren ist eine über das gesamte Bild verteilte Verschmierung aufgetreten und war lediglich für Objekte hoher Dichte zu gebrauchen, wie z.B. knöcherne Strukturen. Ambrose (1973) und Hounsfield (1973) gelang es schließlich durch fortlaufende Versuche, diese Bildunschärfen mittels der Entwicklung der Computertomographie zu beseitigen. (8)

Godfrrey N. Hounsfield bekam gemeinsam mit dem Physiker A.M. Cormarck 1979 für die Erfindung der Computertomographie den Nobelpreis verliehen.

Bei den ersten Gerätetypen konzentrierte sich die Anwendung vor allem auf den Schädelbereich und beschränkte sich auf eine lineare Abtastung mit anschließender Drehung des Meßsystems und Wiederholung der linearen Abtastung. Dieser Vorgang beanspruchte viel Zeit. Ebenso war die Bildberechnung mit langer Wartezeit verbunden, bis das zuerst eingesetzte Iterationsverfahren durch die weiter unten beschriebene Faltung abgelöst wurde.

Eine CT-Anlage besteht im Wesentlichen aus drei Elementen:

- Röntgenröhre
- Detektorsystem
- Rechner

Entscheidend ist, dass durch sogenannte Kollimatoren das Strahlenbündel auf eine dünne Schicht flächenhaft begrenzt wird und nur die interessierende Körperschicht durchstrahlt wird. Dieses fokussierte Strahlenbündel rotiert nun um das entsprechende Objekt und durchstrahlt die Schicht, die von Interesse ist, aus vielen unterschiedlichen Winkeln. Der gegenüber angebrachte Detektor erfasst die in den verschiedenen Projektionen unterschiedlich stark abgeschwächten Strahlen und setzt diese in elektrische Signale um. Diese werden über einen Analog-Digital-Wandler in den Computer eingegeben, durch welchen in etlichen Rechenschritten ein Querschnittbild erstellt wird. (21)

Es existieren mittlerweile vier verschiedene Generationen von Abtastungssystemen:

5.2.1 Einzel-Detektor-Rotationsscanner (1. Generation)

Durch Translationsbewegungen nach jeder Winkelbewegung und lediglich einem feinen Röntgenstrahl, sowie nur einer Detektorkammer, entstehen Scanzeiten von mehreren Minuten (siehe Abb.9).

5.2.2 Mehrdetektor-Rotations-Translations-Scanner (2.Generation)

Hier besteht bereits ein Fächerstrahl, welchem mehrere Detektoren gegenüber angeordnet sind. Translationsbewegungen sind noch erforderlich. Scanzeit ca. 6-20 min.(siehe Abb.10)

5.2.3 Rotationssystem mit beweglichem Detektorsystem (3.Generation)

Ein breiter Fächerstrahl erfasst das gesamte Objekt und erreicht ein Detektorfeld mit 200-2000 Einheiten. Beides rotiert um das zu untersuchende Objekt. Translationsbewegungen sind nicht notwendig. Scanzeit 1-4 sec. (Siehe Abb. 11)

5.2.4 Rotationssystem mit stationären Detektoren (4.Generation)

300-4000 Detektoreinheiten sind ringförmig angeordnet. Ein das gesamte Objekt erfassender Fächerstrahl rotiert innerhalb oder außerhalb dieses Detektorringes um das Objekt. Die Scanzeit beträgt ca. 3-8 sec. (siehe Abb.12)

Der Ablauf einer CT-Röntgenaufnahme gliedert sich immer in zwei Abschnitte. Zu Beginn muss ein Topogramm erstellt werden. Dies ist eine Röntgensummissionsaufnahme, bei welcher die Röntgenröhre in der Gantry festgestellt ist und der Tischvorschub kontinuierlich vorangeht. Somit erhält man ein Summationsbild, den konventionellen Röntgenaufnahmen entsprechend, in digitaler Technik hergestellt und ebenso durch Fenstereinstellung bearbeitbar. Je nach vorher bestimmter Röhrenposition sind ap-Projektionen oder Seitenansichten möglich.

Anhand dieses Topogramms besteht nun, mittels Computergraphik, die Möglichkeit, die Region und die genaue Ebene zu bestimmen, die dann mittels der Tomogramme untersucht werden sollen (siehe Abb.13).

Bei CT-Einheiten, die nach dem oben beschriebenen Rotationssystem mit beweglichem Detektor arbeiten, setzen sich die Strahlenfächer aus so vielen

Einzelstrahlen zusammen, wie es Detektorelemente gibt (das bei dieser Arbeit verwendete Gerät ist mit 768 Detektoren ausgestattet).

Der Strahlenabstand, d.h. das auf die Mitte projizierte Detektorraster, bestimmt wesentlich das Auflösungsvermögen und das Artefaktverhalten des Systems.

Prinzipiell werden zwei verschiedene Detektorsysteme verwendet, Festkörper-Detektoren und Gasdetektoren. Als weitere Systeme existieren Halbleiterelemente, die Röntgenstrahlen direkt in elektrische Signale umwandeln, welche aber wegen der hohen Kosten nicht zum Einsatz kommen.

Die Gasdetektoren bestehen aus nebeneinander angeordneten Ionisationskammern, welche meist das Edelgas Xenon enthalten. Bei dem Durchstrahlen dieser Kammern mit Röntgenstrahlen werden die Edelgasatome ionisiert und wandern zur entgegengesetzt polarisierten Elektrode. Der entstehende Signalstrom ist von drei Faktoren abhängig: der Röntgenstrahlenintensität, dem Gasdruck und der Länge der Ionisationskammer.

Für Festkörper werden in der Regel Szintillationskristalle verwendet. Diese Kristalle haben die Fähigkeit, absorbierte Röntgenstrahlen direkt in Lichtblitze umzuwandeln, welche dann durch Photowandler stark verstärkt werden und in elektrische Signale umgesetzt werden. Die Unterschiede der möglichen Kombinationen von Szintillationskristall und Photowandler bestehen vor allem in der Lichtempfindlichkeit und der Nachleuchtdauer. Diese bedingen unterschiedliche Weiterverarbeitungen. (21)

Nach der Erfassung der Messwerte, werden diese an die Rechneinheit weitergeleitet, in welcher die Bildberechnung erfolgt. Hierbei werden drei Berechnungsschritte durchlaufen:

- Vorverarbeitung
- Faltung
- Rückprojektion

Die Vorverarbeitung

Die Messwerte müssen für die Rechenschritte in eine geeignete Form umgewandelt werden. Dabei werden u.a. auch physikalisch bedingte Signalabweichungen (z.B. Aufhärtungseffekte) korrigiert. Erst diese korrigierten Daten werden als "Rohdaten" bezeichnet und können auf einem Datenträger gespeichert werden, wodurch jederzeit eine erneute Rekonstruktion möglich ist.

Die Faltung

Die Faltung ist mit einer Art Filterung zu vergleichen. Durch den sogenannten Faltungsallogarithmus kann der Bildcharakter beeinflusst werden. Kanten können betont oder abgerundet, die Bildschärfe kann erhöht oder verringert, bzw. das Rauschen im Bild verstärkt geglättet werden. Ohne Faltung würde das Bild mit weitreichenden Verschmierungen der Objektdetails dargestellt. Verschiedene Algorithmen sind in unterschiedlichen Organprogrammen befindlich und können so an die jeweilige Anforderung angepasst werden.

Die Rückprojektion

Die Rückprojektion ist der letzte Schritt des Bildaufbaus. Die gefalteten Absorptionsprofile werden entsprechend ihrer Winkelposition in die Bildmatrix rückprojiziert, d.h. auf die einzelnen Bildpunkte (Pixel) der Bildmatrix verteilt. Der

Anwender legt durch Wahl des Bildausschnittes (Zoom) und der Bildlage (Center) den jeweiligen Messfeldausschnitt fest. (21)

Die Bildqualität wird im Prinzip von der Anzahl der Quanten bestimmt, die die Detektoren als signalwirksame Einheit erreichen. Wie viele Quanten letztlich ein Detektor wahrnimmt hängt von folgenden Parametern ab: Dosis, Schichtdicke, Objektdurchmesser, Scanzeit und Hochspannung.

Sind aufgrund schlechter Bedingungen nur wenige Quanten in der Detektoreinheit angekommen, resultiert ein "Rauschen", das die Bildqualität beeinträchtigt. Je weniger Quanten zur Auswertung zur Verfügung stehen, umso ungenauer ist die Darstellung von Schwächungswerten. Wasser hat im Idealfall eine Dichte von 0 Hounsfieldeinheiten, was aber einem Mittelwert entspricht der, nach oben oder unten geringe Abweichungen aufweist. Die Abweichungen sind umso geringer, je mehr Quanten vorhanden sind. Um das Rauschen zu halbieren muss die Zahl der Quanten vervierfacht werden. Von größter Bedeutung für die Anzahl der von der Röntgenröhre produzierten Quanten ist die Hochspannung. Bei der Annahme eines konstanten mAs-Produktes werden bei 133 KV 100% Quanten ausgesandt. Wird die Hochspannung auf 85% gedrosselt, resultieren lediglich 20% der Quanten. (26/30)

Weiterhin wird die Bildqualität von der Fenstereinstellung beeinflusst, welche aber nichts mit den gespeicherten Bilddaten zu tun hat. Die Schwächungsskala umfasst einen Bereich von ca. 4000 Hounsfieldeinheiten, wobei definitionsgemäß Wasser bei 0, Luft bei -1000 und dichter Knochen oder Metalle bei +3000 HE angesiedelt sind. Diese Werte werden im CT als unterschiedliche Graustufen dargestellt, Da das menschliche Auge aber keine 4000 Graustufen unterscheiden kann, wird aus der Skala ein Teilbereich (Fensterbreite) herausgegriffen und diesem Bereich werden 256 Graustufen zugewiesen. Bei groß eingestellter Fensterbreite kommen mehrere CT-Werte mit einer Graustufe zur Darstellung. Bei kleinem Fenster lassen sich Dichteunterschiede von wenigen CT-Einheiten gut unterscheiden, die Information außerhalb des Fensters wird jedoch nicht dargestellt.

Je nach dem, ob eine Differenzierung sehr dichter Strukturen, (wie z.B. Knochen), oder sehr weichen Strukturen (wie z.B. Lungengewebe) erfolgen soll, wird die Lage des Fensters in höhere oder niedrigere HE-Bereiche verschoben. Der Anwender bestimmt selbst die Breite des Fensters, wie auch seine Lage.

Bei dem für dieser Arbeit verwendeten Gerät handelt es sich um den „SOMATOM PLUS 40“® der Firma Siemens (siehe Abb.14), ein CT der dritten Generation. Das Detektorsystem arbeitet nach dem Multifan Prinzip mit 1536 Messkanälen zur lückenlosen Datenerfassung, basierend auf einem selbstkollimierenden QUANTILLARC Detektor mit 768 mehrfachgenutzten Kammern. Es verfügt über einen MICRO-VAX Steuerrechner, einen DURAMATIC Hochfrequenzgenerator und eine Siemens DURA 352-Hochleistungs-CT-Röhre. Als Systemerweiterung ist ein RECON-PROCESSOR, sowie eine SPIRAL-DXP Funktion vorhanden. (21)

5.2.5 Spiral-CT

Bei der Spiraldarstellung handelt es sich um eine schnelle Volumenaufnahme mit lückenloser Datenerfassung bei kontinuierlichem Tischvorschub.

Das bedeutet: Die sich drehende Röhre ist für ein vorher definierten Zeitraum in Betrieb. Während dieser Zeit wird der Tisch langsam durch die Gantry gefahren, ebenfalls für einen genau festgelegten Bereich. Hierbei ergibt sich eine spiralförmige Bahn des Strahlenbündels und es wird ein Datenblock erhoben, ohne dass es dabei zu Lücken in dem gewonnenen Datensatz kommt. Bei der Rekonstruktion muss ein bestimmter Bildrekonstruktionsalgorithmus aus den Rohdaten einer spiralförmigen Konfiguration errechnet werden, die planaren Schichten entspricht. Dafür werden benachbarte Messdaten, welche aus gleicher Winkelposition entstanden sind, in den Rechenvorgang mit einbezogen, dieser Vorgang wird Interpolation genannt. Die Schichtpositionen und auch die Schichtdicken können bei der Rekonstruktion beliebig gewählt werden. Bei der Rekonstruktion werden die Abstände zwischen einzelnen Tomographien in Millimetern angegeben (Increment) und bestimmen die Präzision der dreidimensionalen Bilder. Je größer der Abstand, umso schneller erfolgt zwar die Rekonstruktion, aber desto ungenauer werden auch die Abbildungen. Da die Rekonstruktion im Anschluss an die eigentliche Aufnahme erfolgt, entsteht daraus für den Patienten kein wirklicher Nachteil durch längere Rekonstruktionszeiten. Diese tolerieren ohnehin oft schmerz- und zustandsbedingt keine sehr langen Untersuchungszeiten.

Ein weitere Funktion besteht in der Distanzmessung zweier frei wählbarer Punkte einer Schichtaufnahme. Bei früheren Versuchen, die Distanzen an einer Plexiglasschachtel auszumessen, sind einige Besonderheiten aufgefallen. Die Distanz-Funktion ist, während das dreidimensionale Bild aktiv ist, nicht aufrufbar. Wird ein gespeichertes 3D-Bild aufgerufen, kann zwar die Distanzmessung erfolgen, der Rechner gibt aber die Warnung aus, dass gemessene Distanzen nicht korrekt sein müssen.

Bei den Messungen in den Schichtbildern lag das Problem bei der genauen Positionierung der Messpunkte. Gewisse Ungenauigkeiten durch die Bedienung der Maus sind nicht vermeidbar. Es stellte sich ebenfalls als problematisch dar, bei dreidimensionalrekonstruierten Bildern die Ebene exakt horizontal zu positionieren.

6. Magnetresonanztomographie (MRT)

Bei der Magnetresonanztomographie, auch Kernspinresonanztomographie genannt, werden keine ionisierenden Strahlen wie bei konventionellen Röntgenaufnahmen oder der Computertomographie eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird der Patient oder das zu untersuchende Objekt in die Richtung eines sehr starken Spulenmagneten gelegt. Anschließend werden Radiowellen einer bestimmten Folge von sehr kurzen Impulsen in den Körper eingestrahlt. Jeder Impuls führt zu einem Antwortimpuls von Radiowellen, aus dem untersuchten Gewebe. Die Orte, von denen diese Signale ausgehen, werden durch einen angeschlossenen Computer berechnet. Dieser errechnet anschließend ein zweidimensionales Bild einer zuvor festgelegten Ebene, im Sinne einer Schichtaufnahme. Auch hier kann, wie beim CT, die räumliche Schicht frei gewählt werden. Es können transversale, sagitale und koronale Schichten, sowie alle Arten gewünschter Schrägschichten angefertigt werden.

Die 1946 von Bloch u. Purcell entdeckte Kernspinresonanz beruht darauf, dass Wasserstoffkerne (Protonen), die in einem Magnetfeld ausgerichtet sind, elektromagnetische Wellen definierter Frequenzen absorbieren. Dabei wird ihre Ausrichtung zum äußeren Magnetfeld gestört (siehe oben), bei der Rückkehr in den ursprünglichen Zustand senden die Wasserstoffkerne ihrerseits messbare elektromagnetische Signale aus (23). Diese werden in Oben beschriebener Weise registriert.

Für die Kernspintomographie besitzen nur Elemente eine Bedeutung, die im Kern unpaare Nukleonen aufweisen, z.B. Wasserstoff, Kohlenstoff, Fluor, Natrium und Phosphor. Außer dem Wasserstoff sind alle Elemente in so geringer Konzentration im menschlichen Organismus zu finden, dass sie sich nicht zur bildhaften Darstellung ihrer Verteilung eignen; zur Zeit werden ausreichend kontrastreiche Abbildungen nur mit Wasserstoff erzielt (13).

Genau hier liegt das Problem bei der Untersuchung archäologischer menschlicher oder tierischer Funde. Bedingt durch das Alter der Funde, haben diese einen solchen Austrocknungsgrad und damit einen so geringen Gehalt an Wasserstoff Ionen, dass bei allen Versuchen, eine Darstellung der Objekte im Kernspin zu erlangen, keine verwertbare Signalerfassung möglich war.

7. Knochenfunde

7.1 Allgemein

Knochenfunde spielen in der Archäologie eine bedeutende Rolle. Vorwiegend sind sie die einzigen körperlichen Rudimente der damals lebenden Menschen. In welcher Art und welchem Zustand sich diese auch immer befinden, geben sie doch meist mehr Auskunft über die Zeit und ihre Geschichte, aus der sie stammen, als man zunächst annehmen sollte. Viele sind, durch lange Liegezeiten an für Funde ungünstigen Orten, in einem sehr schlechten Zustand, andere wiederum sind in unerwartet gutem Zustand und sogar wie z.B. im Falle von Mumien mit dem dazugehörigen Weichteilmantel oder wenigstens mit Resten desselben umgeben. Meist ist es jedoch so, dass einzelne Knochen, oder aus ihnen gefertigte Werkzeuge, gefunden werden. Die besonderen Eigenschaften des Knochens bedingen, dass er erstens für die Herstellung von Werkzeugen oder Schmuck besonders geeignet ist, zweitens bleiben aufgrund dessen sämtliche "Spuren" der Geschichte über Jahrtausende erhalten.

Knochen eignet sich bestens für die Untersuchung mittels radiologischer Methoden. Dieser war seit Beginn der Entwicklung röntgenologischer Geräte, eines der Hauptziele in der bildgebenden Diagnostik bezogen auf Krankheitsverlauf, Nachweis, Diagnoseausschluss und Therapie. Aufgrund dessen, sowie der großen Erfahrung und vielfältigen, spezifischen Untersuchungsmethoden der Radiologen auf diesem Gebiet, bieten sich gerade hier vielfältigste Möglichkeiten und Ansatzpunkte der Zusammenarbeit mit Archäologen und Historikern. Häufig sind die Aussage bzw. die Beurteilung und das Wissen des Archäologen unabdingbar.

Zum Beispiel kann allein der Archäologe bei einer in Erde eingeschlossenen, stark verrosteten Eisenfibel auf dem Röntgenbild im Gewirr der vielen störenden "Nebensächlichkeiten" den Typus exakt erkennen. Nur er weiß um den Wert gerade dieser vielleicht in chronologischer Hinsicht wichtigen Aufnahme. Es handelt sich dabei ja auch um "sein" Fundmaterial (7). Allein er kennt die Historie und die Fundstelle, die entscheidende Hinweise für die Interpretation des Fundes und seines Bildes geben.

Die Größe und die Form der verschiedenen Knochen des Skeletts sind ausgesprochen variabel und können durch den Stoffwechsel des Knochengewebes unterschiedlichen Anforderungen angepasst werden. Größere Belastung zieht einen vermehrten Knochenumbau nach sich und ermöglicht damit eine rasche Anpassung z.B. an veränderte Lebensgewohnheiten. Dieser Prozess spiegelt sich am deutlichsten in der Kortikalis wieder, da sie den am stärksten belasteten Teil des Knochens darstellt.

- 1 = Der im Röntgenbild sichtbare Gelenkspalt
- 2 = Knorpelige Epiphyse
- 3 = Gelenkknorpel
- 4 = Anatomischer Gelenkspalt
- 5 = Epiphysenkern
- 6/7 = Kortikalis an der Metaphyse und Knorpelgrenze
- 8 = Periost
- 9 = Kompakta der Diaphyse
- 10 = Spongiosa

Abbildung 15: Schema des Gelenkspaltes beim Kind (Abb. aus: P. Thurn, E. Bücheler, Einführung in die rad. Diagnostik 1992, S. 55).

Strukturell wird der Knochen in vier Ordnungen eingeteilt:

Die Struktur erster Ordnung unterteilt den Knochen in vier verschiedene Abschnitte.

1. Die Epiphyse: Der gelenknahe von Knorpel überzogene Bereich.
2. Die Epiphysenfuge: Diese schließt sich der Epiphyse direkt an. Im Wachstumsalter geht von hier das Längenwachstum aus. Nach Wachstumsabschluss verschließt sich die Epiphysenfuge.
3. Die Metaphyse: Schließt sich der Epiphyse an.
4. Die Diaphyse: Entspricht dem längsten Anteil der langen Röhrenknochen und bezeichnet die Schaftmitte.

Die Struktur zweiter Ordnung beschreibt das mechanische Konstruktionsprinzip der Knochen. Osteoblasten legen baumrindenartig immer neue Knochenschichten vom Periost aus an und führen dadurch zum Dickenwachstum (das Längenwachstum erfolgt, wie oben bereits erwähnt, durch die Epiphysenfugen). Ab ca. dem zweiten Lebensjahr entwickelt sich eine weitere Baueinheit, die Haverschen Osteone. Diese entstehen dadurch, dass axial verlaufende Havers-Blutgefäße durch Ringlamellen umgeben und teilweise auch ersetzt werden.

Somit entsteht ein dreischichtiger Aufbau der Kompakta, mit endostaler Ringschicht (= innere Generallamelle), einer Mittelschicht aus Haverschen Osteonen und einer subperiostalen Ringschicht (äußere Generallamelle). Die einzelnen Haverschen Kanäle werden durch Kollagenfibrillen zusammengehalten.

Die Struktur dritter Ordnung bezeichnet den mikroskopischen Bereich mit der Osteoklasten- und Osteoblastenaktivität.

Die Struktur vierter Ordnung fasst die Baustoffe des Knochens zusammen.

Die Ossifikation schließlich erfolgt in verschiedenen Wachstumsphasen. Beim Feten beginnt das Knochenwachstum mit der desmalen Ossifikation, der direkten Umwandlung von Bindegewebe in Knochen. Im weiteren Verlauf der Fetalperiode setzt die perochondrale Ossifikation ein, wobei, wie oben beschrieben, um die angelegten Knorpelstränge Knochengewebe gebildet wird. Ihr folgt die enchondrale Ossifikation, das von den Epiphysen ausgehende Wachstum bis zum Abschluss des

Längenwachstums. Für den Rest des Lebens bleibt die endostale Ossifikation erhalten, sie entspricht einer geregelten Knochenerneuerung mit Ab- und Aufbau der oben beschriebenen Osteonen (1,21)

77% des Knochens ist anorganisches Material und besteht aus 90% Kalziumphosphat und 10% Kalziumkarbonat. Das enthaltene Kalzium wird in Form von Hydroxylapatitkristallen in die Knochenmatrix eingelagert.

Der anorganische Anteil beträgt 23% und wird als Osteoid bezeichnet. Dieses besteht wiederum aus 89% Kollagen und 5% Protein, welches von Osteoblasten gebildet wird. Löst man durch Säurebehandlung die anorganischen Bestandteile heraus, bleibt lediglich eine biegsame, elastische Substanz zurück. Die hohe Festigkeit von Knochen ist durch die anorganischen Bestandteile bedingt.

In der Archäologie ist dieser Umstand von großer Bedeutung. Es wird versucht, aufgrund des Mineralgehaltes Wildtierknochen von Haustierknochen zu unterscheiden. Haustiere werden in der Regel einseitiger ernährt und sind viel weniger belastet, die Knochenmatrix wird weniger mineralisiert und der Knochen ist letztlich somit weniger fest.

Weiterhin wird der Mineralgehalt von im Erdreich gelagerten Knochenmaterialien, je nach Beschaffenheit der Bodenzusammensetzung, im Laufe der Zeit verändert. Die organischen Bestandteile werden allmählich zerstört, gleichzeitig beginnen verschiedene Mineralien der Umgebung in den Knochen einzuwandern und es kommt letztlich zu einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung. Hieraus wurde auch eine Datierungsmethode zur Altersbestimmung von Knochenfunden entwickelt, die sogenannte "Kollagenmethode" (27).

Es zeigte sich ferner, dass für die Dichtemessung des Knochens im CT das Alter und Zustand des Knochens keine wesentliche Rolle spielen.

Die gemessenen Werte, für die Dichte der Kompakta, lagen durchweg um die 2000 HE (21).

III. Hauptteil

1. Untersuchung von Knochen des Bewegungsapparates

1.1 Frakturen

Frakturen stellen in ihren vielfältigen Varianten die Kontinuitätsunterbrechung eines Knochens dar. Die häufigste Ursache hierfür ist eine, meist einmalige, große Gewalteinwirkung.

1.1.1 Klavikula, rechts und links, je mit verheilter Fraktur

Bei diesen beiden Funden handelt es sich um die rechte und die linke Klavikula eines Menschen, beide mit verheilter Fraktur. Bei beiden findet sich eine fixierte und solide knöcherne Verbindung mit Dislocatio ad longitudinem und ad latum. Die Verkürzung ist nicht wesentlich, aber doch deutlich makroskopisch, wie auch radiologisch, erkennbar.

Ob diese Verletzungen zum selben Zeitpunkt erlitten wurden, lässt sich aus den Funden leider nicht beurteilen. Beide Frakturen sind ihrer Art ähnlich und befinden sich rechts wie links in der Schaftmitte, mit einer Übergangszone nach lateral. Dies ist die schwächste Stelle der Klavikula und stellt auch eine der häufigsten Formen ihrer Frakturen dar.

Die Ursache ist meist der Sturz auf den ausgestreckten Arm (z.B. Reitunfall), seltener die direkte Gewalteinwirkung. Es kommt meist zu einer Verkürzung, einem Absinken der Schulter und Höbertreten des zentralen Fragmentes durch Zug des M. Sternokleidomastoideus (16).

Radiologisch zeigen sich in Fehlstellung verheilte, knöchern gut durchbaute Frakturen der Klavikula beidseits.

Die fleckförmigen Verdichtungen im Bereich des Markraumes sind auf eingebrachte Verschmutzungen während der Liegezeit im Erdreich zurückzuführen.

Ansonsten zeigen sich keine Auffälligkeiten. Es gibt auch keinen Anhalt dafür, dass es sich um pathologische Frakturen handelte.

Abbildung 16: Klavikula re. u. li. Z.n. Fraktur.

Abbildung 17: Klavikula re. u. li. Z.n Fraktur (konventionell).

1.1.2 Humerus, links mit verheilte Fraktur

Der Humerus zeigt deutlich makroskopisch und radiologisch eine stattgehabte, verheilte Fraktur. Diese weist eine geringfügige Dislokatio ad longitudinem, ad latum und ad axim auf.

Verkürzung und Seitverschiebung sind im Verhältnis zur Achsabweichung nicht so deutlich. Die Achsabweichung beträgt ca. 12-14°. Die Fraktur ist allseits knöchern gut durchbaut. Es gibt keinen Hinweis auf eine konsekutive Atrophie, was als Ausdruck einer guten Beweglichkeit und Nutzung der Extremität nach Verheilen der Fraktur gedeutet werden kann.

Da sich auch kein Hinweis auf eine Pseudarthrose findet, scheint die Fraktur damals einigermaßen, nach den damaligen gegebenen Mitteln sogar gut reponiert und ruhiggestellt worden zu sein.

Diese Art von Fraktur entsteht meist durch Einwirkung direkter Gewalt, seltener durch unkoordinierte, mit großer Kraft durchgeführte Bewegungsabläufe (Wurf- bzw. Schleuderbewegungen).

Eine unvollständige Reposition (wie auch hier), mit Ausnahme stärkerer Rotationsfehler, kann leicht durch den großen Bewegungsumfang im Schultergelenk und auch im Ellenbogengelenk wieder kompensiert werden (16).

Radiologisch zeigen sich keine weiteren Auffälligkeiten, kein Hinweis auf einen pathologischen Hintergrund der Fraktur oder anderes pathologisches Geschehen.

Abbildung 158: Humerus li. Z.n. verheilte Fraktur.

Abbildung 19: Humerus li. Z.n. verheilte Fraktur (konventionell).

1.1.3 Tibia mit in Fehlstellung verheilte Fraktur

Durch die wenig geschützte Lage ist die Tibia für jegliche Art von Verletzungen, insbesondere für Frakturen exponiert.

Bei dieser Tibia zeigt sich eine deutliche Fehlstellung im Sinne einer Dislokation ad Longitudinem cum Contraktionem (Verkürzung) sowie ad Latum um etwa eine halbe Schaftbreite. Die Achse ist, soweit das bei der Fehlstellung beurteilbar ist, nicht verändert.

Wenn es zur Fraktur der Tibia kommt, insbesondere wie in diesem Fall mit einer deutlichen Dislokation, ist häufig von einer Mitbeteiligung der Fibula auszugehen. Es lässt sich an diesem Fund ein deutlicher Hinweis auf eine Pseudoarthrose zur, bzw. sehr wahrscheinlich mit der Fibula im Bereich der lateralen Bruchkante des distalen Fragmentes erkennen. Die dazu gehörige Fibula lag zur Untersuchung leider nicht vor.

Radiologisch betrachtet ist die Fraktur knöchern gut durchbaut; es besteht im Frakturbereich kein Hinweis für eine Atrophie oder eine Pseudoarthrose.

Dem Bild nach ließ sich die Fraktur nicht einwandfrei reponieren, eine Heilung mit einer offensichtlichen konsekutiven Beinverkürzung wurde dennoch erlangt. Die Ausprägung der knöchernen Durchbauung und der deutlich, auch makroskopisch gut erkennbare Anteil der Pseudoarthrose an der medialen Bruchkante, lassen auf eine längere Lebensdauer nach dem Trauma schließen (35).

Abbildung 20: Tibia mit in Fehlstellung verheilte Fraktur.

Abbildung 21: Tibia mit in Fehlstellung verheilte Fraktur (Konventionell).

1.2 Knochendeformationen, degenerative Knochen-Veränderungen und Erkrankungen

Häufig sind Veränderungen des Knochens degenerativ durch stärkere Abnutzung, sei dies endogen, durch Fehlenwicklung, durch Wachstumsstörung, oder aber auch exogen, als direkte oder indirekte Folge einer Fraktur durch Fehlbelastung bedingt. Diese können häufig auch durch lokale oder systemische Infektion bedingt sein.

Das Spektrum der knöchernen Entwicklungsstörungen und Fehlbildungen ist äußerst groß und komplex. Die Möglichkeiten der Behandlung sowie der Früherkennung waren in der Vergangenheit, aufgrund mangelnden Wissens, nicht Vorhandensein moderner Untersuchungsmethoden, des Fehlens von Behandlungsmöglichkeiten und vielförmigster Erscheinungsformen äußerst gering. Dies gilt, trotz unserer heutigen modernen medizinischen Methoden und Verfahren, zum Teil bis in unsere heutige Zeit hinein.

1.2.1 Tibia, rechts, proximal deformiert

Die Deformitäten und Destruktionen im Kniegelenksbereich dieser rechten Tibia könnte man makroskopisch ausschließlich für lagerungsbedingte Artefakte halten. Bei der radiologischen Untersuchung zeigt sich aber, dass es sich bei den gelenknahen Randanbauten um knöcherne Strukturen handelt. Die Gelenkfläche beider Kondylen ist völlig zerstört und fällt nach medial ab. Die Ausmaße der osteophytären Anbauten sowie der Gelenkdestruktion deuten auf eine schwere durchlebte Gonarthrose hin. Rückschlüsse auf die Genese der Erkrankung lassen sich aus dem Röntgenbild leider nicht ziehen, da sich radiologisch sonst keine Auffälligkeiten oder pathologischen Veränderungen zeigen. Es lassen sich auch keine Hinweise auf eine Fraktur, insbesondere im Kniegelenksbereich der Tibia finden. All dies deutet auf eine schwere Gonarthrose nach einem Infekt hin. Eine Gonarthrose als Folge einer Achsenfehlstellung des Beines (oder der Beine) ist eher unwahrscheinlich da beide Kondylen (so beurteilbar) in etwa gleich betroffen sind. Da in diesem Fall aber leider weder der Knochen selbst vollständig erhalten ist, noch die

übrigen Skelettanteile zur Untersuchung vorlagen, ist eine definitive Aussage sehr schwierig.

Ein solcher Befund wäre bei sehr resistenten Erregern sogar auch heute noch möglich bzw. nicht vermeidbar. Dem Patienten würde heute, nach vollständiger Behandlung und Ausheilung des Infektes, sicherlich als Therapie die Implantation eines künstlichen Kniegelenkes angeboten werden.

Diese Aussage ist wohl für die meisten degenerativ oder aus anderen Gründen zerstörten Gelenke gültig. Mit Hilfe der heutigen modernen Medizin sind ein derartiger Verschleiß und eine derartige Destruktion oft schon im Vorfeld besser beherrschbar. Die Ausmaße lassen sich geringer halten und im äußersten Falle die Folgen einer solchen Destruktion für den Patienten erträglicher gestalten.

Für die vorzeitliche oder mittelalterliche Bevölkerung standen eher das Überleben an sich, sowie die Möglichkeit mit einer solchen Einschränkung, sein Leben weiter bestreiten zu können, im Vordergrund.

Abbildung 22: Tibia re. proximal deformiert, Streufund Stetten LB 36.

Abbildung 23: Tibia re. proximal deformiert, Streufund Stetten LB 36 (konventionell).

1.2.2 Femur, Tibia und Fibula links mit ankylosiertem Kniegelenk

Eine Ankylose stellt eine knöcherne oder kapsuläre Gelenkversteifung mit vollständigem Bewegungsverlust dar (23). Die Gründe hierfür können vielfältig sein. Als Ursache kommen, wie oben bereits erwähnt, posttraumatische, degenerative Gründe oder Infektionen in Frage. Der Körper versucht, ein schmerzhaftes, geschädigtes Gelenk mit eigenen Mitteln ruhig zu stellen.

Sehr häufig ist, wie auch in diesem Fall, das Kniegelenk betroffen. Es lassen sich auf den vorliegenden Röntgenaufnahmen sehr gut, sowohl im femoralen Anteil als auch im tibialen Anteil des Kniegelenkes die völlige Destruktion desselben erkennen. Das proximale Drittel der Tibia ist aufgetrieben und verdichtet. Die Kortikalis der Fibula ist unregelmäßig und weist starke Schwankungen in ihrer Stärke auf. Die fleckförmigen Verschattungen im Verlauf der Fibula sind als eingebrachte Verschmutzungen aus der Liegezeit im Erdreich zu deuten.

Das Gesamtbild kann als Hinweis auf eine akute infektiöse Genese der Zerstörung des Gelenkes im Sinne einer Arthritis gewertet und gedeutet werden. Der distale Anteil der Tibia ist als unauffällig zu betrachten. Der proximale Anteil des Femurs ist leider nicht vorhanden, in Anbetracht des Zustandes des verbleibenden Knochens scheint es sich dennoch um einen lokalen auf das Kniegelenk beschränkten Prozess gehandelt zu haben.

Abbildung 24: Femur, Tibia, Fibula li. ankylosiertes Kniegelenk.

Abbildung 25: Femur, Tibia, Fibula li. ankylosiertes Kniegelenk (konventionell).

1.2.3 Linker Calcaneus u. ankylosiertes Os cuboideum

Wie oben bereits erwähnt, stellt eine Ankylose eine knöcherne Einsteifung eines Gelenkes mit Aufhebung der Beweglichkeit in selbigem dar. In diesem Fall befindet sich diese Einsteifung im Bereich des linken Fußes. Ankylosen in diesem Bereich sind häufig auf eine Arthrose oder eine Überbelastung der Fußwurzelknochen, bedingt durch eine Fußfehlhaltung oder Fußdeformität, zurückzuführen. Hierbei kommt es zu einem übermäßigen Gelenk-Verschleiß, in der Folge kann es dann zur Arthritis, also zur Entzündung und im Laufe der Entzündungsreaktion zu einem "Verbacken" des betroffenen Gelenkes kommen.

Das Gelenk zwischen Calcaneus und Os Cuboideum ist bei dieser Art der Schädigung bei Männern deutlich häufiger betroffen als bei Frauen.

Hierbei dürfen aber familiäre Prädisposition, Lebensbedingungen und Betätigung, die zu einer besonderen Beanspruchung bestimmter Gelenke führen (wie z.B. Arbeiten

in gebeugter Haltung oder das Tragen schwerer Lasten), nicht außer Acht gelassen werden (17).

Makroskopisch ist schon sehr gut zu erkennen, dass hier keine flächige Verbindung beider Knochen stattgefunden hat, sondern zwei knöcherne Brücken entstanden sind. Radiologisch sind beide unauffällig. Es finden sich keine zystischen Veränderungen, keine erhöhte Strahlentransparenz, sowie keine Arosionen.

Abbildung 26: Calcaneus u. ankylosiertes Os Cuboideum li.

Abbildung 27: Calcaneus u. ankylosiertes Os Cuboideum li. (konventionell).

1.2.4 Becken, Femur, Tibia rechts und links mit Sekundärgelenk und Atrophie links

Bei Luxationen sowie bei Frakturen, bei denen die regelrechte Funktion und / oder Geometrie eines Gelenkes durch ein Trauma oder eine anderweitige Zerstörung aufgehoben ist, kann es, wenn keine Wiederherstellung der ursprünglichen Verhältnisse erfolgt, zur Entstehung eines sogenannten Sekundärgelenkes kommen. Das heißt, dass es zur Bildung eines "neuen" Gelenkes an der fehlerhaften oder destruierten Stelle kommt.

Da dieses "neue" Gelenk nicht die Eigenschaften im Bezug auf Funktionalität, Beweglichkeit und Belastbarkeit des ursprünglichen Gelenkes besitzt, kommt es wie in diesem Fall in der Folge zu einer Atrophie der deshalb schlechter und weniger beweglichen und einsetzbaren abhängigen Gliedmaße.

Bei dem vorliegenden Objekt kam es zu einer Destruktion des linken Hüftkopfes. Die Gründe hierfür können vielfältig sein. Es kommen ideopatische, systemische sowie exogene Ursachen für die Zerstörung in Betracht.

Die Lokalisation könnte für eine knöcherne Manifestation einer Tuberkulose sprechen, da diese am häufigsten das Hüftgelenk, das Kniegelenk oder die Wirbelsäule betrifft.

Der Hüftkopf ist nicht mehr vorhanden, so dass die Artikulation durch das verbliebene Schaftende übernommen wurde. Die oben bereits erwähnte Atrophie der übrigen knöchernen Bestandteile des linken Beines ist deutlich erkennbar.

Radiologisch zeigt sich auch eine erhöhte Strahlentransparenz der linken im Vergleich zur rechten Seite, da es inaktivitätsbedingt zu einem verringerten Knochenstoffwechsel mit geringerem Aufbau von Knochen gekommen ist.

In der Schaftmitte des linken Femur sind zwei Fissuren, die aufgrund ihrer Areaktivität aber nicht intravital entstanden sind, zu erkennen.

Die übrigen knöchernen Strukturen zeigen keine weiteren Auffälligkeiten oder pathologischen Veränderungen.

Abbildung 28: Becken, Femur, Tibia re. + li. Sekundärgelenk u. Atrophie li. .

Abbildung 29: Becken re. + li. , Tibia re. + li. Sekundärgelenk + Atrophie (konventionell).

Abbildung 160: Femur re. + li. Sekundärgelenk + Atrophie (konventionell).

1.2.5 Drei Lendenwirbel u. ein Halswirbel mit starken Osteophyten

Osteophyten sind vom Periost ausgehende, umschriebene, meist reaktive Knochen-Neubildungen in Form von Spangen, Höckern, Randzacken oder flächenhaften Auflagerungen, wie es an diesen Objekten gut sichtbar sind. Ursache für die Bildung solcher Osteophyten sind häufig entzündliche, degenerative aber auch traumatische Prozesse (23). Der Körper versucht mit dieser Maßnahme eine schmerzhafteste Beweglichkeit, wie zum Beispiel bei einer Arthrose, einzuschränken.

Es gehört sicher zu den Tributen, die der Mensch für seinen aufrechten Gang leisten muss, dass die Wirbelsäule einer stärkeren Belastung und Degeneration unterworfen ist, als es bei anderen Säugern mit nicht aufrechtem Gang. Hinzu kommt, dass eine rückenbelastende Tätigkeit ein weiterer Faktor für die Belastung der Wirbelsäule und ihrer Komponenten darstellt.

Auf den Röntgenbildern sind die Wirbelkörper in ihrer eigentlichen Form bzw. Größe kaum noch zu erkennen. Sie erscheinen deutlich höhengemindert und durch die osteophytären Randanbauten verbreitert. In der Aufsicht erkennt man gut den eigentlichen Umfang der Wirbel und die Ausmaße der Anbauten. Eindrücklich sind die degenerativen Veränderungen auch am Halswirbel an seinen veränderten Tuberkula, den verengten Foramina proc. transversi, durch welche die Vertebral-Arterie verläuft, sowie des rechten Processus articularis erkennbar.

An den drei Lendenwirbeln zeigt sich ein ähnliches Bild unterschiedlicher Ausprägung, ein Teil der Fortsätze fehlt oder ist während der Liegezeit in der Erde beschädigt worden. Hinweise auf Frakturen oder andere schwere Traumata sind nicht vorhanden.

Abbildung 31: Einzelner Lendenwirbel mit starken Osteophyten.

Abbildung 32: 3 Lendenwirbel mit starken Osteophyten (konventionell).

Abbildung 33: Halswirbel mit starken Osteophyten.

Abbildung 34: Halswirbel mit starken Osteophyten (konventionell).

1.2.6 Rechtes Becken mit kartilaginären Exostosen

Die Ekchondrosis ossifikans ist eine androtrope Erkrankung mit zum Teil bereits kongenital vorgebildeten Knorpelwucherungen (Ekchondrosen), die später verknöchern. Erste klinische Manifestationen kommen schon meist in der Pubertät (stärkerer Wachstumsschub) vor. Die Veränderungen finden sich vor allem an langen Röhrenknochen im Metaphysenbereich, die Epiphyse ist stets frei. Diese Wucherungen können eine erhebliche Größe erreichen. Symptome sind Nervenirritationen durch Druck, Störung der Muskelfunktion, evtl. Knochen-Wachstumsstörung u. Knochendeformierung (23).

Der Befund am vorliegenden Objekt hat keine besonders große Ausdehnung ist aber dennoch deutlich als verknöcherte kartilaginäre Exostose o. Ekchondrose erkennbar. Es handelt sich auch nicht um die oben beschriebene, typische Lokalisation. Da aber keine weiteren Knochen des Individuums zur Untersuchung vorlagen, lässt sich über das eigentliche Ausmaß der Erkrankung keine Aussage machen. Die Wucherungen entlang der Crista Iliaca sind von erhöhter Strahlentransparenz. Die Defekte an der Crista sowie an dem übrigen Knochen sind nicht auf die Erkrankung zurückzuführen, sondern sind postmortal entstanden. Da bei dieser Erkrankung die Veränderungen zumeist symmetrisch auftreten, ist davon auszugehen, dass die Gegenseite einen ähnlichen oder gleichen Befund aufweist.

Der übrige Knochen zeigt radiologisch keine Veränderungen oder Hinweise auf pathologische Veränderungen.

Obwohl die Erkrankung deutlich häufiger beim männlichen Geschlecht auftritt, gibt es einen Bericht über einen Grabungsfund von einem mittelalterlichen Friedhof in Dänemark. Dort wurde eine Schwangere mit ihrem ungeborenen Kind gefunden, bei der die knöchernen Wucherungen im Beckenbereich durch ihre Ausmaße die Geburt des Kindes unmöglich gemacht hatten und so zum Tod von Mutter und Kind führten (31).

Abbildung 35: Becken re. mit kartilaginären Exostosen.

Abbildung 36: Becken re. mit kartilaginären Exostosen (konventionell).

1.2.7 Humerus, Radius, Ulna, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk

Bei dem vorliegenden Objekt ist eine extreme Degeneration des linken Ellenbogengelenkes zu erkennen.

Ursache der Destruktion ist sehr wahrscheinlich ein lokaler Infekt des Ellenbogengelenkes mit knöcherner Beteiligung, wie zum Beispiel einer Arthritis oder einer weitergeleiteten Bursitis.

Am Humerus ist hauptsächlich die Gelenkfläche betroffen, diese ist wellig aufgeworfen und zeigt starke Arosionen, vor allem am Epikondylus lateralis. Die Trochlea Humeri ist nahezu völlig aufgebraucht. Radiologisch erweist sich der Knochen in diesem Bereich als etwas strahlentransparenter. Es finden sich jedoch keine zystischen Veränderungen. Diese kommen zum Beispiel häufig durch Osteolysen in der subchondralen Knochenzone, bevorzugt in der Druckbelastungszone, als Symptom einer Arthrose vor. Der übrige Teil des Humerus weist keine pathologischen Veränderungen oder Auffälligkeiten aus.

Der Befund am Olekranon ist deutlich ausgeprägter, die Incisura trochlearis und der Processus Coronoideus sind deutlich verplumpt. Radiologisch ist die Kortikalis der Ulna bis zur Mitte des Schaftes, im proximalen Bereich, vor allem beugeseitig, verdickt bei gleichzeitig erhöhter Strahlentransparenz. Erst im distalen Anteil der Ulna herrschen wieder regelrechte, knöcherne Verhältnisse.

Ein sehr ähnliches Bild bietet sich im proximalen Anteil des Radius. Das Radius-Köpfchen ist verplumpt und zeigt eine knöcherne Ausziehung mit einer Abflachung nach lateral und einem medialen Knochenhorn. Im Röntgenbild wirkt der Radius, im Bereich der Tuberositas radii, zystisch aufgelockert, bei ebenfalls erhöhter Strahlentransparenz und einer wie bei der Ulna bis zur Schaftmitte reichenden Verdickung der Kortikalis. Im distalen Anteil des Knochens sind ebenfalls, wie bei der Ulna keine Auffälligkeiten erkennbar.

Das Gesamtbild spricht also für den Residualzustand einer stattgehabten Gelenkentzündung mit Ausbreitung nach lateral bis zur Mitte des Unterarmes.

Angesichts der Destruktion des Gelenkes und der Ausprägung der knöchernen Veränderungen, insbesondere der des Radiusköpfchens, ist davon auszugehen, dass die Bewegung des Gelenkes sehr stark eingeschränkt, wenn nicht sogar völlig aufgehoben war.

Abbildung 37: Humerus, Radius, Ulna, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk.

Abbildung 38: Radius, Ulna, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk (konventionell).

Abbildung 39: Humerus, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk (konventionell).

1.2.8 Humerus, rechts, rachitisch verkrümmt

Rachitis bezeichnet eine gestörte Mineralisierung und eine Desorganisation der Wachstumsfuge. Bei diesem Objekt findet sich die Schädigung, in diesem Fall eine Verkrümmung, in der Schaftmitte, somit kann es sich nicht um eine Störung im Bereich der Wachstumsfuge handeln (siehe oben). Es handelt sich somit eher um eine Osteomalazie, eine mangelnde Mineralisation von Spongiosa und Kompakta. Bei Kindern können beide Formen auftreten, während beim Erwachsenen, nach Epiphysenschluss, lediglich eine Osteomalazie auftreten kann.

Grund für die Osteomalazie können vielfältige Ursachen sein, meist wird sie jedoch durch Vitamin-D-Mangel, Störungen des Vitamin-D-Stoffwechsels sowie seltener durch renale tubuläre Funktionsstörungen, Phosphatase-Mangel u.a. verursacht (11/15).

Vitamin D, oder eher seine Vorstufen, finden sich in Butter, Milch, Eigelb oder in Körper- und Leberölen von Seefischen (34).

Auch radiologisch zeigt sich eine deutliche Verkrümmung im mittleren Schaftdrittel nach lateral, sowie eine Fraktur unterhalb des Collum chirurgicum. Es finden sich im Bereich der Fraktur aber keinerlei knöcherne Reaktionen. Dies lässt auf eine Schädigung des Knochens in seiner Liegezeit in der Erde schließen.

Das Fehlen Looser' Umbauzonen (quer zur Längsachse des Knochens bandförmige Aufhellungen = unverkalktes Osteoid) legt den Schluss nahe, dass die Krankheit zum Zeitpunkt des Todes ausgeheilt war.

Als einziges Residuum der Krankheit zeigt sich die oben angesprochene Deformation im Sinne einer Achsabweichung von ca. 18°. Das sonstige Bild ist unauffällig und ohne weiteren Hinweis auf pathologische Veränderungen.

Abbildung 40: Humerus, re. rachitisch verkrümmt.

Abbildung 171: Humerus, re. rachitisch verkrümmt (konventionell).

1.3 Systemische Knochenerkrankungen

1.3.1 Allgemein

In der Zeit vor der Entdeckung und Entwicklung der Antibiotika, sowie der gezielten Behandlungsmöglichkeiten durch Pharmazeutika waren bakterielle und virale Infektionen eine der häufigsten Todesursachen.

Dieser Mangel an suffizienten Behandlungsmöglichkeiten machte Erkrankungen, wie zum Beispiel eine Pneumonie, Appendizitis oder Meningitis, die heute bei rechtzeitiger Erkennung und Behandlung gut therapierbar sind, zu einem "Todesurteil".

Bei diesen angeführten Beispielen aber war, ungeachtet des meist tödlichen Ausgangs, der Krankheitsverlauf sehr kurz. Der Krankheitsverlauf ist also zu "kurz", als dass er sich bis in die knöchernen Strukturen ausbreiten und dort manifestieren könnte.

Knöcherne Infektionen sind daher, wenn sie endogenen Ursprungs sind, die Manifestation einer chronischen lange bestehenden Infektion (24).

1.3.2 Osteomyelitis

Die Osteomyelitis oder auch Knochenmarksentzündung wird in zwei Gruppen eingeteilt. Die endogene (primäre) Osteomyelitis, die durch hämatogene, septische Streuung bakterieller Herde (Staphylokokken, Pseudomonas, etc.) bei Furunkeln, Phlegmonen, Abszessen, Panaritien etc. verursacht wird. Bei Säuglingen kann es auch durch eine Nabelschnurinfektion zur Osteomyelitis kommen.

Die zweite Gruppe stellt die exogene Osteomyelitis dar. Diese entsteht post-traumatisch bei offenen Frakturen, direkter Penetration oder per continuitatem. Diese Form ist in der "vorantibiotischen" Zeit im Verhältnis zur primären Osteomyelitis aber eher selten.

Die endogene Form tritt heutzutage meist nur bei Kindern und Jugendlichen auf (1-16 J.), im Erwachsenenalter ist diese Form sehr selten (19).

Bei Krankheitsverläufen von mehr als sechs Wochen wird von einer chronischen Osteomyelitis gesprochen.

Interessanter Weise, obwohl doch das Blut mit dem Erreger in allen Knochen gleichermaßen fließt und verteilt wird, ist meist jedoch nur ein Knochen betroffen.

Wie auch bei den untersuchten Funden erkennbar wird, sind Tibia, Fibula und Femur die Prädilektionsstellen für den Infekt.

1.3.2.1 Tibia und Fibula, links, Osteomyelitis

Im akuten Stadium zeigen sich im Röntgenbild lediglich eine Aufhellung im Bereich der Spongiosa, später dann Destruktionen der Kortikalis und periostale Reaktionen wie Verdickungen und Auflagerungen. Im weiteren Verlauf kann es auch zur Sequester-Bildung kommen.

In diesem Fall erkennt man auch makroskopisch gut die periostalen Reaktion in Form von Auflagerungen, dies bestätigt sich auch sehr gut im Röntgenbild in welchem auch die lokale Verdickung der Kortikalis, im mittleren, sowie distalen Schaftdrittel, der Tibia, zu erkennen ist. Auf diese lokalen Verdickungen sind auch die wolkigen Verschattungen zurückzuführen die sich über den gesamten Markraum der Diaphyse

verteilen. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass es sich hierbei um eine Osteomyelitis gehandelt haben muss, da der Bereich der Wachstumsfugen eine gefäßlose Barriere für die Ausbreitung der Infektion bildet.

An der Fibula sind diese Auflagerungen und Verdickungen sogar noch ausgeprägter und deutlicher erkennbar. Die fleckförmigen Verschattungen, die noch zusätzlich vorhanden sind, sind auf durch das offene proximale Ende der Fibula eingebrachte Verunreinigungen zurückzuführen.

Abbildung 42: Tibia + Fibula, li. Osteomyelitis.

Abbildung 43: Tibia + Fibula, li. Osteomyelitis (konventionell).

1.3.2.2 Femur rechts, Osteomyelitis

Noch ausgeprägter zeigt sich die Osteomyelitis in diesem Fall: hier kam es nicht “nur” zu einer entzündlichen Reaktion der Kortikalis und des Periosts, sondern es kam sogar zu einer deutlichen Destruktion mit Defektbildung. Darüber, ob sich im Zentrum des deutlichsten Defektes, dorsal in der Schaftmitte, ein Sequester im Sinne einer Totenlade befunden hat, lässt sich leider keine Aussage machen. Die Defekte befinden sich alle dorsal im mittleren und distalen Drittel des Femur. In der Schaftmitte findet sich eine, aufgrund der fehlenden Knochenreaktion (siehe oben), postmortale Fraktur. Die knöcherne Struktur ist auch hier von unregelmäßiger Stärke, bedingt durch entzündliche Reaktionen von Kortikalis und Periost.

Diese Unregelmäßigkeiten der Stärke der Kortikalis lassen sich im CT, sowohl in der Längs- als auch in der Querschnittsdarstellung, gut herausarbeiten und erkennen. Bei einem derartigen Befund muss am ehesten von einer weichteiligen Beteiligung mit Fistelung ausgegangen werden.

Eine offene, infizierte Fraktur des Femur kommt aufgrund der fehlenden Fraktur-Zeichen als Ursache der Osteomyelitis nicht in Frage. Die Ausdehnung des Prozesses, sowie die Ausprägung der Destruktionen sprechen für einen chronischen Verlauf der Krankheit, mit der der Patient relativ lange gelebt haben muss und der wahrscheinlich nie zur Ausheilung gekommen ist.

Das proximale Drittel des Knochens offenbart keine pathologischen Veränderungen und ist soweit unauffällig.

Abbildung 44: Femur, re. Osteomyelitis.

Abbildung 45: Femur, re. Osteomyelitis (konventionell).

1.3.2.3 Tibia eines Säuglings, rechts und links Osteomyelitis

Als Folge einer Bakteriämie oder Sepsis (siehe oben) treten Streuherde in den Metaphysen, der langen Röhrenknochen auf. Der Infekt breitet sich subperiostal entlang des Röhrenknochen, in diesem Fall der Tibia beiderseits, aus. Über Gefäße, die bis um das zweite Lebensjahr die Epiphysenfuge kreuzen, wird diese mitinfiziert. Von dort bricht der Infekt häufig ins Gelenk ein (10).

Makroskopisch lässt sich an der Vorderkante, am Übergang vom mittleren zum unteren Drittel des Schaftes, der rechten Tibia ein kleiner Loch-Defekt erkennen. Im Röntgenbild zeigt sich, dass sich in diesem Bereich genau unter dem Defekt der Kortikalis eine dazugehörige zystische Veränderung befindet.

Begleitend findet sich eine reaktive Periostabhebung. Dies kann hinweisend auf einen entzündlichen Prozess im Sinne einer Osteomyelitis gewertet werden. Eine juvenile Knochenzyste als Ursache der Veränderung kann jedoch trotz eher atypischer Lokalisation, diese liegen sonst vor allem eher in den proximalen Metaphysen Abschnitten, nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden (13).

An der linken Tibia finden sich weder makroskopisch noch radiologisch Hinweise auf pathologische Veränderungen.

Abbildung 46: Tibia (eines Säuglings), re. + li. , Osteomyelitis.

Abbildung 47: Tibia (eines Säuglings), re. + li. , Osteomyelitis (konventionell).

1.3.3 Periostitis

Es handelt sich hierbei um eine seröse oder eitrige, hämatogen fortgeleitete oder durch direkte äußere Einwirkung entstandene Knochenhautentzündung. Sie ist häufig der erste Hinweis auf das Vorliegen einer Skeletterkrankung.

Häufig ist sie ein Ausdruck bzw. Symptom einer unspezifischen Entzündung, kann aber auch beispielsweise das Spätstadium einer Lues Infektion sein (23).

1.3.3.1 Tibia rechts Periostitis

An der Tibia, am Übergang von oberem zu unterem Schaftdrittel, sind im Röntgenbild deutlich eine Verdickung der Kortikalis und eine im Verhältnis leicht strahlentransparentere Volumenzunahme im Bereich des Periosts zu erkennen.

Sowohl das proximale als auch das distale Ende der Tibia sind nicht mehr vorhanden. Die Struktur und der Zustand des Knochens geben keinen Anhalt für eine pathologische Ursache oder ein Hinweis auf einen intravitalen Verlust der Extremitäten der Tibia. An der proximalen Abbruchkante verlaufen mehrere Frakturlinien in Längsrichtung, diese sind sehr wahrscheinlich, aufgrund ihrer Areaktivität, ebenfalls postmortal entstanden.

Der ansonsten eher mäßige Zustand des übrigen Knochens sowie das Fehlen anderer knöcherner Bestandteile des Skeletts, machen eine Erkennung einer eventuellen systemischen Genese der Knochenveränderungen, fast unmöglich.

Die vorhandenen und erkennbaren radiologischen sowie makroskopischen Kennzeichen weisen auf eine Periostitis hin.

Abbildung 48: Tibia, re. Priostitis.

Abbildung 49: Tibia, re. Periostitis (konventionell).

1.3.3.2 Tibia Syphilitisch (tertiär)

Die Lues (oder auch Syphilis) ist eine durch *Treponema Pallidum* hervorgerufene, in drei Stadien verlaufende, zyklische Infektionskrankheit, die direkt, meist durch Geschlechtsverkehr übertragen wird. Auch eine intrauterine Infektion des Fötus ist möglich. Es besteht in Deutschland eine namenlose (chiffrierte) Meldepflicht für alle Erkrankten und eine namentliche Meldepflicht für alle Therapieverweigerer.

Erst im Tertiärstadium, das nach 5-50 Jahren auftritt, kann es auch zu einem Befall der Knochen kommen. Es kommt zu einem nekrotischem Zerfall der betroffenen Gewebe (11).

Die Krankheit wurde 1493 von den Mannschaften von Christoph Kolumbus aus der Karibik nach Barcelona gebracht und breitete sich von dort aus in den nächsten Jahren über Europa bis nach Indien aus. In Deutschland wurde sie 1495/96 durch die aus dem italienischen Kriegszug rückkehrenden Söldner Maximilians verbreitet (28).

Anfangs versuchte man die Krankheit mittels Hyperthermie-Behandlung zu therapieren. Ab dem Anfang des 20. Jh. setzten sich die Therapie mittels Arsen-Präparaten durch. Diese wurde später durch die bis heute angewandte Penicillin-Behandlung ersetzt (18)

An der Tibia sind makroskopisch am distalen Drittel des Schaftes an der Vorderkante gut die Verdickung der Kortikalis bzw. des Periost mit ebenfalls gut sichtbaren lochartigen Defekten erkennbar.

Im konventionellen Röntgenbild sind diese Defekte ebenfalls auffallend. Des weiteren fällt eine Verdickung der medialen Kortikalis, mit einer Verengung des Markraumes im mittleren Schaft-Bereich, sowie lateral auf der Höhe der Lochdefekte auf. Durch diese gegenüberliegenden Verdickungen erscheint der Knochen in seiner Achse s-förmig deformiert zu sein.

In der CT-Untersuchung (Abb. 52) wird deutlich, dass die Lochdefekte keine Öffnung zum Markraum aufweisen, dafür aber untereinander durch Gänge verbunden sind. Dies ist hinweisend auf einen entzündlich nekrotischen Prozess in der Kortikalis bei nur geringer erkennbarer Mitbeteiligung der Spongiosa, wie er auch bei der Syphilis vorkommt.

Abbildung 180: Tibia re. Syphilis.

Abbildung 51: Tibia, re. , Syphilis (konventionell).

1.3.3.3 Femur, links mit Auftreibung in der Unteren Schafthälfte

Die Auftreibung, oder besser gesagt, Volumenzunahme im Bereich der Diaphyse des Femur lässt makroskopisch schon eine raue, eher unregelmäßige Oberflächenstruktur erkennen, die bis an das distale Ende des Knochens heranreicht. Das Gelenk selbst bzw. die Kondylen scheinen von diesem Prozess nicht betroffen zu sein. Eine Fehlstellung oder Verkrümmung in varischer oder valgischer Richtung ist nicht vorhanden.

Der proximale Anteil des Knochens ist ebenfalls nicht betroffen. Ab dem Anfang des mittleren Drittels des Schaftes kommt es zu einer Verdickung der Kortikalis, ab etwa der Mitte des Schaftes ist der Markraum fast nicht mehr erkennbar. Diese Veränderung reicht bis etwa oberhalb der Kondylen.

Aufgrund der Größe des Knochens ist es notwendig, ihn bei der konventionellen Röntgenaufnahme in zwei Schritten, also geteilt, aufzunehmen.

In der computertomographischen Darstellung bestätigt sich das Ergebnis der konventionellen Aufnahme, dass der Prozess sich auf die Diaphyse des Femurs beschränkt. Hier lässt sich im Querschnitt auch gut der sklerotische, im Markraum gelegene, Knochenabbau darstellen. Ebenfalls lässt sich gut die pathologische Knochenneubildung im kortikalen Bereich erkennen.

Das Bild deutet am ehesten auf eine im juvenilen Alter oder in der Adoleszenz durchgemachte Osteomyelitis hin, da in dieser Zeit die Wachstumsfugen eine Barriere für die Ausbreitung des Infektes bilden, was wie in dem vorliegenden Fall das Ausbleiben der Gelenksbeteiligung erklärt.

Bei derartigen knöchernen Volumenzunahmen sollte differenzialdiagnostisch aber auch an einen Tumor gedacht werden (Osteosarkom, Ewing-Sarkom, etc.). In Frage käme auch eine tuberkulöse Knochenveränderung im Sinne einer Osteoarthropathia hypertrophica Pierre-Marie-Bamberger (5).

Abbildung 53: Femur, li. , Auftreibung untere Schafthälfte.

Abbildung 54: Femur, li. , Auftreibung untere Schafthälfte, prox. Anteil (konventionell).

Abbildung 55: Femur, li. , Auftreibung untere Schafthälfte, dist. Anteil (konventionell).

1.3.3.4 Femur links mit Zyste im Trochanter major

Die einfache, auch ungekammerte Knochenzyste genannt, ist eine tumorähnliche Veränderung unbekannter Ätiologie. Man führt diese auf eine örtliche Wachstums-Störung des Knochens zurück. Bei Männern ist sie häufiger anzutreffen als bei Frauen, dies meist in den beiden ersten Lebensdekaden. Die große Mehrzahl der einfachen Knochen-Zysten ist, wie in diesem Fall, im proximalen Schaft von Femur oder Humerus gelegen.

Differenzialdiagnostisch kann an eine fibröse Dysplasie, ein nicht ossifizierendes Fibrom und Enchondrom gedacht werden. Gelegentlich kann ein Knochenabszess das Bild einer einfachen Knochenzyste nachahmen, besonders wenn er im proximalen Humerus oder im proximalen Femur, den Vorzugsstellen der einfachen Knochen-Zyste, lokalisiert ist. In diesen Fällen sind die Periostreaktion und die Ausdehnung über die Wachstumsfuge hinaus wichtige Abgrenzungskriterien, die gegen die einfache Knochenzyste sprechen (8).

Da all diese Kriterien hier aber nicht zu finden sind, muss also am ehesten von einer einfachen Knochenzyste ausgegangen werden.

Makroskopisch ist diese gut zu erkennen, da sie sich am äußeren Rand des Trochanter major befindet und sie dort eine Läsion der Kortikalis verursacht hat. In der konventionellen Aufnahme ist die Zyste schwer und nur mit geübtem Auge erkennbar. Es sind keinerlei periostale oder kortikale Reaktionen erkennbar. Computertomographisch ist die Zyste im Querschnitt sehr gut darstell- und ausmessbar. Sie misst 2 x 2,4 cm im Querschnitt und 1,8 x 2,4 cm im Längsschnitt. Die Spongiosa ist im Bereich der Zyste und ihrer Umgebung unauffällig und areaktiv. Der übrige Femur ist ebenfalls unauffällig und zeigt keine pathologischen Veränderungen. Das distale Drittel des Knochens fehlt.

Abbildung 56: Femur li. mit Zyste im Trochanter Major.

Abbildung 57: Femur li. mit Zyste im Trochanter Major (konventionell).

Abbildung 57a: Femur li. mit Zyste im Trochanter Major (CT, Schnitte in coronaler Ebene).

2. Untersuchung von Schädeln

2.1 Schädelfrakturen

Der Kopf stellt einen der empfindlichsten Teile unseres Körpers dar. Kopf-Verletzungen sind für den Menschen wesentlich schwerer zu verkraften als die Verletzung oder der Verlust einer Gliedmaße. Er verfügt im Vergleich zum übrigen Körper kaum über einen Schutz durch Weichteile, dabei beherbergt er sowohl die gesamte Steuerung unseres körperlichen und geistigen Handelns, als auch unseren Seh-, Hör- und Riechsinn. Der Kopf ist deshalb im Kampf des Menschen das erste Ziel der Wahl um den Gegner zu bezwingen.

2.1.1 Calvarium mit verheilte Fraktur im linken Schläfenbereich

Die Lokalisation der Verletzung an diesem ansonsten gut erhaltenen Schädel legt die Vermutung nahe, dass es sich hierbei um eine in einem Zweikampf zugefügte Verletzung handelt. Wenn man davon ausgeht, dass mehr als 80% der Weltbevölkerung Rechtshänder sind, ist bei einem Kampf von Angesicht zu Angesicht der Hieb von der Seite auf den Kopf des Gegners die linke Schläfe das getroffene Areal. Dies könnte bei dem vorliegenden Fund die Verletzungsursache sein. Natürlich kann auch ein Sturz als Verletzungs-Ursache in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden. Makroskopisch ist die verheilte Fraktur im linken Schläfenbereich gut zu erkennen, dies lässt sich aufgrund des Summationseffektes in der konventionellen Röntgen-Aufnahme eher schlecht bis beinahe gar nicht nachvollziehen. In der frontalen Aufnahme lässt sich aufgrund der Impression der linken Seite jedoch gut eine Asymmetrie erkennen.

Es zeigt sich eine Vielzahl kleiner, aufgrund ihrer Areaktivität eher post-mortal entstandener Frakturen, im Bereich der unteren Schläfe und des Hinterhauptes. Der Unterkiefer lag zur Untersuchung leider nicht vor.

Abbildung 58: Calvarium m. verheilte Fraktur im li. Schläfenbereich.

Abbildung 59: Calvarium m. verheilte Fraktur im li. Schläfenbereich (konventionell).

2.1.2 Os frontale mit diskreter Impressionsfraktur

Bei diesem, leider nur sehr kleinen Bestandteil eines Schädels, nämlich nur dem Rest des Os frontale, ist auch diesmal der eigentliche Befund makroskopisch besser zu erkennen, als in der dazugehörigen konventionellen Röntgenaufnahme.

Da es sich bei der Fraktur eben “nur“ um eine sehr diskrete Impressionsfraktur handelt, ist diese am freigelegten, mazerierten Knochen besser zu erkennen, als in einem durch Summationseffekte beeinflussten Röntgen-Bild.

In der Röntgenaufnahme kommen jedoch die, von der damaligen Fraktur unbeeinträchtigten Stirnhöhlen gut zur Darstellung. Desweiteren erkennt man gut die Frakturen, die in sagittaler Richtung von der Sutura sagittalis ausgehend durch die linke Stirnhöhle in den Oberrand der Orbita ziehen.

Da an diesen, im Gegensatz zur ausgeheilten Impressionsfraktur, keinerlei knöcherne Reaktion zu sehen ist, sind diese zu einem späteren Zeitpunkt und sehr wahrscheinlich postmortal entstanden.

Auch in diesem Fall muss, aufgrund der Lokalisation der Verletzung, bei der Impressionsfraktur von einer Fremdeinwirkung mit stumpfer Gewalt ausgegangen werden, eine andere Ursache kann aber jedoch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Abbildung 60: os Frontale mit diskreter Impressionsfraktur.

Abbildung 191: Os Frontale mit diskreter Impressionsfraktur (konventionell).

2.1.3 Schädel mit behandeltem Lochdefekt

Die Behandlung von Verletzungen, Tumoren oder anderer Erkrankungen im Schädelbereich wurde -ähnlich wie heute- schon bei den Ägyptern häufig in Form einer Trepanation durchgeführt. Das bedeutet das Heraustrennen einer Knochenplatte aus der Schädeldecke eines lebenden Menschen. Es gibt für diese Operationstechnik sogar eine Reihe von prähistorischen Belegen, vor allem aus dem Neolithikum (ca. 6000 v. Chr.) Frankreichs und dem präkolumbianischen Peru. Noch heute ist diese Methode bei primitiven Völkern als Behandlungsart von Geisteskrankheiten oder starken Kopfschmerzen üblich. Offensichtlich steckt dahinter die Vorstellung, dass der Teufel oder böse Geister im Kopf eingeschlossen seien und auf diese Weise herausgelassen werden könnten. Das Verheilen der Knochenränder zeigt an (siehe oben), dass die Patienten häufig, wenn auch wohl keineswegs immer, die Operation überlebten. Allerdings gibt es keinen Aufschluss über den Heilerfolg. Dass dieser nicht in allen Fällen zufriedenstellend war, zeigen Schädel mit bis zu 7 Trepanationen (3).

Bei dem, in Stetten a. d. Donau gefundenen, aus einer schnurkeramischen (3. Jt. v. Chr.) Doppelbestattung stammenden Schädel ohne Unterkiefer ist makroskopisch gut der, links parietale, Lochdefekt (3,7x2,8 cm) zu erkennen.

Auch in diesem Fall sind sowohl die knöcherne Verheilung, als auch die Bearbeitungsspuren der Ränder des Lochdefektes makroskopisch besser erkennbar und beurteilbar, als dies mit radiologischen Methoden möglich ist.

Die Kanten des Defektes weisen im gesamten Randbereich Schleif- und Entgratungsspuren auf.

Eine Frakturlinie verläuft parallel zur Sutura Lambdoidea durch den Lochdefekt hindurch, aufgrund der knöchernen Reaktionen im Bereich der Fraktur­ränder kann davon ausgegangen werden, dass der Lochdefekt des Schädels in direktem Zusammenhang mit dieser Fraktur steht. Da die Schädelkochen im Gegensatz zu den übrigen Skelettknochen nicht, oder sehr selten mit Kallusbildung verheilen, sind diese, wie auch hier, im Röntgenbild auch nach Jahren nicht von frischen Frakturen zu unterscheiden.

Ob der fehlende Knochendeckel herausgetrennt wurde um eine intracranielle Blutung zu entlasten, oder ob eine imprimierte Knochenplatte gehoben und entfernt wurde lässt sich aus dem Fund nicht schließen.

Die übrigen Beschädigungen des Schädels sind mit größter Wahrscheinlichkeit postmortal entstanden. Als bemerkenswert gut ist der Zahnstatus zu bezeichnen, es finden sich keine Spuren von Karies, die Abnutzung ist ebenfalls gering, und es fehlen lediglich zwei der vorderen Schneidezähne wobei diese, in Anbetracht des guten Zustandes der Alveolarräume postmortal verloren gegangen sind.

Es finden sich weder makroskopisch noch radiologisch weitere Hinweise auf pathologische Veränderungen.

Abbildung 62: Schädel mit behandeltem Lochdefekt.

Abbildung 63: Schädel mit behandeltem Lochdefekt (konventionell, seitl. Aufnahme).

2.1.4 Calvarium mit Trepanation

An dem, ebenfalls aus der schnurkeramischen Zeit stammenden, in Lauda-Königshofen gefundenen Calvarium, ergibt sich ein zum vorherigen Fund sehr ähnliches Bild der Beurteilbarkeit. Es ergibt sich nämlich makroskopisch ein besseres und detaillierteres Bild der Trepanation und ihrer feinen Spuren, als dies mit radiologischen Mitteln erreichbar ist. Erschwerend ist, dass die unvollständige Schädelkalotte aus vielen Bruchstücken wieder zusammengesetzt wurde und diese multiplen Frakturlinien im radiologischen Summationsbild verwirrend sind.

Aufgrund der knöchernen Randreaktionen im Bereich des links parietal gelegenen, 4,7 x 2,6 cm großen ovalären Lochdefektes, kann darauf geschlossen werden, dass die durchgeführte Trepanation lange überlebt worden ist. Über den Erfolg der Therapie oder die Gründe, die zu dem Eingriff geführt haben, kann das radiologische

Bild leider auch keine zusätzliche Auskunft geben. Es finden sich außer dem bereits oben erwähnten, durch die Trepanation bedingten Lochdefekt, keine Auffälligkeiten oder pathologische Veränderungen. Hierbei muss aber nochmals auf den schlechten Zustand und die Unvollständigkeit des Fundes hingewiesen werden.

Abbildung 64: Calvarium mit Trepanation.

Abbildung 65: Calvarium mit Trepanation (konventionell, seidl. Aufnahme).

Abbildung 66: Calvarium mit Trepanation (konventionell, rostrale Aufnahme).

2.2 Kongenitale knöcherne Veränderungen und Erkrankungen des Schädels

In der heutigen Zeit ist die Dokumentation kongenitaler Missbildungen und Erkrankungen, zwar nicht lückenlos, aber sehr ausführlich. Dies ist ein Zustand, der für Entwicklungsländer ebenfalls wünschenswert wäre, jedoch aber noch nicht erreicht ist. Umso schwerer ist es dann, sich in Anbetracht der dieser Tatsachen, ein Überblick über die Bandbreite solcher Veränderungen und Erkrankungen in der Geschichte zu verschaffen. Hinzu kommt noch, dass sich dieser Überblick fast, bis auf wenige Ausnahmen, wenn man sich zusätzlich auf Ausgrabungen mit solchen Veränderungen bezieht, ausschließlich an knöchernen Funden festmachen lässt.

2.2.1 Schädel mit fehlender Koronarnaht

Bei dem, 1989 in Rottweil, am Münster zum heiligen Kreuz, gefundenen Schädel ohne Unterkiefer kann man gut die durch vorzeitigen Nahtschluss entstandene Deformation des Schädels erkennen. In diesem Fall ist es bei einer prämaternen Nahtsynostose insbesondere der Koronar- und Sagittalnaht zu einem charakteristischen Turmschädel (Turризephalus) gekommen. Es handelt sich hierbei um eine Form der Dyskranie mit Verkürzung des Längsdurchmessers, Erhöhung des Scheitels und steilem Abfall von Stirn und Hinterkopf (23).

Der Schädel ist nicht vollständig, Unterkiefer und Teile der Kalotte - wie das Os Occipitale - fehlen. Er ist aus gefundenen Bruchstücken rekonstruiert und weist demzufolge zahlreiche postmortale Frakturlinien auf. Es konnten keine verheilten Frakturen festgestellt werden.

Makroskopisch wie radiologisch ist die Koronarnaht kaum zu erkennen. Die Sagittalnaht lässt sich auch nur schwer über die gesamte Strecke ausmachen. Von den Zähnen sind nur noch drei im Oberkiefer vorhanden. Die Ränder der übrigen Alveolarräume sind teilweise ausgebrochen.

Abbildung 67: Schädel mit fehlender Koronarnaht.

Abbildung 68: Schädel mit fehlender Koronarnaht (konventionell, seitl. Aufnahme).

2.2.2 Schädel mit prämaturner Nahtsynostose der Sagittalnaht

Bei dem in einem Grab in Stettfeld gefundenen Schädel ohne Unterkiefer ist leider nur noch ein Teil des Neurocraniums vorhanden, der Gesichtsschädel fehlt beinahe völlig.

Bei einem vorzeitigen Verschluss der Sagittalnaht kommt es zur Ausbildung eines Langschädels (Skaphozephalus). Der Befund erscheint hier nicht so ausgeprägt, dies ist sicherlich auch auf das oben erwähnte Fehlen des Gesichtsschädels zurückzuführen. Somit fällt ein Anhalt für die Größen- bzw. Relationsverhältnisse des Schädels weg.

Radiologisch ist die vorzeitig verschlossene Naht noch gut zu erkennen. Auch bei diesem aus Bruchstücken zusammengesetzten Fund sind zahlreiche postmortale Frakturlinien zu erkennen.

Es gibt, soweit feststellbar, keinen weiteren Anhalt für andere Auffälligkeiten oder Hinweise auf andere pathologische Veränderungen.

Abbildung 69: Schädel mit prämaturner Nahtsynostose der Sagittalnaht.

Abbildung 70: Schädel mit prämaturer Nahtsynostose der Sagitalnaht (konventionell, seidl.).

Abbildung 201: : Schädel mit prämaturer Nahtsynostose der Sagitalnaht (konventionell, front).

2.2.3 Schädel eines 2 ½ - 4 jährigen Kindes mit Hydrozephalus

Bei einem Hydrozephalus (sog. Wasserkopf) kommt es zu einer pathologischen Erweiterung der Liquorräume. Hierbei können verschiedene Arten nach Formen und nach Entstehungsmechanismus unterschieden werden.

Ursachen hierfür können sein: a) Störungen der Liquorzirkulation

b) Primäre Hirnatrophie mit kompensatorischer
Erweiterung der Liquorräume

Sehr häufig ist eine Infektion oder eine andere Grunderkrankung von Mutter oder Kind die eigentliche Ursache für die oben genannten Störungen (23).

Der Hydrozephalus kann also auch erst nach der Geburt entstehen. Ein vorgeburtlich bestehender Wasserkopf stellte in der Antike - wie auch heute - ein nicht unerhebliches Geburtshindernis dar. Obwohl der Kaiserschnitt eine schon seit langer Zeit bekannte Geburtstechnik darstellt, waren damals die Überlebenschancen von Mutter und Kind, aufgrund von Hygienebedingungen und noch nicht bekannter Antibiose, erheblich geringer.

Bei dem hier vorliegenden, von dem Spitalfriedhof in Heidelberg stammenden Fund handelt es sich um einen weniger ausgeprägten, aber deutlich als solchen erkennbaren Hydrozephalus. Der Kinderschädel eines ca. 2 bis 4 Jährigen mit fehlendem Unterkiefer ist in gutem Zustand. Lediglich ein kleiner Bereich um das Foramen magnum ist herausgebrochen. Das Milchgebiss ist bis auf zwei, wahrscheinlich postmortal ausgefallene Schneidezähne vollständig.

Radiologisch zeigen sich eine Erweiterung und Vergrößerung des Neuro-Craniums. Des weiteren fällt eine vermehrte und deutlichere Gefäßzeichnung und Imprimierung an der Innenseite der Schädelkalotte auf. Diese ist sehr wahrscheinlich auf den erhöhten Hirndruck zurückzuführen und legt die Vermutung nahe, dass es sich um einen Hydrozephalus internus, mit Erweiterung des Ventrikelsystems gehandelt hat. Gut zu erkennen sind auch die angelegten und im Oberkiefer befindlichen persistierenden Zähne.

Weiter finden sich keine Auffälligkeiten oder pathologische Veränderungen.

Abbildung 72: Kinderschädel mit Hydrozephalus.

Abbildung 73: Kinderschädel mit Hydrozephalus (konventionell, front.).

2.3 Schädel mit noch vorhandenem Weichteilmantel

Zu dem sehr interessanten Fall des Erhaltenbleibens des Weichteilmantels kann es kommen, wenn der natürliche Zerfallsprozess durch unterschiedliche äußere Einflüsse aufgehalten wird, sei es zufällig, z.B. natürliche Austrocknung wie in einigen Höhlen in Peru (3), durch Konservierung im Eis wie bei der mittlerweile wohl weltbekannten Gletscherleiche vom Hauslabjoch ("Ötzi") (20), oder gewollt und bewusst konserviert, wie bei den Mumien der Ägypter.

Bei diesen Funden ist die radiologische Untersuchung eine sehr hilfreiche und nützliche Erweiterung des Analysespektrums. Durch sie wird die Untersuchung der knöchernen Strukturen und auch des Weichteilmantels möglich, ohne dass meist sehr fragile Objekt zu beschädigen.

2.3.1 Peruanischer Mumien Schädel

Bei dem hier vorliegenden peruanischen Mumien Schädel, ist der Weichteilmantel vollends erhalten, sogar die Kopfbehaarung ist noch vollständig.

Bei peruanischen Mumien sind radiologisch, bemerkenswerte Belege für aufwändige Mumifikationstechniken nachgewiesen worden, so dass heute als sicher gilt, dass die Mumifikation auf hohem Stand in Südamerika wenigstens 2000 Jahre länger praktiziert wurde als in Ägypten (12).

Leider lag zur Untersuchung nur der direkt an der Schädelbasis abgetrennte Kopf vor. An selbigem fanden sich keinerlei Grabbeigaben oder Grabschmuck wie zum Beispiel eine Totenmaske oder ähnliches. Es fanden sich auch keine Textilreste von Leinentüchern oder Naturfasern von Seilen, wie sie in Südamerika zur Fertigung von Mumienbündeln verwendet wurden (12).

Bei der konventionellen radiologischen Untersuchung des Schädels zeigen sich keine Auffälligkeiten oder pathologischen Veränderungen.

In der zunächst noch vollständigen, das heißt mit dem umgebenden Weichteilmantel, Computertomographischen Darstellung des Kopfes, kann nun Schritt für Schritt und Schicht für Schicht diese Umhüllung virtuell entfernt werden, bis zuletzt nur noch -wie auch in der konventionellen- Aufnahme der knöchernen Schädel zur Abbildung

kommt. Dieser lässt sich dann, wie auch alle anderen Stadien zuvor, in den drei dimensional Rekonstruktionen in allen Ebenen im Raum betrachten und auch "aufschneiden".

In den zwei dimensional Schichtaufnahmen zeigt sich, dass die Augen nicht entfernt worden sind und sich bei geschlossenen Lidern noch in der Augenhöhle befinden. Das Hirn ist völlig entfernt worden. Dieses wurde aber nicht wie bei den Ägyptern transnasal (durch das Siebbein) entfernt, sondern in diesem Fall durch das Foramen Magnum.

Occipital finden sich im Inneren des Schädels Weichteilreste, um was es sich dabei aber genau handelt, lässt sich aus der Untersuchung nicht mit Sicherheit sagen. Die Lage, an der sich diese Reste befinden, lässt darauf schließen, dass der Schädel die lange Zeit auf dem Hinterkopf gelegen ist und sich die weichteiligen Reste schwerkraftbedingt an der tiefsten Stelle gesammelt haben.

Im Unterkiefer fehlen links die zwei Mahlzähne (Molaren). Im Oberkiefer fehlen rechts der hintere Backenzahn (Prämolar) sowie beide Mahlzähne, links fehlt der äußere Schneidezahn (Incisivus) sowie beide Backenzähne wie Mahlzähne.

Das Gebiss war somit in einem eher als mäßig zu bezeichnendem Zustand. Ein Zerkleinern und Zermahlen der Nahrung war, wenn überhaupt, nur auf der rechten Seite möglich, links gar nicht mehr.

Es finden sich keine Hinweise auf Frakturen, des weiteren erweisen sich alle, soweit erhaltenen Strukturen, als regelrecht und es finden sich keine Auffälligkeiten oder pathologischen Veränderungen.

Abbildung 75: Peruanischer Mumien­schädel.

Abbildung 76: Peruanischer Mumien­schädel (konventionell, seitl.).

Abbildung 77: Peruanischer Mumien­schädel. CT, dreidimensionale Rekonstruktion des Knochen­fensters. I: Frontale Ansicht. II: Rostrale Ansicht. III: Blick von rechts vorne (Aufschnitt). IV: Blick von rechts vorne.

IV. Diskussion

Konventionelle Röntgendiagnostik als Instrument zur Untersuchung und Diagnosestellung bei archäologischen Knochenfunden humanen Ursprungs.

Zur Herstellung eines konventionellen Röntgenbildes sind abhängig vom untersuchten Objekt unterschiedlichste Strahlendosen notwendig. Eine Gesetzmäßigkeit oder ein Schema im Bezug auf die zu verwendeten KV oder mAs war nicht abzuleiten (außer der bereits oben erwähnten Abhängigkeit von der Dichte des zu untersuchenden Objektes). Der Großteil der konventionellen Aufnahmen wurde mit 50 KV und 2,5 mAs erstellt. Wenn es die Bildqualität und die damit verbundene Aussagekraft erforderte, musste die Einstellung der Aufnahme entsprechend nach oben oder nach unten angepasst werden. In der folgenden Tabelle 2 ist zu ersehen welche Strahlendosen für welches Objekt notwendig waren. Die Knochen unterliegen im Laufe der Jahre, Jahrhunderte oder gar Jahrtausende, entsprechend ihrer Lagerung im Erdreich, den unterschiedlichsten Veränderungen in ihrer Zusammensetzung (organische Bestandteile werden zerstört, Minerale und Salze aus der Umgebung dringen ein) und ihrer äußeren Form (Fraktur, Absplitterung, Verlust von Teilen).

Es sind in der Vergangenheit Versuche unternommen worden, aus diesen Veränderungen und deren Kenntnis aufgrund der Absorption der Röntgenstrahlen ein Datierungsverfahren abzuleiten. Bisher konnten jedoch noch kein beschriebenes Verfahren verlässliche Ergebnisse erzielen.

Eine solche Bestimmung war weder Ziel dieser Arbeit noch war diese aufgrund zu geringer Kenntnis über den Fundort und dessen Bodenbeschaffenheit möglich.

Mit Hilfe der radiologischen Untersuchung können Verdachtsdiagnosen bestätigt werden, oder es können präzise Differentialdiagnosen gestellt werden (21).

Unter den Befunden der untersuchten Objekte dieser Arbeit, fanden sich Osteolysen (Siehe Abb.42-52), verheilte Frakturen (Siehe Abb. 16-21 u. 58-61), Verdachtsdiagnosen eines tuberkulösen Knochenbefalls (Siehe Abb. 53-55), einer

Syphilis im tertiären Stadium (Siehe Abb. 50-52), sowie klare Hinweise auf überlebte Trepanationen und Schädelfrakturen (Siehe Abb.64-66 u. 58-61).

Tabelle 2

Nummer	Objekt	Fundort	Befund	KV	mAs
1.1.1	Klavikula re.+ li.	Engen Altdorf Nr. 151	Fraktur	50	2,5
1.1.2	Humerus li.	Burladingen Fidelisstr. Grab 28	Fraktur	50	2,5
1.1.3	Tibia re.	Rottweil Münster hlg. Kreuz	Fraktur	50	2,5
1.2.1	Tibia re.	Stetten (Streufund)	Prox. deformiert	50	2,5
1.2.2	Femur, Tibia, Fibula, li	Spitalfriedhof Heidelberg	Ankylose des Kniegelenks	52	2,5
1.2.3	Calcaneus + Os Cuboideum li.	Epfendorf Grab 163	Ankylose	52	2,5
1.2.4	Becken, Femur, Tibia re. +li.	Spitalfriedhof Heidelberg	Sekundärgelenk + Atrophie	52	2,5
1.2.5	3 Lendenwirbel + 1 Halswirbel	Ober-Roden	Starke Osteophyten	52	2,3
1.2.6	Becken re.	Epfendorf Grab 165/1103	Kartilaginäre Exostosen	52	2,5
1.2.7	Humerus, Radius, Ulna li.	Oberroden Grab 85	Degeneriertes Ellenbogen- gelenk	50	2,5
1.2.8	Humerus re.	Kirchheim/Ries 6175	Rachitis	50	2,5
1.3.2.1	Tibia, Fibula li.	Epfendorf Grab 154	Osteomyelitis	52	2,5
1.3.2.2	Femur re.	Spitalfriedhof Heidelberg	Osteomyelitis	50	2,5
1.3.2.3	Tibia eines Säuglings re.+li.	Spitalfriedhof Heidelberg	Osteomyelitis	50	1,8
1.3.3.1	Tibia re.	Stettfeld Grab 28	Periostitis	50	2,5
1.3.3.2	Tibia re.	Taserol S. i783	Syphilis (tertiär)	50	2,5

1.3.3.3	Femur li.	Tiengen, FR. Grab13	Auftreibung der Cortikalis	49	3,6
1.3.3.4	Femur li.	Engen Altdorf Nr.5	Zyste im Trochanter major	50	2,5
2.1.1	Calvarium	Stuttgart-Mühlhausen V.H. Grab 66	Fraktur li Schläfe	50	2,8
2.1.2	Os Frontale	Bietigheim Fd. Nr. 557	Impressions Fraktur	54	2,8
2.1.3	Calvarium	Stetten a.d. Donau Grab 3	Behandelter Loch-Defekt	54	2,8
2.1.4	Calvarium	Lauda-Königsofen Grab 47	Trepanation	53,5	2,8
2.2.1	Calvarium	Rottweil Münster hlg. Kreuz	Fehlende Koronalnaht	50	2,5
2.2.2	Calvarium	Stettfeld Grab 83	Prämature Nahtsyostose	50	2,8
2.2.3	Calvarium eines 2-4 J Kindes	Spitalfriedhof Heidelberg	Hydrozephalus	53,5	2,8
2.3.1	Kopf einer peruanischen Mumie	Unbekannt	Ohne Befund	53,5	2,8

Als sehr hilfreich erwies sich die radiologische Betrachtung bei Strukturen, die von außen nur sehr schwer zugänglich waren oder sich vollständig im Inneren eines zu untersuchenden Objektes befinden, wie dies zum Beispiel bei dem peruanischen Mumien Schädel (Siehe Abb.75-77) oder bei der Tibia mit der Tertiären Syphilis (Siehe Abb. 50-52) der Fall ist. Ebenfalls war diese hilfreich zum Beispiel bei der Differenzierung, ob es sich bei einem Fund anhaftenden Strukturen um eine knöcherne Neubildung handelt wie bei den Osteophyten der drei Lendenwirbel und des Halswirbels (Siehe Abb.31-34), oder um einen Artefakt im Sinne einer

Verschmutzung, die im Laufe der Zeit durch Einwirkung der Umgebung entstanden ist.

Nur schwer oder annähernd keine Aussage ließ sich zu Beschädigungen der knöchernen Funde bezüglich des Zeitpunktes ihres Entstehens treffen (postmortal oder perimortal). In beiden Fällen kam es zu keiner radiologisch nachweisbaren Reparatur durch den Organismus mehr. Derartige Aussagen lassen sich gezielter durch genaue Analyse des Fundortes und dessen Veränderung durch die Zeit tätigen. Hierbei spielen zum Beispiel Fakten wie Umbettung, Tierfraß und tierische Verschleppung von knöchernen Bestandteilen bis hin zur Grabplünderung eine Rolle. Sehr gut hingegen lassen sich wiederum intravitale knöcherne Reaktionen, wie Kallusbildung oder einseitiges verstärktes Knochenwachstum als Reaktion auf eine Veränderung der ursprünglichen Anatomie nachweisen.

Nachteile der konventionellen Röntgenuntersuchung

Schwache Stelle des konventionellen Röntgenbildes ist, dass es sich um ein Summationsbild handelt. Hieraus ergibt sich, dass einzelne Bestandteile sich bei der Abbildung überlagern und so nicht sauber zur Darstellung kommen. Dies lässt sich eindrucksvoll am Beispiel des Peruanischen Mumienkopfes sehen (Siehe Abb.75-77).

Handelt es sich also um einen Fund mit einer komplexeren Struktur oder um ein Objekt größeren Ausmaßes, oder wie oben erwähnt gar um eines mit noch vorhandenem Weichteilmantel, der in einer konventionellen Aufnahme gar nicht zur Darstellung kommt, kann und sollte, um mehr Kenntnis über einzelne Details zu erhalten sowie eine bessere Darstellung zu erreichen, eine Computertomographie durchgeführt werden.

Computertomographie als erweiterndes und präzisierendes Instrument zu den mittels konventioneller Röntgendiagnostik gewonnenen Erkenntnissen bezüglich archäologischer Knochenfunde humanen Ursprungs

Heutzutage werden in der die Computertechnologie täglich rasante Fortschritte in der Weiterentwicklung von Soft- und Hardware getätigt. Daraus ergibt sich, dass Arbeitsbereiche, die mit diesen Technologien arbeiten, annähernd im selben Umfang davon profitieren.

Gerade in der Radiologie, in der schon seit geraumer Zeit die digitale Bildverarbeitung Einzug gehalten hat, ist seither diese Verknüpfung mit der Computertechnologie und ihrer Weiterentwicklung noch wesentlich enger geworden. Dies drückte sich vor allem in der Verbesserung der Bildqualität und in der Verkürzung der Aufnahmezeiten und der Bildverarbeitungszeiten aus.

Die Weiterentwicklung der Computertomographen bis zur 3. und 4. Generation hat erhebliche Neuerungen hervorgebracht und zur Erweiterung der Anwendungsgebiete geführt, wie sie 1972 noch gar nicht vorstellbar waren. Die rasante Entwicklung bezog sich vor allem auf die Bildqualitätsparameter und die Aufnahmezeiten (21)(siehe Tab.3).

	Typische Werte 1972	Typische Werte 1993
Matrixgröße	80 X 80	1024 X 1072
Ortsauflösung	31p/cm	151p/cm
Kontrastauflösung	5mm/5 HU/50 mGy	3mm/3 HU/30 mGy
Scanzeit	5 min	1s
Daten pro Scan	50 KByte	2 MByte
Leistung	2 KW	40 KW

Tab.(3)Vergleich der Leistungsparameter zwischen einer CT-Anlage von 1972 und einer von 1993. (S. Neher, Möglichkeiten radiologischer Bildgebung analoger und digitaler Art für die Archäologie, 1995, S281).

Nutzen der Computertomographie

Die konventionelle Röntgendarstellung wird in der Literatur insgesamt als wichtiges Mittel zur zusätzlichen Gewinnung von weiteren Erkenntnissen bewertet (21/22/9/4).

Die Computertomographie hingegen wird in ihrer Bedeutung eher unterschiedlich bewertet. So schreiben K. Hauenstein und W. Wenz aus Freiburg: „Da die

Computertomographie ihre besonderen Vorzüge bei der Organdarstellung hat, die inneren Organe jedoch im Rahmen der Mumifizierung entfernt werden, ist ihr Aussagewert gering.“ Hierzu muss aber angemerkt werden, dass sich durch die in der jüngsten Zeit gemachten Fortschritte in der Technologie, der Möglichkeiten und der Qualität der computertomographischen Bildgebung, diese Aussage relativiert. Schon allein durch die Möglichkeit der dreidimensionalen Rekonstruktion (Siehe Abb. 74 u. 77) und der Anfertigung von dreidimensionalen Schnittbildern hat sich hier ein ganzes Spektrum von neuen Ansätzen und Möglichkeiten der Erkenntnisgewinnung entwickelt.

Aufgrund dieser technischen Feinheiten ist zum Beispiel die Möglichkeit entstanden, sowohl das jetzige Gesicht einer Mumie unter einer Totenmaske darzustellen, als auch das ursprüngliche Gesicht der Mumie zu rekonstruieren, obwohl dieses im Laufe der Zeit erhebliche Änderungen erfahren hat (29).

Ein weiterer Vorzug der Computertomographischen Technik ist die Möglichkeit der Erstellung eines „Organmodells“. Bei diesem Vorgang werden die in der 3D Rekonstruktion ermittelten Daten nochmals in komplizierten Rechnungen umgewandelt und anschließend in eine computergesteuerte Fräsmaschine eingegeben. Diese erstellt dann eine detailgetreue Kopie des erfassten Objektes wie zum Beispiel eines Schädels.

Hieraus resultierend kann aufbauend auf der Kopie des knöchernen Schädels eine plastische Gesichtsrekonstruktion gefertigt werden, so dass anschließend ein anschauliches Modell des Gesichtes entsteht (6).

Der Vorteil der Volumenaufnahmen und die Möglichkeit ihrer drei dimensional Darstellung, insbesondere der Erfassung ganzer Objektabschnitte, ermöglicht „die sichere Auffindung auch kleiner Läsionen“, welche in Schichtbildern unter Umständen nicht erfasst werden (21/14). Es besteht auch die Möglichkeit, dass diese bedingt durch Überlagerungen nur undeutlich oder schwach zur Darstellung kommen und deshalb leicht übersehen werden können.

Diese Entwicklungen der Computertomographie, ihrer Untersuchungsmethoden, aller Sonderfunktionen und anschließender Möglichkeiten, erfordern erneut die Frage nach ihrer Aussagekraft im Bezug auf archäologische Funde und Fragestellungen.

Neue, moderne Verbesserungen der Systeme und die ebenso vielfältigen zusätzlichen Untersuchungsoptionen lassen Fragestellungen und Aspekte auf-

kommen, für die es zuvor nur einen wagen Ansatz gab. Sie liefern auch Hinweise oder belegen Vermutungen sowie Zusammenhänge die früher nur durch mühsame Recherchen in Literatur und Archiven erbracht werden konnten.

Die modernen bildgebenden Verfahren mit ihren wie oben erwähnten Möglichkeiten der Rekonstruktion und Darstellung, gestatten wie bisher keine andere Methode zuvor die Analyse eines archäologischen Fundstückes ohne dieses zu berühren.

Diese stellt eine einzigartige Möglichkeit der Untersuchung von äußerst empfindlichen Objekten dar, ohne dass diese beschädigt werden.

Dabei ist gleichzeitig noch die Möglichkeit gegeben, Informationen über die Dichte an einer beliebigen Stelle des untersuchten Fundes zu erhalten.

Anfangen bei der Nativaufnahme bis hin zur vollständigen Erfassung eines Objektes im Spiral-CT, in der sich ein Objekt präzise bis ins das letzte Detail im Inneren des Knochens darstellen lässt, können mit Hilfe von Röntgenstrahlung neue, bisher noch nicht bekannte und sichtbare Einzelheiten gefunden und dargestellt werden.

Mit der Distanzmessung sind Vermessungen in Ebenen möglich, die denen einer Schnittebene gleich kommen. Sie sind somit, wenn am Objekt selbst vermessen wird, sehr häufig nicht nur mit Schwierigkeiten sondern auch mit Ungenauigkeiten verbunden. Eine gute Darstellung der Vermessungsmöglichkeiten konnte am Beispiel der Zyste im Trochanter Major deutlich gemacht werden (Siehe Abb. 58). Dies betrifft auch Bereiche, die makroskopisch nur schwer oder gar nicht erreichbar sind. Die Ungenauigkeit der Vermessung in der computertomographischen Darstellung resultiert einzig aus der Positionierung des Cursors durch den Bediener (21).

Die dreidimensionale Rekonstruktion selbst ist in Ihrer Aussagekraft im Hinblick auf die Diagnosefindung als nicht besonders aussagekräftig einzustufen. Erweitert man die Betrachtung jedoch in der Hinsicht, als dass im virtuellen Raum ein Gegenstand wie zum Beispiel eine Waffe hinzugefügt wird, können mit aufwändigen Computerprogrammen Verletzungsmechanismen rekonstruiert werden. Es können Hieb-Stichrichtungen anschaulich gemacht werden, es kann sogar die Größe früherer Gegner hergeleitet werden. Dies sind nur wenige Beispiele, die sich an die dreidimensionale Darstellung anschließen und die auf ihr aufbauen.

Durch die Surfacebehandlung (Wegschneiden von störenden Schichten gleicher Dichte) können gewünschte Strukturen sichtbar gemacht werden, die ansonsten nur mit der Zerstörung des Objektes möglich wären. Nur mit Hilfe dieser Technik konnte der knöcherne Anteil des peruanischen Mumien Schädels mit seinen ganzen Einzelheiten herausgearbeitet werden (Siehe Abb. 77). Die Sekundärschnittführung erlaubt die völlige Durchforschung von Objekten, die Darstellung von Frakturen in ihrem Längs- und Querverlauf, die Ausbreitung von Knochenneubildungen in ihrem Längs- und Querausmaß, sowie die Erfassung von degenerativen Gelenkerkrankungen und Knochenanomalien in ihrer Ausdehnung darzustellen (21). So konnte auch beispielhaft das Ausmaß der knöchernen Zerstörung der Tibia durch die Syphilitische Erkrankung anhand eines Schnittbildes einer ausgesuchten Stelle abgebildet werden (Siehe Abb.52).

Archivierung

Mittels der Möglichkeit der digitalen Speicherung und Archivierung der dreidimensionalen Bilder sowie des gesamten gewonnenen Datensatzes, entsteht der Vorteil, dass ein Objekt/Fund in kurzer Zeit nochmals vor Augen geführt werden kann, zumal häufig nicht von allen gewünschten Details Fotos existieren, ohne erst lange in Archiven bzw. Lagern suchen zu müssen. Zudem kann ein Objekt in einer virtuellen Art und Weise durch unzählige Hände gehen, ohne dass dies Spuren an dem eventuell sehr fragilen Original-Fund hinterlässt.

Nachteile des CT's

Als nachteilig müssen der hohe Aufwand und die hohen Kosten, die mit einer computertomographischen Untersuchung verbunden sind, gesehen werden. Gilt ein Befund also makroskopisch oder durch eine konventionelle Röntgenuntersuchung als gesichert, oder lässt er sich auf diese Art und Weise sichern, sind diese vorzuziehen. Somit ist das CT eher komplexeren Funden und Fragestellungen vorbehalten.

Das MRT als Instrument der Untersuchung

Als sehr bedauerlich erwies sich, dass sich die untersuchten Objekte im Kernspin nicht darstellen ließen. Dadurch entfiel bei den Untersuchungen ein in der Entwicklung, Technik und Bildgebung besonders hochstehendes Verfahren.

Die Funde erwiesen sich durchweg alle als zu trocken, um in der Magnet-Resonanz ein verwertbares Signal zu generieren. Funde in gefrorenem Zustand mit vollständig erhaltenem Weichteilmantel, wie zum Beispiel bei der bekannten "Eismumie" aus dem Ötztal, lagen leider nicht zur Untersuchung vor. Somit ist eine Aussage bezüglich der Untersuchbarkeit derartiger Objekte im MRT nicht möglich.

Dadurch erwies sich das MRT zur Untersuchung von Funden, wie sie in dieser Arbeit vorlagen, als ungeeignet.

Resümee

Abschließend kann gesagt werden, dass der konventionelle Röntgenuntersuchung sowie der computertomographische Untersuchung knöcherner Funde und Objekte eine sehr hilfreiche und aufschlussreiche Bedeutung beigemessen werden kann.

Hierbei sind besonders die zusätzlichen Möglichkeiten des CT bei der Dichtemessung im Schnittbild, der Veranschaulichung von Strukturen in der 3-D-Rekonstruktion sowie die enthaltene Schnittmöglichkeit der dreidimensionalen Darstellung zu erwähnen. In letzterem finden sich der größte Vorteil und Gewinn derartiger Untersuchungen.

Es muss aber auch in aller Deutlichkeit gesagt werden, dass rein äußerliche Befunde makroskopisch sehr viel besser zu beurteilen sind. Ein sehr eindrucksvolles Beispiel hierfür ist das Os frontale mit der diskreten Impressions-Fraktur (Siehe Abb. 60 u. 61), hier kommt eine radiologische Untersuchung nicht in Frage.

V. Zusammenfassung

Welche neuen Einsichten bzw. Erkenntnisse lassen sich mit Hilfe moderner Röntgentechniken gewinnen?

Ziel der Untersuchung war festzustellen, ob das Potential, das die moderne Radiologie dem lebenden Patienten bietet, sich in ähnlich erstrangiger Weise auf menschliche archäologische Funde anwenden lässt und ob die hierbei erlangten Erkenntnisse im äußersten Fall sogar auch einen Gewinn für die heutige Medizin bringen könnten.

Es wurden repräsentativ 121 äußerlich pathologisch veränderte knöcherne Funde sowohl konventionell als auch computertomographisch untersucht. Dies geschah unter Anwendung aller zur Verfügung stehenden technischen Zusatzmöglichkeiten. Alle untersuchten Objekte ließen sich, sowohl auf konventionelle wie auch computertomographische Weise, artefaktfrei darstellen. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, wurden lediglich die prägnantesten Fälle vorgestellt. Regionen besonderen Interesses konnten im CT deutlich herausgearbeitet werden. Kernspintomographisch konnte, aufgrund des Austrocknungsgrades der uns zur Verfügung stehenden Funde, kein verwertbares Untersuchungsergebnis erlangt werden.

Eine genaue Datierung und Altersschätzung der untersuchten Objekte war mittels der genannten Untersuchungsmethoden nicht möglich.

Pathologische Veränderungen waren gut darstellbar und das Stellen einer Differentialdiagnose war in fast allen Fällen möglich. Eine sichere Aussage über die Lethalität einer Verletzung konnte nicht getroffen werden. Reparationsvorgänge, die zu Lebzeiten stattgefunden haben, wie Kallusbildung, konnten gut zur Darstellung gebracht werden.

Es konnten spezifische Fragestellungen nach Diagnosen beantwortet und zerstörungsfreie Einblicke in zum Teil sehr fragile Funde getätigt werden.

Das konventionelle Röntgen, vor allem aber das CT sind zur Nachuntersuchung von archäologischen Funden äußerst hilfreich.

Dabei gilt es jedoch stets, die Prinzipien der Verhältnismäßigkeit zu beachten, um nicht Gefahr zu laufen, "mit Kanonen auf Spatzen zu schießen".

VI. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	:	Abbildung
a.p.	:	anterior posterior (Strahlengang)
As.	:	Ampere-Sekunden
bzw.	:	beziehungsweise
ca.	:	circa
CT.	:	Computertomographie
etc.	:	et cetera
HE.	:	Hounsfield Einheiten
i.v.	:	intravenös
KV.	:	Kilovolt
li.	:	links
M.	:	Musculus
MRT	:	Magnet-Resonanz-Tomographie
p.a.	:	posterior anterior (Strahlengang)
Proc.	:	Processus
re.	:	rechts
S.	:	Seite
s.o.	:	siehe oben
s.u.	:	siehe unten
Tab.	:	Tabelle
u.	:	und
z.B.	:	zum Beispiel
Z.n.	:	Zustand nach

VII. Literaturverzeichnis

- (1) Adler, C-P. (1983)
Knochenkrankheiten. Diagnostik makroskopischer, histologischer
und radiologischer Strukturveränderungen des Skeletts.
Georg Thieme Verlag Stuttgart, NY.

- (2) Beck A. (1996)
Röntgenstrahlen in der Archäologie.
Schnetztor-Verlag Konstanz. S.17-23

- (3) Bray, W., Trump, D. (1973)
Lexikon der Archäologie
Edition Praeger München S.367

- (4) Bubenik, G.A., Bubenik, A.B. (1990)
Horns, Pronghorns and Antlers.
Evolution, Morphology, Physiology and Social Significance
Springer Verlag, N.Y., Heidelberg, London, Tokyo, Hong Kong S. 313-
338

- (5) Czarnetzki, A., Uhlig, C., Wolf, R. (1982)
Menschen des frühen Mittelalters im Spiegel der Anthropologie und
Medizin.
Begleitheft zur Ausstellung
Württembergisches Landesmuseum Stuttgart
Gulde-Druck-GmbH Tübingen

- (6) Drenkhahn, R., Germer, R. (1992)
Mumie und Computer.
Sonderausstellung des Kestner Museums Hannover, 13-42

- (7) Driehaus, J. (1968)
Archäologische Radiographie.
Rheinland-Verlag Düsseldorf, S.11

- (8) Greenspan, A., (2003)
Skelettradiologie. Orthopädie, Traumatologie, Rheumatologie,
Onkologie. 3. Auflage.
Urban & Fischer, München, Jena. S.717f

- (9) Harris, J.E., Weeks, K.R. (1973)
X-Raying the Pharaohs.
Charles Scribner's Sons, N.Y.

- (10) Heimkes, B. (1997)
GK3 Orthopädie 11. Auflage
Chapman & Hall S.80

- (11) Herold, G. (1999)
Innere Medizin, Eine vorlesungsorientierte Darstellung
Dr. med. Gerd Herold, Köln .

- (12) Herrmann, B., Meyer R-D. (1993)
Südamerikanische Mumien aus vorspanischer Zeit
Veröff. Museum für Völkerkunde NF 58
Staatliche Museen, Berlin

- (13) Hoffmann, H., Heitmann, H.(1995)
GK2 Radiologie 9.Auflage
Chapman&Hall S.182

- (14) Kalender, W.A. (1992)
Manuskript zu einem Vortrag des Autors, gehalten bei der Konferenz
„Quo Vadis CT“ unter dem Vorsitz von Prof. Dr. R. Felix und Prof. Dr.
M. Langer in Berlin 1992, Elektromedica 61 (1993), Heft 2

- (15) Küttler, T. (1999)
Pharmakologie und Toxikologie
Jungjohann Verlagsgesellschaft, Neckarsulm, Stuttgart, S310f.

- (16) Kuner, E., Schlosser, V. (1988)
Traumatologie, 4. Auflage
Georg Thieme Verlag Stuttgart, NY. S.187

- (17) Merbs, C. (1983)
Patterns of activity induced pathology in a Canadian Inuit Population
Archeological Survey of Canada Paper No. 119
Ottawa, National Museum of Canada.

- (18) Meyer, C., (2002)
Lexikon des Mittelalters VIII
Deutscher Taschenbuch Verlag München, S.380f

- (19) Müller, M. (1999)
Chirurgie für Studium und Praxis
Medizinische Verlags- und Informationsdienste, Breisach S.301f.

- (20) Nedden, D. zur, Wicke, K. (1992)
Der Eismann aus der Sicht der radiologischen u. computer-
tomographischen Daten.
Bericht über das internationale Symposium 1992 in Innsbruck.
Veröff. Universität Innsbruck S.187

- (21) Neher, S. (1975)
Möglichkeiten radiologischer Bildgebung analoger und digitaler Art für die
Archäologie. Freiburg, Univ. , Med. Fak. , Diss. , 1995, S.15-17

- (22) Pahl, W.M. (1993)
Altägyptische Schädelchirurgie
Untersuchung zur Differenzialdiagnose von Trepanationsdefekten und

zur Frage der Realisierung entsprechender Eingriffe in einem elab-
oriertem prähippokratischen Medizinsystem.

Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, N.Y.

- (23) Pschyrembel (1990)
Klinisches Wörterbuch 256.Auflage.
Walter de Gruyter, Berlin, NY,
- (24) Roberts, C., Manchester, K. (1995)
The Archeology of Disease
Cornell University Press Ithaca, N.Y. 205: 997
- (25) Röhrer, H., Olechnowitz, A.-F., (1980)
Maul- und Klauenseuche.
VEB Gustav Fischer Verlag Jena, S.12-21,242-245
- (26) Ruhemann, H. (1958)
Criteria for distinguishing additions from original paint.
Studies in Conservations 3, S.145-161
- (27) Schlette, F. (1974)
Wege zur Datierung und Chronologie der Urgeschichte.
Akademie Verlag, Berlin, S.78f
- (28) Schuster, B. (1995)
Die freien Frauen, Dirnen u. Frauenhäuser im 15. u. 16. Jahrhundert
Campus Verlag, Frankfurt / N.Y., S.342
- (29) Stengele, O., Beck, A. (1998)
Radiologische Untersuchung einer ägyptischen Mumie
MTA Fachzeitschrift der technischen Assistenten in der Medizin
13. Jahrgang D6513E

- (30) Schweizer, F.(1975)
Röntgenfluoreszenzanalytische Untersuchung eines Glasgemäldes
Kopie oder Original?
Arbeitsblätter der Restauratoren, Heft 1, Gruppe 19,
Naturwissenschaftliche Untersuchungen, S. 126-135

- (31) Sjøwold, T., Swedborg, I., Diener, I. (1974)
A pregnant Woman from the Middle Ages with exostosis multiplex
Ossa 1/74 3-22

- (32) Squire, L.F., Novelline, R.A. (1993)
Radiologie Grundlagen der klinischen Diagnostik.
Schattauer Verlag S.3-10

- (33) Taubert, J.(1968)
Zur kunstwissenschaftlichen Auswertung von naturwissenschaftlichen
Gemäldeuntersuchungen.
Inauguraldissertation Marburg 1956 .

- (34) Zetkin, M., Schaldach, H. (1978)
Wörterbuch der Medizin
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, NY., S.1501

- (35) Zollikhofer, C., Ponce de Leon, M., Vandermeersch, B., Leveque, F. (2002)
Evidence for interpersonal violence in the St. Césaire Neanderthal.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA. April 02. 30;99(9):6444-6448

VIII. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Fundamentals of Radiography, S.6, 25. Eastman Kodak Co. Rochester, N.Y.
- Abb. 2, 8: Squire, Noveline, Radiologie, Grundlagen der klinischen Diagnostik, S. 9, 27, Schattauer Stuttgart, N.Y.
- Abb. 3: Fundamentals of Radiography, S.6, 25. Eastman Kodak Co. Rochester, N.Y.
- Abb. 4, 6, 7: P. Thurn, E. Bücheler, Einführung in die rad. Diagnostik, 1992, S. 11, 23, 27.
- Abb. 5: A. Beck, Original oder Fälschung, 1990, S. Tab 20.
- Abb. 8: P. Thurn, E. Bücheler, Einführung in die rad. Diagnostik, 1992, S. 11, 23, 27.
- Abb. 9: Einzel-Detektor-Rotationsscanner. Siemens Handbuch "Somatom Plus 40®"
- Abb. 10: Mehrdetektor-Translations-Scanner (2.Generation). Siemens Handbuch "Somatom Plus 40®".
- Abb. 11: Rotationssystem mit beweglichem Detektorsystem (3.Generation). Siemens Handbuch "Somatom Plus 40®".
- Abb. 12: Rotationssystem mit stationären Detektoren (4.Generation). Siemens Handbuch "Somatom Plus 40®".
- Abb. 13: Schematische Darstellung des Entstehens eines Topogramms. Siemens Handbuch "Somatom Plus 40®".
- Abb. 14: Darstellung eines modernen Computertomographen. Siemens Handbuch "Somatom Plus 40®".
- Abb. 15: Schema des Gelenkspaltes beim Kind (Abb. aus: P. Thurn, E. Bücheler, Einführung in die rad. Diagnostik 1992, S. 55)
- Abb. 16: Klavikula re. u. li. Z.n Fraktur.
- Abb. 17: Klavikula re. u. li. Z.n Fraktur. (konventionell)
- Abb. 18: Humerus li. Z.n. verheilte Fraktur.
- Abb. 19: Humerus li. Z.n. verheilte Fraktur. (konventionell)
- Abb. 20: Tibia mit in Fehlstellung verheilte Fraktur.

- Abb. 21: Tibia mit in Fehlstellung verheilte Fraktur. (konventionell)
- Abb. 22: Tibia re. proximal deformiert.
- Abb. 23: : Tibia re. proximal deformiert. (konventionell)
- Abb. 24: Femur, Tibia, Fibula mit ankylosiertem Kniegelenk.
- Abb. 25: Femur, Tibia, Fibula mit ankylosiertem Kniegelenk. (konventionell)
- Abb. 26: Calcaneus u. ankylosiertes Os Cuboideum li.
- Abb. 27: Calcaneus u. ankylosiertes Os Cuboideum li. (konventionell)
- Abb. 28: Becken, Femur, Tibia re. + li. Sekundärgelenk u. Atrophie li.
- Abb. 29: Becken, Tibia re. + li. Sekundärgelenk u. Atrophie li. . (konventionell)
- Abb. 30: Femur, re. + li. Sekundärgelenk u. Atrophie li. (konventionell)
- Abb. 31: Einzelner Lendenwirbel mit starken Osteophyten.
- Abb. 32: Drei Lendenwirbel mit starken Osteophyten. (konventionell).
- Abb. 33: Halswirbel mit starken Osteophyten.
- Abb. 34: Halswirbel mit starken Osteophyten. (konventionell).
- Abb. 35: Becken re. mit kartilaginären Exostosen.
- Abb. 36: Becken re. mit kartilaginären Exostosen. (konventionell)
- Abb. 37: Humerus, Radius, Ulna, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk.
- Abb. 38: Radius, Ulna, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk. (konventionell)
- Abb. 39: Humerus, links mit degeneriertem Ellenbogengelenk. (konventionell)
- Abb. 40: Humerus, re. rachitisch verkrümmt.
- Abb. 41: Humerus, re. rachitisch verkrümmt. (konventionell).
- Abb. 42: Tibia + Fibula, li. Osteomyelitis.
- Abb. 43: Tibia + Fibula, li. Osteomyelitis, (konventionell).
- Abb. 44: Femur, re. Osteomyelitis.
- Abb. 45: Femur, re. Osteomyelitis. (konventionell)
- Abb. 46: Tibia (eines Säuglings), re. + li. , Osteomyelitis.
- Abb. 47: Tibia (eines Säuglings), re. + li. , Osteomyelitis (konventionell).
- Abb. 48: Tibia, re. Periostitis.
- Abb. 49: Tibia, re. Periostitis. (konventionell).
- Abb. 50: Tibia, re. , Syphilis.
- Abb. 51: Tibia, re. , Syphilis. (konventionell).
- Abb. 52: Tibia, re. , Syphilis. (CT.)
- Abb. 53: Femur, li., Auftreibung untere Schafthälfte.
- Abb. 54: Femur, li., Auftreibung untere Schafthälfte, prox. Anteil. (konventionell).

- Abb. 55: Femur, li., Auftreibung untere Schafthälfte, dist. Anteil. (konventionell).
- Abb. 56: Femur, li. mit Zyste im Trochanter Major.
- Abb. 57: Femur, li. mit Zyste im Trochanter Major. (konventionell).
- Abb. 57a: Femur, li. mit Zyste im Trochanter Major. CT, 4 Schnittebenen.
- Abb. 58: Calvarium mit verheilte Fraktur im li. Schläfenbereich.
- Abb. 59: Calvarium mit verheilte Fraktur im li. Schläfenbereich. (konventionell).
- Abb. 60: Os Frontale mit diskreter Impressionsfraktur.
- Abb. 61: Os Frontale mit diskreter Impressionsfraktur. (konventionell).
- Abb. 62: Schädel mit behandeltem Lochdefekt.
- Abb. 63: Schädel mit behandeltem Lochdefekt. (konventionell, seitr. Aufnahme).
- Abb. 64: Calvarium mit Trepanation.
- Abb. 65: Calvarium mit Trepanation. (konventionell, seitr. Aufnahme).
- Abb. 66: Calvarium mit Trepanation. (konventionell, rostrale Aufnahme).
- Abb. 67: Schädel mit fehlender Koronarnaht.
- Abb. 68: Schädel mit fehlender Koronarnaht. (konventionell, seitr. Aufnahme).
- Abb. 69: Schädel mit prämatuere Nahtsynostose der Sagittalnaht.
- Abb. 70: Schädel mit prämatuere Nahtsynostose der Sagittalnaht. (konventionell, seitr. Aufnahme).
- Abb. 71: Schädel mit prämatuere Nahtsynostose der Sagittalnaht. (konventionell, frontale Aufnahme).
- Abb. 72: Kinderschädel mit Hydrozephalus.
- Abb. 73: Kinderschädel mit Hydrozephalus. (konventionell, frontale Aufnahme).
- Abb. 74: Kinderschädel mit Hydrozephalus. CT, dreidimensionale Rekonstruktionen.
- Abb. 75: Peruanischer Mumien Schädel.
- Abb. 76: Peruanischer Mumien Schädel. (konventionell, seitr. Aufnahme).
- Abb. 77: Peruanischer mumien Schädel. CT, dreidimensionale Rekonstruktionen.