

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Institut für Rechtsmedizin  
- Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. B. Brinkmann -

---

Wundballistik bei Pfeilverletzungen

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

---

vorgelegt von Hubert Sudhues  
aus Hamm, Westfalen  
2004

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. B. Karger

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. R.H. Meffert

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 2004

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Institut für Rechtsmedizin  
- Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. B. Brinkmann -

Referent: Priv.-Doz. Dr. B. Karger

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. R.H. Meffert

## ZUSAMMENFASSUNG

Wundballistik bei Pfeilverletzungen

Sudhues, Hubert

**Ziele.** Beschaffung von Informationen über Ballistik und Verwundungspotential verschiedener Pfeile/Bolzen verschossen mit verschiedenen Waffen und Untersuchung der Vergleichbarkeit verschiedener Simulanzien mit experimentellen Pfeilwunden.

**Material und Methoden.** Ein Langbogen (Longbow), ein Compoundbogen (Compound Bow) und eine Armbrust (Crossbow) wurden benutzt um eine Vielfalt moderner und antiker Pfeile zu verschießen. Frische Leichen von 4 erwachsenen Schweinen (47 Schüsse) und Blöcke von Gelatine und Seife (48 Schüsse) wurden als Zielmedien benutzt, die resultierenden Wunden wurden untersucht. Bei einer Schussentfernung von 8 m wurde die Geschwindigkeit bei 3 m (und bei 16 m bei zusätzlichen Schüssen) mit einer Lichtschranke gemessen.

**Hauptergebnisse.** Die mittlere Geschwindigkeit betrug 45 m/s (Longbow) - 67 m/s (Compound). Die exzellente Außenballistik von Pfeilen führt zu einem nur geringen Geschwindigkeitsverlust von 0,10 - 0,18 m/s pro Meter. Die Penetrationstiefen waren reproduzierbar für dieselbe Pfeilspitze geschossen in dasselbe Simulanzmedium, unterschieden sich jedoch deutlich im Vergleich mit weichem Gewebe. In knochenfreiem Gewebe war die Penetrationstiefe beträchtlich (17 - 60 cm) und abhängig von der Geschwindigkeit und besonders vom Typ der Pfeilspitze. Alle Pfeile drangen tief in die großen Körperhöhlen ein und verletzten dabei Organe solange zuvor keine dicken Knochen perforiert werden mussten. Flache Knochen wie z.B. Rippen wurden immer perforiert. Die Extraktion von Pfeilspitzen aus dicken Knochen stellte sich in einigen Fällen als schwierig dar. Der Wundmechanismus war eine Kombination von Schnitt und Stich, was zu tiefer Gewebepenetration führte und sauber geschnittene Wunden produzierte.

**Schlüsse.** Gelatine und Seife sind nicht geeignet für experimentelle Pfeilwunden. Jede Pfeilwunde trägt ein tödliches Potential. Die Ernsthaftigkeit der Wunde hängt primär vom Zielgebiet und dem Typ der Pfeilspitze ab. Die Extraktion von Pfeilspitzen aus dicken Knochen muss vorsichtig ausgeführt werden.

**Schlüsselwörter:** Pfeil, Bogen, Armbrust, Ballistik, Penetrationstiefe, Verletzungspotential

**Tag der mündlichen Prüfung:** 22. Juli 2004

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Institut für Rechtsmedizin  
- Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. B. Brinkmann -

Referent: Priv.-Doz. Dr. B. Karger

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. R.H. Meffert

#### ABSTRACT

Wundballistik bei Pfeilverletzungen (Woundballistics in Arrow Wounds)

Sudhues, Hubert

**Objective:** To provide information on the ballistics and the wounding potential of different arrows or bolts fired from different weapons and to investigate the suitability of simulant media for experimental arrow wounds.

**Methods:** A longbow, a compound bow, and a crossbow were used to fire a variety of modern and ancient arrows. Fresh corpses of four adult pigs (47 shots) and blocks of gelatin and soap (48 shots) were used as target media, and the resulting wound tracts were examined. The range of fire was 8 m and the velocity was recorded at a distance of 3 m (and 16 m in additional shots) by light screen devices.

**Results:** The mean velocities recorded ranged from 45 m/s (longbow) to 67 m/s (compound bow). The excellent exterior ballistics of arrows results in only a small initial decrease in velocity of 0.10 to 0.18 m / s per meter. The penetration depths were reproducible for the same arrowhead fired into the same simulant medium but differed considerably when compared with those in soft tissue. In nonbone tissue, the penetration depth was substantial (17-60 cm) and depended on velocity and especially on the type of arrowhead. All arrows penetrated deeply into the large body cavities and injured organs as long as no thick bone had to be perforated. Flat bones such as ribs were always perforated. Extraction of arrowheads from thick bone proved to be difficult in some cases. The wounding mechanism was a combination of incision and puncture, which facilitated deep penetration of tissue and produced clean-cut wounds.

**Conclusion:** Gelatin and soap are not suitable for experimental arrow wounds. Every arrow wound carries a lethal potential. The severity of the wound depends primarily on the target area and the type of arrowhead. Extraction of arrowheads from thick bone has to be performed carefully.

**Key Words:** Arrow, Bow, Crossbow, Ballistics, Penetration depth, Wounding potential.

**Für  
Dr. med. Mechtild Sievers  
und  
Dr. med. Hans-Jürgen Hoepfener  
in Dankbarkeit.**

**Ich lebe mein Leben in wachsenden Ringen  
Die sich über die Dinge ziehn.  
Ich werde den letzten vielleicht nicht vollbringen  
Aber versuchen will ich ihn.**

**Rainer Maria Rilke - Das Stunden-Buch**

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Geschichte des Bogenschießens.....	1
1.2. Medizingeschichte.....	9
1.2.1. Paläopathologie und Archäologie.....	9
1.2.2. Pfeilwunden und ihre Behandlung.....	12
1.2.2.1. Vorgeschichte und archaische Völker.....	12
1.2.2.2. Antike.....	12
1.2.2.3. Mittelalter.....	17
1.2.2.4. Renaissance.....	19
1.2.2.5. Neuzeit.....	23
1.2.3. Pfeile als Krankheitssynonyma.....	25
1.2.4. Pfeil und Bogen als Therapeutikum.....	26
1.2.5. Zusammenfassung.....	27
1.3. Theoretische Grundlagen des Bogenschießens.....	28
1.3.1. Bogen.....	28
1.3.2. Armbrust.....	34
1.3.3. Pfeil.....	37
1.3.3.1. Pfeilschaft.....	37
1.3.3.2. Pfeilspitzen.....	38
1.3.3.3. Pfeilgifte.....	40
1.3.4. Ballistik des Bogenschießens.....	40
1.3.4.1. Physikalische Grundlagen.....	40
1.3.4.2. Ballistik.....	42
1.3.5. Sportmedizinische Aspekte des Bogen- und Armbrustschießens.....	46
1.3.6. Schlussbemerkung aus forensicher Sicht.....	47
1.4. Kasuistiken.....	48
1.4.1. Unfall.....	48
1.4.1.1. Spiel.....	48
1.4.1.2. Sport.....	50
1.4.1.3. Jagd.....	53
1.4.1.4. Sonstige Unfälle.....	56
1.4.2. Suizid / Suizidversuch.....	56
1.4.3. Mord / Mordversuch.....	57
1.4.4. Krieg.....	57
1.4.5. Zusammenfassung Kasuistik.....	60
2. Material und Methoden.....	61
2.1. Langbogen.....	61
2.1.1. Bogen.....	61
2.1.2. Pfeilschäfte, Befiederung, Nocken.....	61
2.1.3. Pfeilspitzen.....	62
2.1.3.1. Querschnittsbelastung $S$ (g/mm <sup>2</sup> ).....	65
2.2. Compound-Bogen.....	67
2.2.1. Bogen.....	67
2.2.2. Pfeilschäfte.....	68
2.2.3. Pfeilspitzen.....	68
2.3. Armbrust.....	70
2.3.1. Armbrust.....	70
2.3.2. Pfeilschäfte.....	70
2.3.3. Pfeilspitzen.....	71
2.4. Pistolenarmbrust.....	71
2.5. Kraft-Zug-Kurve der im Experiment verwendeten Bögen.....	71
2.6. Synopse der verwendeten Pfeilspitzen.....	73
2.7. Pfeilgeschwindigkeitsmessungen und abgeleitete Parameter.....	74
2.8. EDV.....	74

2.9. Schussversuche an toten Schweinen.....	75
2.10. Penetrationsversuche an Gelatine- und Seifenblöcken.....	75
2.11. Dokumentation und Auswertung.....	75
2.11.1. Pfeilmarkierung und Identifizierung.....	75
2.11.2. Pfeilmasse und Querschnittsbelastung S.....	76
2.11.3. Distanz .....	76
2.11.4. Penetrationstiefe Pd.....	76
3. Ergebnisse.....	77
3.1. Geschwindigkeitsmessungen.....	77
3.2. Simulantien.....	79
3.2.1. Penetration in Seife.....	79
3.2.1.1. Langbogen.....	79
3.2.1.2. Compoundbogen .....	80
3.2.1.3. Armbrust.....	80
3.2.1.4. Zusammenfassung der Penetrationsergebnisse in Seife.....	81
3.2.2. Penetration in Gelatine.....	81
3.2.2.1. Langbogen.....	81
3.2.2.2. Compoundbogen .....	82
3.2.2.3. Armbrust.....	83
3.2.2.4. Zusammenfassung der Penetrationsergebnisse in Gelatine.....	84
3.2.3. Morphologie des Schusskanals.....	84
3.2.3.1. Temporäre Höhle .....	84
3.2.3.2. "Bugwellenphänomen" .....	84
3.2.3.3. Gelatine mit eingebetteten Kunstknochen.....	85
3.2.3.4. Schraubenförmiger Schusskanal.....	87
3.2.4. Synopse der Experimente in Simulantien zur Penetration/Morphologie.....	88
3.3. Schussversuche an toten Schweinen.....	89
3.3.1. Penetration bei Weichteiltreffern.....	90
3.3.1.1. Langbogen.....	90
3.3.1.2. Compound .....	91
3.3.1.3. Armbrust.....	92
3.3.2. Penetration bei aufgesetzten Schüssen.....	92
3.3.3. Penetration bei Knochentreffern.....	94
3.3.3.1. Langbogen.....	94
3.3.3.2. Compound.....	95
3.3.3.3. Armbrust.....	96
3.3.4. Zusammenfassung Penetration Schweine.....	96
3.3.5. Wundmorphologie.....	96
3.3.5.1. Einschusswunden .....	97
3.3.5.2. Ausschusswunden .....	101
3.3.5.3. Weichteil- und Knochenverletzungen .....	101
3.4. Veränderungen an Pfeilen und Pfeilspitzen .....	114
3.4.1. Veränderungen nach Simulans- oder Weichteiltreffern .....	114
3.4.2. Veränderungen nach Knochentreffern.....	114
4. Diskussion .....	119
4.1. Allgemeines.....	119
4.2. Geschwindigkeitsmessungen.....	119
4.3. Penetration in Simulantien.....	119
4.4. Penetration in Weichteilen.....	120
4.5. Penetration in Knochen.....	121
4.6. Wundmorphologie und Verletzungsmechanismus .....	122
4.7. Praktische Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	124
5. Zusammenfassung.....	125
6. Literatur .....	126
6.1 Quellen.....	126
6.2 Bibliographien.....	136



6.3 Enzyklopädien .....	136
Abbildungsverzeichnis .....	137
Tabellenverzeichnis .....	140
Danksagung.....	142
Lebenslauf .....	143

## **Vorwort**

Harm Paulsen vom Archäologischen Landesmuseum in Schleswig meinte vor einigen Jahren zu mir, Archäologen hätten teilweise Schwierigkeiten, beim Fund einer Pfeilspitze in einem Grab zwischen Grabbeigabe und Todesursache zu unterscheiden. Diese zugegebenermaßen pointierte Formulierung und seine direkte Aufforderung an mich als Arzt und Bogenschützen, an diesem Umstand etwas zu ändern, gaben den Anstoß zu dieser Arbeit.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit durch Pfeil und Bogen bzw. Armbrust und Bolzen hervorgerufenen Verletzungen und stellt so einen Annäherungsversuch an einen alten Wundtyp dar. Dieser Wundtyp ist seit einigen Jahren - im Rahmen der Renaissance von Bogensport und Bogenjagd seit Anfang des 20. Jahrhunderts - sowohl im Zusammenhang mit Jagd-, Sport- und Spielunfällen als auch im Zusammenhang mit Mord- und Suizidfällen wieder häufiger anzutreffen. Auch der Einsatz des Bogens als Kriegswaffe soll nicht vergessen werden: Nicht nur "primitive" Völker, auch hochgerüstete Armeen haben den Bogen im 20. Jahrhundert eingesetzt.

Zwangsläufig müssen sich daher sowohl Rechtsmediziner als auch, in den glimpflicher verlaufenden Fällen, chirurgisch tätige Ärzte mit diesem Wundtyp auseinandersetzen. Bisher sind Pfeilverletzungen überwiegend als Einzelfälle publiziert worden. Ich versuchte daher in der vorliegenden Arbeit, einen Überblick über diese auf die verschiedensten Fachzeitschriften verstreuten Fälle zu verschaffen.

Da sich mir in den medizinischen Publikationen teilweise gravierende Wissenslücken über Physik, Technik und Praxis des Bogenschießens offenbarten sah ich mich genötigt, in einer für eine medizinische Dissertation unverhältnismäßig umfangreichen Einleitung die Grundlagen darzustellen. Man möge mir dies verzeihen.

Der Schwerpunkt meiner Untersuchung liegt jedoch auf experimentell erzeugten Pfeilwunden.

Hubert Sudhues

Bocholt, 24 Februar 2004

# 1. Einleitung

## 1.1. Geschichte des Bogenschießens

Als die Erde jung war beherrschten drei große Ungeheuer die Welt: Sie vernichteten die Ernte, vertrieben das Wild und töteten die Menschen. Die Paiute waren zu schwach und ungeübt in der Kriegsführung um die Ungeheuer herausfordern zu können oder sich selbst gegen die Boshaftigkeit dieser Bestien zu schützen. Schließlich rettete ihr Gott Shinob die Paiute. Aus einem Regenbogen machte er einen mächtigen Bogen, und aus entwurzelten, ausgewachsenen Bäumen Pfeile. Als Pfeilspitzen benutzte er Blitze. Mit diesen Waffen ausgerüstet vertrieb Shinob die Ungeheuer und brachte den Frieden auf die Erde.

**Paiute-Mythos**<sup>175</sup>

Solche und andere Mythen existieren rund um den gesamten Erdball. Die Erfindung des Bogens verliert sich im mythischen Nebel der Geschichte: Erfindungsort und -zeit können von der Archäologie nicht exakt bestimmt werden. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass sowohl Bögen als auch Pfeile aus organischen Materialien hergestellt wurden, die die Zeit nicht überdauern haben. Erst mit der Verwendung von Pfeilspitzen aus Knochen und Stein (z.B. Flint, Obsidian) hinterließen unsere Vorfahren eindeutig zu datierende Belege für die Verwendung von Pfeil und Bogen. Trotzdem gibt es Anhaltspunkte dafür, dass der Bogen bereits seit ca. 20.000 Jahren vom Menschen benutzt wird.



Abb. 1.1.-1: Steinbock- oder Wildziegenjagd im Mesolithikum.

Cueva de los Caballos, Spanien<sup>178</sup>

Stock und Stein waren die ersten Werkzeuge und Waffen des Menschen. Die Erfindung und Weiterentwicklung von Waffen war erforderlich, weil der Jäger "Mensch" sowohl potentiellen Beutetieren als auch Raubtieren im Bezug auf die Sinnesleistungen (insbesondere Sehen, Riechen und Hören) sowie im Bezug auf Kraft, Geschwindigkeit und ,natürliche Bewaffnung" (Zähne und Klauen) hoffnungslos unterlegen war. Ehrenreich behauptet sogar, der Mensch sei

ursprünglich nicht Jäger, sondern Beute gewesen und erst auf dem Umweg des Aasfressers zum Jäger geworden. <sup>47,178</sup>

Dem Faustkeil als der wohl ältesten Waffe der Menschheit folgte der Speiß, der wegen des immer noch engen Kontaktes zur Jagdbeute das Verletzungsrisiko des Jägers nur unwesentlich reduzierte. Der Speer als erste Distanzwaffe und die Speerschleuder (Atlatl) ermöglichten eine zunehmend größere Distanz und Effektivität bei der Jagd und natürlich auch in kriegerischen Auseinandersetzungen. Der Atlatl war die erste aus mehreren Teilen bestehende Distanzwaffe. Der Bogen jedoch ermöglichte es, eine große Anzahl von Projektilen platzsparend mitzuführen und auf große Distanz zielgenauer als mit dem Atlatl zu platzieren. Damit konnte sich der steinzeitliche Jäger auch der sich ändernden Wildpopulation (Aussterben des Großwildes wie Mammut und Wollnashorn) anpassen und auf flüchtiges Wild wie Ren etc. mit guter Aussicht auf Erfolg Jagd machen. <sup>54, 177, 178</sup>

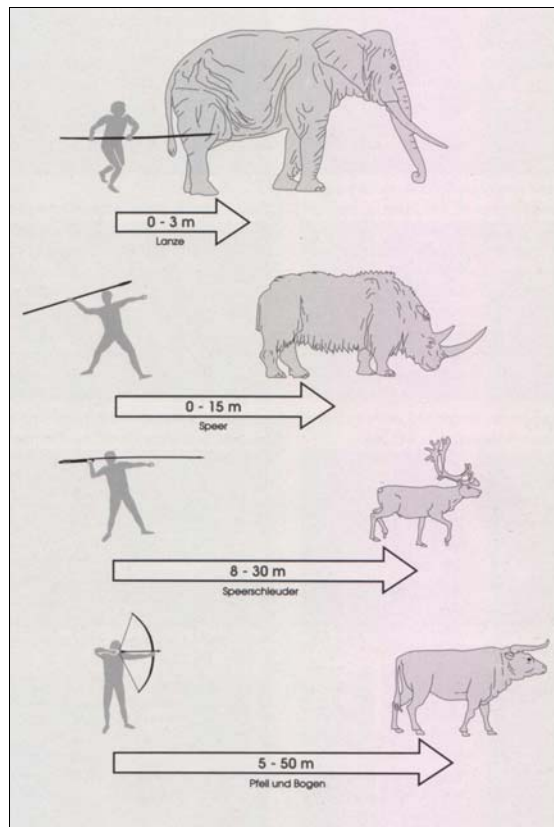


Abb. 1.1.-2: Jagddistanzen <sup>178</sup>

Die ältesten Steinspitzenfunde (Cueva de Parpallo, Valencia, Spanien) werden auf ca. 18.000 - 16.000 v.Chr. datiert, können aber nicht sicher als Pfeilspitzen identifiziert werden weil ähnliche Spitzen auch im Zusammenhang mit dem Atlatl benutzt wurden. In der Grotte 'des Fadets' (Dép. Vienne, Frankreich) wurde eine Kalksteinplatte mit der Gravierung einer menschlichen Gestalt gefunden, die möglicherweise einen Bogen in der Hand hält. Das Alter dieser Platte wurde auf ca. 11.000 - 10.000 v.Chr. geschätzt. Die bislang weltweit ältesten eindeutigen

Belege für das Vorhandensein der Bogenwaffe stellen die aus Kiefernspaltholz hergestellten Pfeile vom Fundplatz Stellmoor bei Hamburg dar. Diese mit Vorschaft (1), präzisiertem Verbindungsstecksystem (2) und Feuersteinspitze (3) ausgerüsteten Pfeile repräsentieren eine weit fortgeschrittene Technologie und datieren auf ca. 9.000 - 8.000 v.Chr.

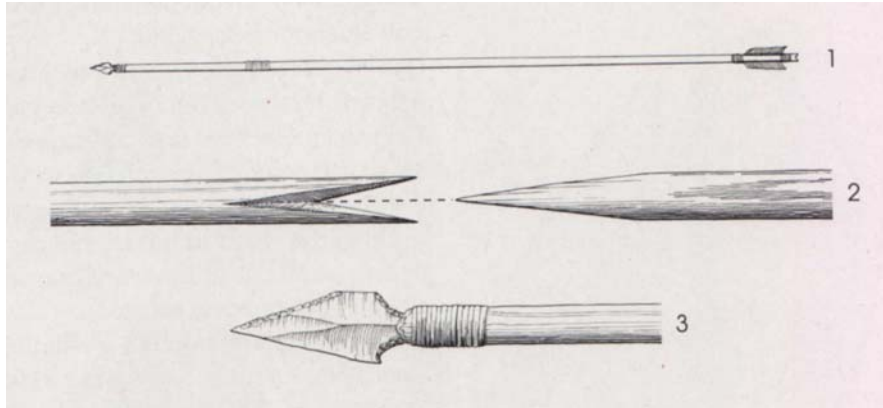


Abb. 1.1.-3: Stellmoor-Pfeil <sup>178</sup>

Der älteste Bogen, in den vierziger Jahren im Holmegaard-Moor auf Seeland, Dänemark, gefunden, datiert auf ca. 8.000 v.Chr. Auch hier zeugt das Design dieses Bogens von gehobenem 'Know-how'. <sup>11, 12, 28, 178</sup>

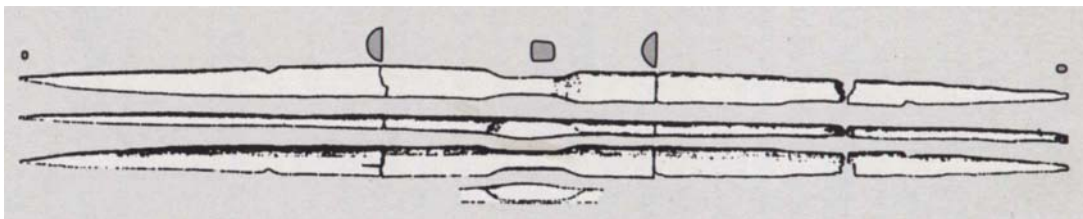


Abb. 1.1.-4: Holmegaard-Bogen <sup>178</sup>

Einen Beleg dafür, dass die Jagdwaffe 'Bogen' schon sehr früh auch als Kampfwanne benutzt wurde, liefert eine mesolithische Felsmalerei (ca. 8000 v.Chr.) von 'les Dogues' (Castellón, Frankreich): Zwei Gruppen von Bogenschützen stehen sich im Schlachtgetümmel gegenüber, wobei auch ein Halbreflexbogen (Kreisausschnitt) zu erkennen ist. <sup>10</sup>

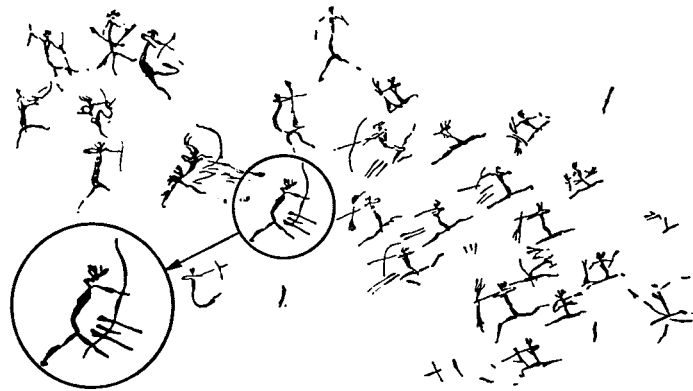


Abb. 1.1.-5: Mesolithische Darstellung einer Schlacht. Felsmalerei von 'les Dogues' <sup>10</sup>

Aber auch indirekt lässt sich die Existenz des Bogens belegen:

An neolithischen Skeletten (ca. 5.000 v.Chr.) wurden für Bogenschützen geradezu physiognomische Veränderungen nachgewiesen mit einseitiger Biceps-brachii-Enthesiopathie (Indikator für chronische Beugung des 'Zugarmes' unter Last) kombiniert mit für chronische submaximale Beugung typischer Ulnarveränderung im Bereich des Proc. coronoideus und gleichzeitiger kontralateraler Triceps-brachii-Enthesiopathie (Indikator für chronische Streckung des 'Bogenarmes') kombiniert mit typischen (Druck-)Veränderungen im Olecranon-Bereich. „These observations indicate that the right arm was submaximally flexed at the elbow against a strong force with an external rotation of the shoulder, while the left arm was extended and submitted to compressive force. This corresponds perfectly to the movement of an archer.“ <sup>42</sup>

Am 19 Juli 1545 sank vor dem Hafen von Portsmouth die *Mary Rose*, das Flaggschiff Heinrich VIII., wobei fast die gesamte Besatzung (415 Mann) ertrank. Musterrolle, Materialliste („Anthony Roll“) und umfangreiche Funde im Rahmen der Wrackbergung 1982 belegen die Anwesenheit von Bogenschützen an Bord. Vergleichende Untersuchungen der geborgenen Skelette erlaubte es, einige von Ihnen als Bogenschützen zu identifizieren: Sie wiesen deutliche Asymmetrien im linken Schulterbereich auf. Der linke Arm ist in der überwiegenden Zahl der Fälle der Bogenarm, der starke Druck in der linken Schulter führte zu einer Vergrößerung des Humeruskopfes und des Tuberculum majus sowie in einigen Fällen zur Ausbildung eines Os acromiale, sonst eine eher seltene anatomische Variante. <sup>173, 174</sup>

1991 wurde als archäologischer "Jahrhundertfund" auf dem Hauslabjoch in den Öztaler Alpen die Gletschermumie eines ca. 5.300 Jahre alten Mannes ("Ötzi") mit kompletter Ausrüstung entdeckt. Wesentlicher Bestandteil dieser Ausrüstung war ein Langbogen sowie ein mit 14 Pfeilen gefüllter Köcher. <sup>46</sup>

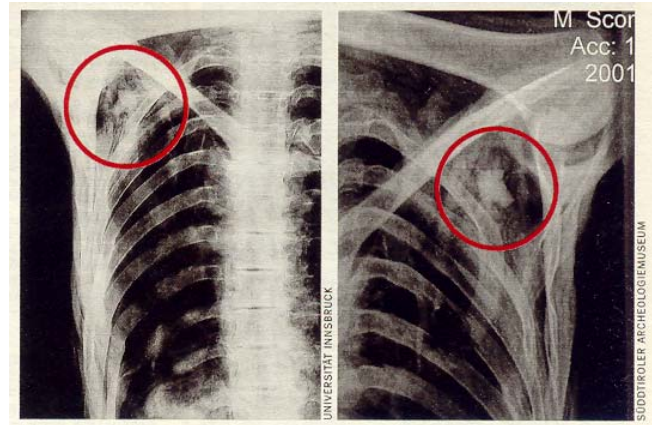


Abb. 1.1.-6: Todesursache eines archäologischen Jahrhundertfundes.<sup>176</sup>

2001 wurde nach intensiver Forschung schließlich die Todesursache des Mannes vom Hauslabjoch entdeckt: Eine durch das Schulterblatt in die Thoraxweichteile eingedrungene Feuerstein-Pfeilspitze!<sup>176</sup>

Pfeil und Bogen blieben für Jahrtausende die Hauptdistanzwaffe des Menschen und wurden in den verschiedenen Kulturen sehr unterschiedlich bewertet: Den Griechen der Antike galten sie als Waffe des Feiglings, der den unmittelbaren Nahkampf fürchtete. Auch bei den Germanen war der Bogen nur Jagdwaffe; im Krieg galt er laut Tacitus als knabenhaft und tückisch. Den Engländern des Mittelalters galt das Bogenschießen als „ehrbarste Freizeitbeschäftigung“, „damit die Männer es als sicherste Waffe im Kriege handhaben könnten.“<sup>163</sup> Vielen orientalischen und asiatischen Kulturen galt der Bogen als königliche Waffe. So wie die Balearen nach der Schleuder benannt waren, so war 'Ägypter' oder 'Kreter' gleichbedeutend mit 'Bogenschütze'. Die Assyrer führten berittene Bogenschützen ein, und bei den Reitervölkern der Steppe - Skythen, Partern, Hunnen, Sarmaten - war der Kompositbogen die Hauptwaffe. Bei den alten Persern musste jeder Junge drei Dinge lernen: Reiten, Bogenschießen und die Wahrheit sagen!<sup>53, 129</sup>

To ride, shoot straight and speak the truth –  
 This was the ancient Law of Youth.  
 Old times are past, old days are done,  
 But the Law runs true, O little son.

Charles T. Davis

Die Armbrust wurde ca. 400 v.Chr. im China der späten Tschou-Dynastie erfunden.<sup>206</sup> Vorteile dieser Entwicklungen waren das durch die Mechanik ermöglichte höhere Zuggewicht und die damit gesteigerte Durchschlagskraft. Später (ca. 100 n. Chr.) wurde sogar eine Mehrladearmbrust (siehe "Grundlagen) mit aufgesetztem Magazin und Pumphebelspannung

konstruiert, die zwar kein genaues Zielen zuließ, dies aber durch eine Art Maschinengewehrgarbenwirkung aufwog.<sup>79, 129</sup>

Die neue Erfindung muss sich schnell ausgebreitet haben: In den "Lehrreden der mittleren Sammlung" (Majjhimanikaya, 63. Malunkyauputta - Kleines Sutta) erwähnt der Buddha (ca. 560 - 480 v.Chr.) im Rahmen eines Gleichnisses neben Bogen und Giftpfeil auch die Armbrust. Zwar kann der historische Buddha die Armbrust nicht gekannt haben, da sie erst nach seinem Tod erfunden wurde; trotzdem dokumentiert dieses Sutta die rasche Ausbreitung der Armbrust nach Nordindien, da die Lehrreden des Buddha kurz nach seinem Tode auf dem ersten buddhistischen Konzil fixiert wurden und nachfolgende Bearbeitungen und Umstellungen bis zum Beginn unserer Zeitrechnung lange abgeschlossen waren.<sup>161</sup>

Auch im griechisch-römischen Altertum war die Armbrust unter dem griechischen Namen Gastraphetes ('Bauchgewehr') bekannt, wobei hiermit wohl der Spannvorgang umschrieben ist: Die Säule der Armbrust wird zum Spannen des Bogens zwischen Boden und Bauch festgeklemmt. Die nach dem Armbrust-Prinzip arbeitenden Feldgeschütze der Römer waren vermutlich auch Namensgeber der Armbrust (von lat. "*arcuballista*" - lat. "*arcus*" = Bogen, gr. "*bállein*" = werfen (über afrz. "*arbalestre*" und mhd. "*berust*" = rüsten)).<sup>99, 129, 162, 206</sup>

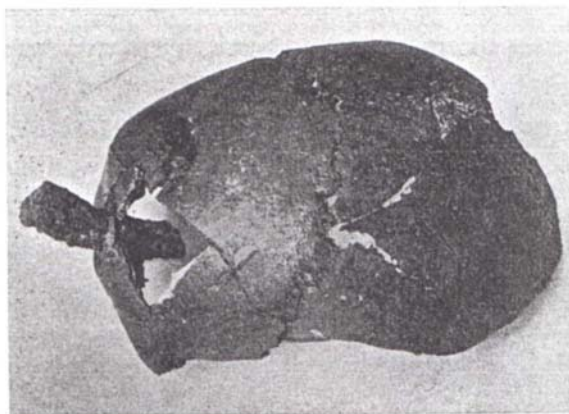


Abb. 1.1.-7: Maiden Castle - Schädelverletzung durch „arcuballista“<sup>197</sup>

Im Gefolge des zunehmenden Einsatzes der Armbrust im Mittelalter wurde 1138 von Innozenz II. ein päpstliches Edikt erlassen, das die Anwendung der 'allzu mörderischen' Armbrust gegen Christen untersagte, gegen Ungläubige und Ketzler aber ausdrücklich als 'angebracht' empfand. Beachtung fand dieses Edikt nicht.<sup>53, 100, 129, 141</sup>

Die Hochzeit des europäischen Rittertums wurde durch die Schlachten des Hundertjährigen Krieges zwischen England und Frankreich (Grecy 1346, Poitiers 1356, Agincourt 1415) am Ausgang des Mittelalters in Frage gestellt und schließlich beendet: Selbst gegen gepanzerte Ritter (Kavallerie) war der massierte Einsatz des englischen Langbogens (Infanterie) verheerend. Die Armbrust war nicht nur in Grecy wegen der niedrigen Feuerfrequenz (1/Min.) dem englischen Langbogen (>12/Min.) hoffnungslos unterlegen.<sup>5, 78, 79, 151</sup>



Auch den Reiterbögen der „Goldenen Horde“, der Mongolen Dschingis Khan's, und der von Dschingis Khan's General Subotai angewandten flexiblen Taktik auf der Basis der Strategeme Sunzi's hatte die schwer gepanzerte und damit unbewegliche Ritterschaft Europas nichts mehr entgegen zu setzen: Die Schlachten von Liegnitz (30.000 Tote), Gran (Vernichtung einer kompletten ungarischen Armee), Sajo (80.000 Tote) und Pest (100.000 Tote) im Jahre 1241 waren regelrechte Massaker. Subotai's Europa-Feldzug kostete über 1.000.000 Menschen das Leben, weswegen die Mongolen auch als „Tartaren“ (von gr. "tartaros" = Unterwelt = „Wesen aus der Hölle“) bezeichnet wurden. Zwei Ursachen verhinderten im Jahre 1242 den Durchmarsch der zu diesem Zeitpunkt unbesiegbaren Mongolen bis zum Atlantik, der die abendländische Geschichte sicherlich nachhaltig verändert hätte: Der Tod des 2. Khan Ogodai am 11.12.1241 erforderte die Teilnahme Subotai's an der Neuwahl des Khan und damit den Rückzug des Heeres. Die Milzbranddurchseuchung Ungarns trug, wie Winkle vermutet, ebenfalls nicht unwesentlich zum Rückzug der Mongolen bei. <sup>78, 79, 86, 183, 200</sup>

In der kriegerischen Auseinandersetzung wurde der Bogen erst durch das Auftreten der Armbrust resp. der Feuerwaffen am Ende des Mittelalters verdrängt, weil Armbrust- und Musketenschützen leichter auszubilden und somit billiger waren (Söldnertum: Kein Kreuzer - kein Schweizer.). Sichere Beherrschung des Bogens aber setzt jahrelanges Training voraus. Edward IV. (1442-1483) erließ deshalb eine Verordnung, die jedem männlichen Untertan ab dem sechsten Lebensjahr vorschrieb, sich sonntags nach dem Kirchgang im Bogenschießen zu üben. Heinrich VIII. (1491-1547) verbot aus gleichem Grunde das Fußballspiel und ähnlich unnützen Zeitvertreib zugunsten des Bogenschießens. <sup>79, 115</sup>

Verdrängt wurde die Armbrust als Kriegswaffe erst gegen Ende des 16. Jahrhunderts durch die Einführung effektiver Schusswaffen, als Jagdwaffe war sie aber wegen ihrer Lautlosigkeit weiterhin beliebt. Zu Zeiten summarischen Waffenverbotes, wie im Nachkriegsdeutschland nach 1945, war sie eine der Jagdwaffenmöglichkeiten schlechthin. Als traditionelle Waffe zum "Vogelschießen" ist sie bei Schützengilden immer noch im Gebrauch. <sup>120, 129</sup> Auch in Westafrika und in Nordthailand (*Hmong*) wird die Armbrust heute noch zur Jagd benutzt. <sup>79, 113</sup>

In den Nordamerikanischen Indianerkriegen des 19. Jahrhunderts war der Bogen durchaus noch eine gefürchtete Waffe. Erst mit Einführung der Repetiergewehre konnten die bis dahin sowohl an Feuerfrequenz als auch an Präzision überlegenen Indianer besiegt werden. Aus dem gleichen Grund hatte aber noch Benjamin Franklin (1706-1790) während des amerikanischen Unabhängigkeitskrieges vorgeschlagen, die schwerfällige Muskete durch den altbewährten englischen Langbogen zu ersetzen. <sup>23, 105, 129</sup>

Im 20. Jahrhundert wurde und wird der Bogen noch in Südamerika, Afrika, der arabischen Halbinsel, Indien und auf Papua-Neu Guinea sowohl zur Jagd als auch in kriegerischen Auseinandersetzungen von der einheimischen Urbevölkerung benutzt. 1977 gab es z.B. auf der Basis von Landstreitigkeiten in der Provinz Enga auf Papua-Neu Guinea Stammeskriege, in deren Folge allein im Immanuel Hospital, Wapenamanda, 187 Verletzte eingeliefert wurden, davon 67 mit Pfeilverletzungen, wobei lediglich eine knöcherne, ansonsten aber ausschließlich

hölzerne Pfeilspitzen benutzt wurden. Dies entspricht der Kulturstufe: Mittel-/Jungpaläolithikum (150.000-40.000 v.Chr.).<sup>54, 108</sup> Im II. Weltkrieg wurden noch ca. 5.000 Soldaten unter anderem von in Norwegen operierenden britischen Kommandoeinheiten mit Pfeil und Bogen getötet.<sup>86</sup> Auch im Vietnam-Krieg kam der Bogen noch zur Anwendung.<sup>6, 27</sup>

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde durch u.a. Saxton Pope eine Renaissance des sportlichen und jagdlichen Bogenschießens ausgelöst.<sup>142, 143, 144</sup> In Nordamerika gibt es heute ca. 2,5 Millionen Bogenschützen, von denen nicht wenige mit Pfeil und Bogen auf die Jagd gehen. Auch in vielen Ländern Europas (z.B. Frankreich, Italien, Polen) ist die Bogenjagd erlaubt, nicht jedoch in Deutschland. Im Zuge der Harmonisierung des europäischen Jagdrechtes ist die Wiedereinführung des Bogens als Jagdwaffe in Deutschland denkbar.

Eine annähernd genaue Schätzung der Anzahl der Bogen- und Armbrustschützen ist heute national wie international so gut wie unmöglich, da Doppelmitgliedschaften in den verschiedenen Verbänden die Zahl falsch hoch, der ausgeprägte Individualismus der Bogenschützen und die damit zusammenhängende Verweigerung jedweder Organisation die Zahl jedoch falsch niedrig erscheinen ließen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

Die Erfindung des Bogens als erster "Maschine" markiert den revolutionären Schritt des Homo sapiens zum "Homo technicus"; sie wird daher in der Encyclopädia Britannica in einem Atemzug genannt mit der Erfindung des Feuers, des Rades und der Sprache.<sup>41, 205</sup>

Pfeil und Bogen haben im Laufe der Geschichte mehr Menschen getötet als jede andere Waffe.<sup>86</sup>

Dem Bogen als „Waffe“ steht gleichberechtigt der Bogen als „Werkzeug“ und als „Instrument“ zur Seite: Alle Saiteninstrumente stammen vom Musikbogen ab, alle Bohrmaschinen, Drehbänke usw. vom Feuerbohrer.<sup>179, 180, 181</sup>

## 1.2. Medizingeschichte

"Few realize the bow and arrow has been the greatest killer of men in history –greater than the machine gun, the cannon, and even the atomic bomb." Vic Hurley <sup>86</sup>

### 1.2.1. Paläopathologie und Archäologie

Der Archäologe **Henri Martin** prägte am Anfang des 20. Jahrhunderts den Begriff "anthropoblème" (von gr. anthropos = Mensch und blêma = Schlag), womit er von Menschen an Menschen verursachte Verletzungen, mithin Kriegsverletzungen, meinte. Ein gutes Beispiel für eine derartige prähistorische Verletzung ist ein 1876 von Prunières in einem Dolmengrab ausgegrabener Lumbalwirbel mit im Wirbelkörper eingebetteter Silex-Pfeilspitze: Der Tod muss unmittelbar durch die Verletzung der Aorta eingetreten sein. <sup>34</sup>

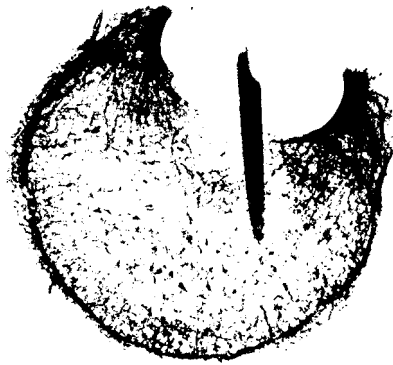


Abb. 1.2.–1: Von dorsal in einen Wirbel eingedrungene knöcherne Pfeilspitze <sup>79</sup>

Zahlreiche derartiger Funde, teilweise gehäuft (Saint Georges de Lévézac (Friedhof?); Srinagar (Schlachtfeld?)), belegen die Tatsache, dass derartige Auseinandersetzungen keine Seltenheit waren. 1877 wies **Cazalis de Fondouce** auf das Problem "**Todesursache oder Grabbeigabe**" hin: Nur im Knochen fixierte Pfeilspitzen belegten für den Archäologen eine Verletzung; Pfeilspitzen im Fundzusammenhang (z.B. nach Weichteilverletzung) könnten auch Grabbeigaben sein... <sup>34</sup> Als Beispiel sei hier ein englischer Fund erwähnt: Bei den Grabungen in Maiden Castle, Dorset, konnte bei 2 Opfern eines im Rahmen der römischen Invasion nach Britannien verübten Massakers (ca. 44 n.Chr.) von einer römischen Ballista abgeschossene Pfeile als Todesursache diagnostiziert werden (Pfeilspitze im Schädel bzw. in der LWS). Einem Opfer jedoch war ein Pfeil offensichtlich als Grabbeigabe in die Hände gelegt worden. <sup>197</sup> Dass die Paläopathologie teilweise rechtsmedizinische Methoden anwenden muss, <sup>17</sup> belegt folgender Fall: Bei den Ausgrabungen in Wisby, Schweden (Schlacht von Wisby 1361) wurden zahlreiche Skelette eindeutig von Armbrustbolzen getöteter Kombattanten gefunden (Verbleib der Spitze im Knochen). Andere Skelette wiesen lediglich die typischen quadratischen

Lochdefekte z.B. im Schädel auf. Wieder andere Schädel wiesen multiple derartiger quadratischer Lochdefekte auf. Diese Häufung war unmöglich mit mehrfachen Pfeiltreffern zu erklären.<sup>186</sup>



Abb. 1.2.-2: Schädel aus Wisby mit fraglichen Bolzeneinschüssen und großem oktagonalem Defekt (Streitax?)<sup>186</sup>

Als Lösung des Rätsels fanden sich bei der Ausgrabung grobe Nägel, die offensichtlich als Beschläge hölzerner Keulen bzw. des zu dieser Zeit durchaus üblichen "Morgensterns" dienten, einer vom Kriegsflügel abgeleiteten Schlagwaffe, die aus einer nagelbeschlagenen (hölzernen) Kugel bestand, die mittels einer Kette an einem Knüppel befestigt war. Derartige „Totschläger“ konnten mit dem Verletzungsbild der "multiplen Armbrusttreffer" zur Deckung gebracht werden.

<sup>186, 196, 207</sup>

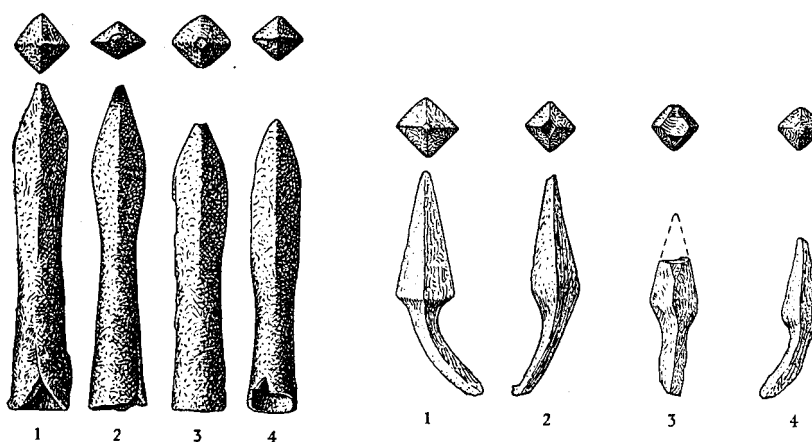


Abb. 1.2.-3: Spitzen von Armbrustbolzen und Morgenstern-Nägel aus Wisby<sup>186</sup>

1932 wurden in Wien-Leopoldau die Überreste eines Mannes aus der Völkerwanderungszeit gefunden: Der dritten Lendenwirbel war von rechts vorne mit einer eisernen Pfeilspitze getroffen worden, zusätzlich fanden sich am Schädel zwei schwere Kopfverletzungen, "die von einem Schwert stammen dürften".<sup>65</sup>

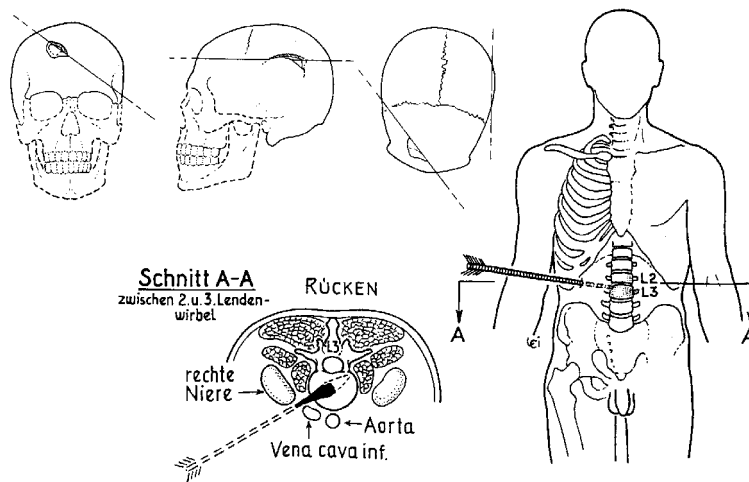


Abb. 1.2.-4: Leopoldau - Verletzungen durch Schwert und Pfeil <sup>65</sup>.

Aufgrund dieser Verletzungen wurde der Verlauf des Kampfes rekonstruiert: Dem frontalen Schwerthieb folgte der Bauchschuss, der ein Zusammenkrümmen des Opfers bewirkte. In dieser Haltung, offensichtlich den Angreifer anschauend, erhielt das Opfer den zweiten Schwerthieb. <sup>65</sup>

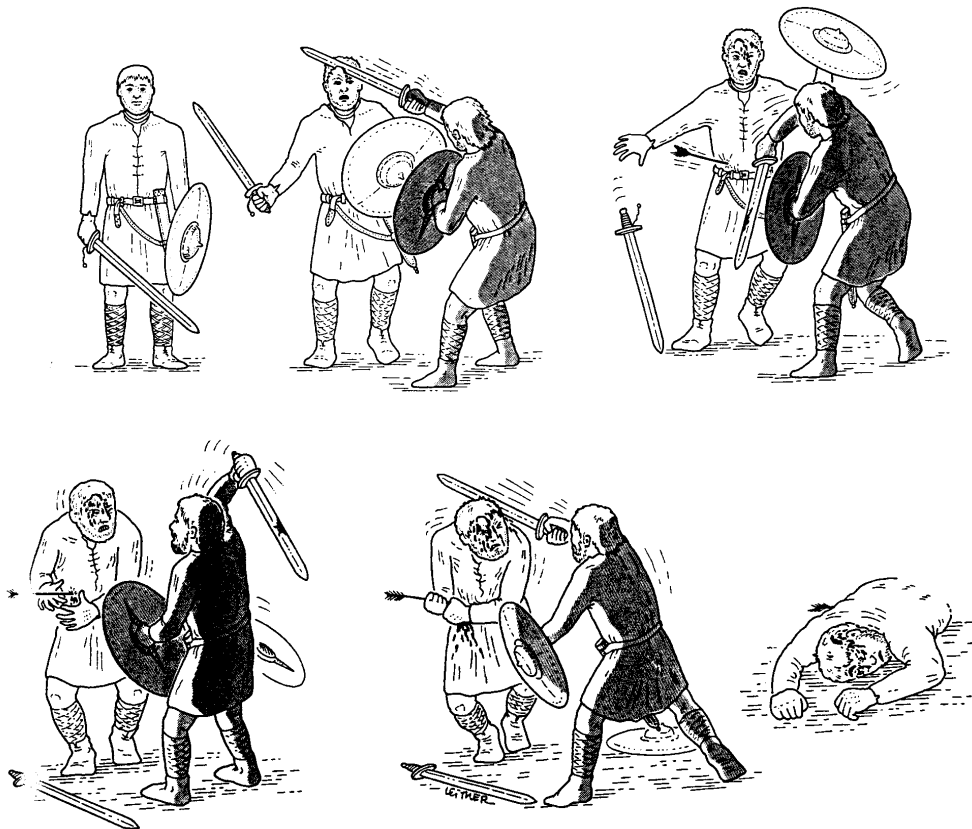


Abb. 1.2.-5: Leopoldau - Rekonstruktion des Kampfes <sup>65</sup>

## 1.2.2. Pfeilwunden und ihre Behandlung

### 1.2.2.1. Vorgeschichte und archaische Völker

Faszinierend ist die Tatsache, dass bereits in der Steinzeit schwerste Schussverletzungen (z.B. Bauchschuss mit Verbleib des Projektils in der Beckenschaufel) überlebt werden konnten: Vitale Reaktionen bis hin zur Integration von steinernen Pfeilspitzen in den Knochen durch knöcherne Überbauung belegen, dass schon in der Steinzeit ein Sanitätswesen (Projektilextraktion, Wundversorgung) existiert haben muss. Außerdem muss das Solidaritätsprinzip schon tief verankert gewesen sein: Ohne Pflege und Versorgung mit Nahrung etc. konnten derartige Verletzungen nicht überlebt werden.<sup>34</sup> Die chirurgischen Fertigkeiten archaischer Völker dürfen hier nicht unterschätzt werden: Mariner konnte Anfang des 19. Jahrhunderts auf dem Tonga-Archipel zweimal eine Thorakotomie zum Zwecke der Pfeilextraktion beobachten. Instrumente waren hierbei lediglich eine Muschelscherbe und ein Stück Bambus. Mariner berichtet auch, er habe eine 'ziemliche Zahl von Personen' gesehen, bei denen diese Operation durchgeführt worden sei.<sup>70</sup> Stockel<sup>175</sup> beschreibt eingehend die Mitte des 19. Jahrhunderts üblichen Methoden der Pfeilextraktion bei den Indianern Nordamerikas - einschließlich der Trepanation.

### 1.2.2.2. Antike

Im antiken (vedischen) Indien bestand Medizin hauptsächlich aus dem Anstimmen der entsprechenden Hymnen gegen Krankheit und Verletzung, unterstützt ggf. durch einige Heilkräuter. So enthält z.B. die Atharva Veda unter anderem eine "Hymne gegen das Gift von vergifteten Pfeilen". Trotzdem wird schon in den ältesten Veden und in den Epen (Ramayana) die Behandlung von Kriegs- und Pfeilwunden erwähnt. Zu Beginn der buddhistischen Epoche (327 v.Chr.-750 n.Chr.), der Hochzeit der indischen Medizin, werden in der Susruta (4.Jhd.v.Chr.) verschiedenen Extraktionsmethoden dargestellt, die auch die Ausschneidung von Pfeilspitzen, die Verwendung von Magneten, das Umbiegen von Widerhaken sowie die Entfernung von der Gegenseite her nach entsprechender Gegeninzision umfassen. Auch wird eine sehr gewaltsame Methode zur Entfernung sehr fest sitzender Pfeilspitzen beschrieben: Der Pfeil wird mit einer Bogensehne angeschlungen, das andere Ende der Sehne am Zaumzeug eines Pferdes befestigt; nach entsprechender Fixierung des Patienten durch einige kräftige Männer wird dann das Pferd scheu gemacht und so der Pfeil aus der Wunde gerissen; dasselbe soll auch durch einen herabgebogenen und wieder heraufschnellenden Ast möglich sein.<sup>64, 70</sup>

Belege für eine Militärchirurgie finden sich im alten Ägypten nicht. Obwohl Mesopotamien wegen seiner Fruchtbarkeit immer heftig umkämpft war finden sich auch in der assyrio-babylonischen Medizin keine Anhaltspunkte für eine Kriegschirurgie.<sup>64</sup>

Im Gegensatz hierzu war es in der griechischen Antike offensichtlich schon zu einer gewissen Spezialisierung in der Behandlung von Pfeilverletzungen gekommen: Homer (~900 v.Chr.) prägt in der Ilias (XI., V. 511) den Begriff des "iatros" = "der Pfeile entfernt".<sup>64</sup>

Denn ein heilender Mann wägt viele der anderen an Wert,  
Welcher die Pfeile ausschneidet und aufstreut lindernde Mittel.

Homer, Ilias<sup>70</sup>

Die Wurzel 'iatros' ist heute noch in Berufsbezeichnungen wie Päd-iater oder Psych-iater enthalten. Der deutsche Begriff "Arzt" wird von "arch-iatros" (Erz-arzt) hergeleitet, dem Titel antiker Hofärzte.<sup>64, 70, 99</sup>

Im homerischen Griechenland (Ilias) wurde nach Bergung des Verwundeten dieser von seinen Kameraden entweder zum Sterben unter einen Baum gebettet oder zu den Zelten gebracht (...die sog. "Homerische Alternative": Sterben oder Überleben). Hier erhielt er zunächst einen anregenden Schluck Wein (Der "Wundtrunk" des Mittelalters), danach wurde die Kleidung (Rüstung) im Wundbereich gelockert, die Wunde mit warmem Wasser ausgewaschen und - wenn nötig - genauer untersucht. Speer- oder Pfeilspitzen wurden entweder aus der Wunde herausgezogen oder mit entsprechender Wundverweiterung herausgeschnitten. Der Wundverband bestand aus schmerzlindernden Kräutern und einer wollenen Bandage. Homer beschreibt auch in einem Fall das Aussaugen einer Wunde nach Pfeilextraktion, eine Praxis, die über das Mittelalter bis zu den "Wundsaugern" des 18. Jahrhunderts (nach Duellen) fortlebte.<sup>64</sup>

Ein limitierender Faktor nicht nur der antiken Wundbehandlung war sicherlich die Wundinfektion: Ungewaschene Heilkräuter und Wurzeln mit anhaftenden Erdpartikeln wurden aufgebracht, diese nicht unbedingt mit einer "wollenen Bandage", sondern dem erstbesten Stoffetzen fixiert (z.B. einem Streifen vom Reitmantel mit anhaftendem Pferdekot (→Anaerobier), wie im Mittelalter üblich). Tetanus und Gasbrand waren so die häufige Folge, aber auch unspezifische Wundinfektionen dürften nicht selten gewesen sein wie die Birmingham-Mumie, der erste Fall eines Torticollis in der Medizingeschichte, belegt. Ursache des Torticollis war eine offensichtlich tödlich verlaufende Wundinfektion auf der Basis einer in der Halswirbelsäule (C2) steckenden Pfeilspitze.<sup>135, 200</sup>

Aber auch Pfeilgifte waren gefürchtet. Die Skythen verwendeten z.B. ein aus verrotteten Giftschlangen und im Misthaufen bebrütetem Blut (→Anaerobier) hergestelltes Pfeilgift, das als "skyticon" bzw. "**toxicon**" (von gr. toxon = der Bogen) berüchtigt war: Tötete nicht der Pfeil, so tat es - mit Verzögerung - die Infektion mit Tetanus oder Gasbrand. Zwar ist es fraglich, ob das Schlangengift die Bebrütung im Misthaufen überstand, die 'Lehre von den Giften' aber, die Toxikologie, trägt bis heute den Namen dieses mörderischen Pfeilgiftes.<sup>44, 154, 155, 171, 200</sup>

**Hippokrates von Kos** (~460 - ~375 v. Chr.), der größte Arzt der Koischen Schule ("Hippokrates II." oder "H. der Große"), erwähnt neben zwei Katapultverletzungen (u.a. Thorax) den Fall eines Mannes, der seit sechs Jahren eine Pfeilspitze in der Inguinalgegend stecken hatte, sowie Pfeilschüsse in den Bauch und eine Pfeilwunde des Halses. Er empfiehlt, vor der Untersuchung der Wunde den Patienten in die Position zu bringen, in der er die Pfeilverletzung erlitten hat. Zu Lebzeiten Hypokrates' hatten griechische Ärzte keine Gelegenheit, mit Kriegsverletzungen Erfahrungen zu sammeln. Hippokrates forderte daher die jungen Ärzte auf, in fremde Kriegsdienste zu treten.<sup>70</sup>

Basis der anatomielosen hippokratischen Medizin war die Humoralpathologie (4 Säfte-Lehre). Gesundheit wurde als gute Mischung der Säfte (Eukrasie), Krankheit als Störung des Gleichgewichtes der Säfte (Dyskrasie) verstanden, die u.a. durch Ableitung des im Übermaß vorhandenen oder verdorbenen Säfteteils ("materia peccans") über Schweiß, Stuhl, Eiter etc. geheilt werden müsse. Obwohl die Hippokratiker im Bereich der kleinen Chirurgie (Sport- und Kriegsverletzungen, insbes. Knochenbrüche, Verrenkungen) Großes leisteten, wurden blutige Operationen wegen der fehlenden anatomischen Kenntnisse des Gefäßverlaufes peinlichst gemieden (Stichwort 'Steinschnitt' im "Eid des Hippokrates"). "Unter dem Einfluss der Humorallehre vertraten die Hippokratiker gerade bei den komplizierten Verletzungen, z.B. Lanzen- und Pfeilwunden, die gefährliche Ansicht, dass deren Ausheilung nur durch Eliminierung der "materia peccans", d.h. durch Eiterung, erfolgen könne, die man daher nicht verhindern, sondern sogar anregen sollte."<sup>200</sup> Die eigentliche Arbeit Hippokrates' über Geschosse und dadurch verursachte Wunden ist leider verschollen.<sup>24, 200</sup>

Hippokrates IV., Neffe von Hippokrates II., war Leibarzt des Königs Philip II. von Makedonien (360-336 v.Chr.) und dessen Sohn Alexander dem Großen (336-324 v.Chr.). Bei der Belagerung von Methone (354 v.Chr.) erlitt Philip eine Pfeilverletzung des rechten Auges. Die erforderliche Extraktion und Enukleation wurde von Critobulus ausgeführt, die Verletzung von Philip überlebt. In diesem Zusammenhang wird auch die Verwendung des von Diokles von Karystos entwickelten "Diokles-Löffel" von Prag<sup>146</sup> vermutet. Der Diokles-Löffel ermöglichte es, nach entsprechender Wundvergrößerung entlang des Schaftes die Pfeilspitze aufzusuchen, sie aufzuladen, gleichzeitig evtl. Widerhaken abzudecken und so ohne zusätzliche Traumatisierung Pfeil und Spitze zu entfernen.



Abb. 1.2.-6: "Löffel des Diokles"<sup>201</sup>

Auch Alexander der Große überlebte mehrere Pfeilwunden, darunter eine Schulterverletzung bei der Belagerung von Gaza und eine (oberflächliche?) Thoraxverletzung bei der Erstürmung



von Malli/Indien (326 v.Chr.). Es gibt viele Hinweise, dass in der griechischen Geschichte Ärzte auf dem Schlachtfeld präsent waren.<sup>64, 70, 145, 146, 201</sup>

**Cornelius Celsus** (~30 v.Chr. - ~50 n.Chr.), nach Hippokrates der bedeutendste medizinische Autor des Altertums und der erste römische Medizinschriftsteller, schrieb ca. 40 n.Chr. unter Kaiser Claudius sein 8 bändiges Werk "Über Medizin" ("De medicina" oder "De re medica libri octo"). Kapitel 5 des 7. Buches handelt von der Ausziehung der Geschosse aus dem Körper, darunter Pfeile, Schleuderbleie, Steine etc. In § 1 ist die Rede davon, dass ein Pfeil entweder von der Seite her, von der er eingedrungen ist, oder von der Gegenseite her, nach Durchschneidung der seiner Spitze gegenüberliegenden Weichteile, herausgezogen werden soll (Entfernung 'per extractionem' ↔ 'per expulsionem'). Celsus stellt fest, dass die so entstehenden Wunden mit zwei Ausgängen besser heilen als die blind endenden. In § 2 beschreibt er sehr anschaulich die Ausziehung von Pfeilen: Befindet sich die Spitze noch auf dem Schaft, ist es am Einfachsten, den Pfeil gänzlich durch die Weichteile hindurchzustoßen; zieht man aber die Spitze zurück, so muss man wegen der Widerhaken die Wunde entsprechend erweitern, die Widerhaken mit einer Zange abbrechen oder sie mittels eines gespaltenen Schreibrohres so abdecken, dass sie beim Ausziehen die Weichteile nicht mehr zerreißen können. Celsus erwähnt auch ein dem griechischen Buchstaben Y ähnliches Instrument ("ferramento, facto ad similitudinem graecae litterae Y") In § 3 wird dann minutiös Aussehen und Handhabe des Diokleslöffels ("Diocleus cyathiscus") geschildert.<sup>70, 104</sup> In römischer Zeit wurden zur Abdeckung von Widerhaken auch mehrere Löffelsonden in die Wunde eingebracht. Eine dem Celsus ähnliche Methode verwendeten noch im letzten Jahrhundert Nordamerikanische Indianer, die gespaltene Zweige zur Pfeilextraktion benutzten. Einen regelrechten Sanitätsdienst gab es in der römischen Armee übrigens erst seit Julius Caesar.<sup>23, 24, 62, 63, 64, 70, 90, 175, 201</sup>



Abb. 1.2.–7: Antike Löffelsonden<sup>201</sup>

**Paulus von Aegina** (ca. 6 Jhd.), Zögling der Schule von Alexandrien, unternimmt als erster den Versuch, der Verschiedenheit der Pfeile gerecht zu werden und einen Katalog zu erstellen: Er unterscheidet nach Material, Form, Größe, Anzahl und Zusammensetzung (zusammengesetzte, sich zerlegende Pfeilspitzen), sowie Wirkung (Gift). Bei den Widerhaken unterscheidet er solche, die gegen die Schussrichtung ausgerichtet sind und somit eine normale Extraktion

verhindern, solche, die mit der Schussrichtung ausgerichtet sind und so eine Entfernung 'per expulsionem' verhindern und solche, die sowohl mit als auch gegen die Schussrichtung ausgerichtet sind ('nach Art des Donnerkeiles') und somit sowohl die eine als auch die andere Extraktionsmethode erschweren. Auch weist er auf die Existenz von Pfeilen hin, deren Widerhaken gelenkig mit der Spitze verbunden sind und sich erst bei der Extraktion spreizen. Er stellt fest, dass einige Pfeilspitzen mittels eines Dornes, andere mittels einer Tülle im/am Schaft befestigt sind. Bei nur oberflächlich eingedrungenen Pfeilen empfiehlt Paulus die Extraktion, ebenso bei Pfeilen, die zwar tiefer eingedrungen sind, deren Durchstoßung (durch Organe, Gefäße, Nerven etc.) aber Probleme bereiten könnte. Ein Durchstoßen wird aber empfohlen, wenn die Weichteile vor der Spitze dünn und die Verletzung von Nerven und Gefäßen minimal ist. Mit Bezug auf Hippokrates bemerkt Paul, dass es sinnvoll sein kann, den Patienten in die Position zu bringen, in der er die Verletzung erlitt, um den Wundkanal besser rekonstruieren zu können. Pragmatisch stellt Paul fest, dass jedes beliebige Instrument recht sei, um die Pfeilspitze zu entfernen. Er erwähnt auch als erster ein Instrument zum Durchstoßen von Pfeilspitzen (Stößel, Propulsorium) und verweist darauf, dass nach entsprechender Sondierung eine verlorene Pfeilspitze mit Tülle (= weiblich) mittels eines männlichen Stößels, eine Pfeilspitze mit Dorn (= männlich) jedoch mittels eines weiblichen Stößels herausgetrieben werden muss. Schließlich warnt er davor, durch die Extraktion mehr Schaden anzurichten als durch die Pfeilspitze selbst schon verursacht wurde. Zur Behandlung von vergifteten Pfeilwunden bemerkt Paul, dass alles betroffene (= livide) Gewebe entfernt werden müsse. Im Knochen feststeckende Pfeilspitzen werden um jeden Preis entfernt, nach großzügiger Erweiterung der Wunde und Aufmeißelung oder Aufbohrung des Knochens. Bei Verletzung von vitalen Organen (Gehirn, Herz, Luftröhre, Lunge, Leber, Darm, Niere, Gebärmutter, Blase...) oder bei Zeichen des herannahenden Todes empfiehlt Paul Abstand von jeder therapeutischen Intervention, "um den Dummköpfen keinen Anlass zu geben, sich das Maul zu zerreißen". Bei zweifelhaftem Ausgang hingegen rät er, nach vorheriger Bezeichnung der Gefahr, zur Operation, da auch widerwärtigste Verläufe belegt hätten, dass eine Intervention von Nutzen sein könne: "Wenn man daher in diesen Fällen den Pfeil zurücklässt, führt dies unabweisbar zum Tode; außerdem zeigt sich, dass die Kunst hilflos ist; nimmt man ihn aber heraus, so ist die Möglichkeit der Rettung vorhanden".

Paul stellt auch eindeutig die Verletzung vitaler Organe (Hirn, Lunge, Herz (mit Pulsation des Pfeils und unmittelbarem Tod)), der Eingeweide mit Entleerung von Chylus (Magen) und Kot (Darm) oder Urin (Blase) sowie die entsprechende Therapie (Trepanation etc.) dar. Erstmals wird auch die Ligatur großer Gefäße ("Ligaturen auf beiden Seiten") erwähnt, durchzuführen vor der Extraktion des Pfeiles. Auch wird die Behandlung für solche Fälle beschrieben, in denen es zur Vernagelung der Extremitäten miteinander (z.B. der Füße) oder einer Extremität z.B. mit dem Thorax durch einen Pfeil kommt. Alles in allem ist die Arbeit von Paul sehr umfassend, detailliert und vor allem sehr praxisnah. Derartige Äußerungen zu chirurgischen Themen sollten für etliche Jahrhunderte nicht mehr bzw. lediglich als Zitat auftreten.<sup>70, 157, 187</sup>

### 1.2.2.3. Mittelalter

Die arabischen Autoren **Rhazes** (860-932), **Avicenna** (980-1036) und **Albukasim** (11. Jhd.) kopierten und zitierten die Arbeiten von Celsus und Paul im Bereich der Pfeilverletzungen und fügten lediglich in geringem Umfang eigene Erfahrungen (Kasuistiken) hinzu. Es kommt ihnen aber das Verdienst zu, das Wissen der hellenistischen Ärzte (u.a. Anatomie) konserviert zu haben. <sup>64, 70, 200</sup>



Abb. 1.2.-8: Mittelalterliche Pfeilextraktion in Schussrichtung <sup>78</sup>

Die Entwicklung im christlichen Abendland war gleichzeitig folgende: Neben der Ablehnung der Anatomie durch die katholische Kirche, die aus Rücksicht auf die "Auferstehung des Fleisches" Sektionen für eine Todsünde hielt (Tertullian 150-220, Augustinus 354-430) mit der Folge einer "galenischen Schweineanatomie" führte das Edikt: "Ecclesia abhorret a sanguine!" (Die Kirche scheut das Blut!) zu einer Brandmarkung der Chirurgie und zu deren Niedergang. Auf dem Konzil von Reims 1131 erfolgte schließlich sogar ein päpstliches Verbot der wundärztlichen Betätigung von Klerikern. Als Resultat dieser Entwicklung ging chirurgisches Wissen (z.B. über die Gefäßligatur) verloren. Wundversorgung wurde Aufgabe ungebildeter Empiriker, die die alten Autoren (z.B. Paul) nicht lesen konnten (sog. Barbier-Chirurgie). Empirie wurde 'im Felde' mit menschlichen "Versuchskaninchen" betrieben, tödliche Wundinfektionen wurden so zur Regel. Kennzeichnend für das gesunkene Ansehen der Wundärzte ist die Tatsache, dass man sie bei den ersten Kreuzzügen völlig außer Acht ließ und auf ihre Beteiligung keinen Wert legte. Als z.B. König Richard Löwenherz (Richard I. von England, 1157-1199) 1191 nach der Landung

in Akkon erkrankte (Typhus?), stellte ihm sein Gegner (!), Sultan Saladin, Ärzte zur Verfügung. Es ist eine Ironie der Geschichte, dass ausgerechnet Richard, der im Rahmen der Kreuzzüge am vehementesten den Einsatz der Armbrust betrieb, schließlich auch durch sie starb: Bei der Belagerung von Chalus im Limousin erlitt er eine ursprünglich unbedeutende Schulterverletzung durch einen Armbrustbolzen; den Schilderungen nach scheint es zu einer brandigen Entzündung (Gasbrand?) der stümperhaft behandelten Wunde gekommen zu sein, an der Richard wenige Tage später unter großen Qualen starb. <sup>141, 200</sup>

**Henri de Mondeville** (?-1320), Absolvent der Universitäten von Montpellier (Medizin) und Paris (Chirurgie), greift in seiner Abhandlung über die Ausziehung der Pfeile auf Paul und Albukasim zurück und empfiehlt die sofortige Pfeilextraktion ("statim ac sine mora, tela quocunque modo fixa extrahi"). Er verweist darauf, dass dem Verletzten vor vermutlich schwieriger Extraktion Gelegenheit zur Beichte gegeben werden soll und beschreibt die Extraktion eines festsitzenden Pfeiles mittels einer starken Armbrust: Der Pfeil wird an der Sehne der gespannten (und fixierten) Armbrust ("corda fortis ballistae") befestigt und diese dann, nach entsprechender Fixierung des Patienten, abgeschossen. Das Hauptverdienst de Mondeville's ist es sicherlich, das zwischenzeitlich von den Arabern konservierte alte hellenistische Wissen wieder in das Abendland zurückgebracht zu haben. <sup>27, 70</sup>

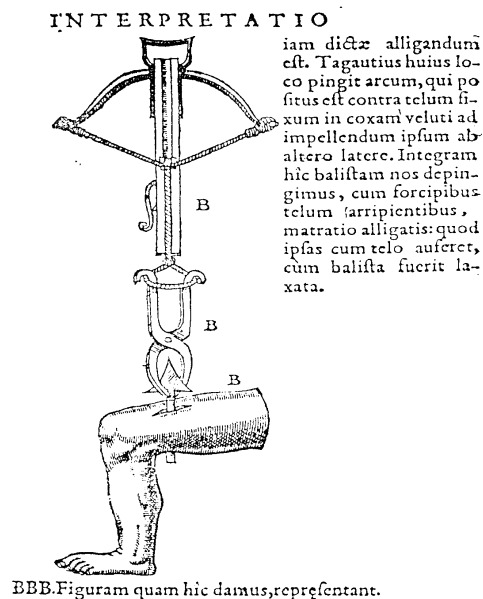


Abb. 1.2.–9: „Chirurgische Homöopathie“: Extraktion mittels Armbrust <sup>27</sup>

Als ein Beispiel für die "Chirurgie" des ausgehenden Mittelalters soll **Heinrich von Pfoilspeundt** (Mitte des 15. Jhd.) dienen: Wunden werden in der Regel durch Eiterung zur Heilung gebracht und mit Terpentin- oder Rosenöl, Wundpflastern, Kühlpflastern etc. behandelt. Penetrierende Brustwunden waren zu dieser Zeit offensichtlich wegen des allgemein getragenen Brustharnischs selten. Bei Pfeilwunden des Bauches empfiehlt er, den Schaft 2 Querfinger über der Bauchdecke abzusägen, die Wunde mit einem Lochpflaster zu versorgen, Öl

daraufzugeben und den Pfeil je nach Umständen 8, 10, 12 Tage in der Wunde zu belassen, "bis die wunde voll eitem wirth, vnnd denn pfeil wol fault", so dass er dann schmerzlos und ohne Blutung ausgezogen werden kann. Von Pfolspeundt behauptet, unter dieser Therapie solle unter Hunderten keiner sterben, wohingegen bei sofortiger Extraktion unter 100 kaum 20 oder 30 am Leben blieben. Auch bei Verletzungen der Extremitäten lässt er den Pfeil 12 oder 14 Tage stecken. Da eine blutige Erweiterung der Wunde gescheut wird, bedient er sich lediglich der Einführung eines 'Pressschwammes' (hergestellt durch festes Umbinden und Trocknen von Badeschwammstücken) oder eines Quellmeißels aus Enzianwurzel. Die eigentliche Extraktion erfolgt mit 'schwach winkelig gebogenen Eisen' ('das man Niemand sehen lassen soll'), einer Sonde mit Schraubengewinde zum Einschrauben in den abgebrochenen Schaft, pfeilähnlichen Sonden sowie, bei Pfeilspitzen mit Widerhaken, mit Zangen und einem viereckigen Hohleisen, das die Widerhaken aufnehmen soll. Zur Gesundung des Patienten gehört aber ein gutes Zeichen des Planeten, unter dem er sich befindet, eine Weisheit, für die Pfolspeundt einem seiner Meister 50 Gulden geben musste...<sup>70</sup>

### 1.2.2.4. Renaissance

**Giovanni Da-Vigo** (1460- 1517?) plädiert, im Widerspruch zu anderen Zeitgenossen, für eine radikale und frühestmögliche Entfernung von Pfeilen auch aus dem Knochen, ebenso **Hans von Gersdorff** (Mitte 15. bis Anfang 16 Jhd.), der aber neben Extraktion und Expulsion - nach gescheitertem Extraktionsversuch - auch Wunderweiterung und abwartende Haltung (bis das Geschoss von selbst ausgestoßen wird) für zulässig hält. Gersdorff stellt fest, dass etliche Pfeile vergiftet sind und warnt vor der unmittelbaren Behandlung Verwundeter, wenn Zeichen das Todes beobachtet werden: Solche Patienten sollen zunächst mit den Sterbesakramenten versorgt werden. Alle anderen Patienten werden unmittelbar behandelt.<sup>66, 70</sup>



Abb. 1.2.-10: von Gersdorff - Unmittelbare Wundversorgung<sup>66</sup>

Die von ihm aufgezählten "zeychen des todtz" werfen einerseits ein Licht auf die damaligen chirurgischen Möglichkeiten, führen andererseits aber auch anschaulich das Verwundungspotential von Pfeilen vor Augen:

<p><b>Zeichen des todts/vnd der sorg klichē geschosſnen wunden</b></p> <p>¶ <b>Zü dem ersten/wanner wund würt/ so laufft jm schum zü dem mund heruß</b></p> <p>¶ <b>Zü dem andern/wirt ainer geschosſ en in das hertz/so geet jm brantschwar geplüt daruß/das ist ganz tödelich.</b></p> <p><b>Zü dem dritten/geet aber das geschosſ in die lunge/so gehet der otem auß der wunden. Zü dem vierdten/gehet das geschosſ in den magen/so geet die vnge därote speyß auß der wunden.</b></p> <p>¶ <b>Zü dem fünfften/gehet das geschosſ in die därm/so geet die kost daruß.</b></p> <p>¶ <b>Zü dem sechsten/wirst du geschosſen in die ploffen/so geet der harn daruß/ vnd das ist tödelichen.</b></p>	<p>Zeichen des Todes und der ernsthaften Schussverletzungen</p> <p>Zum ersten, wenn er verletzt wird, läuft ihm Schaum aus dem Mund. Zum anderen, wenn jemand ins Herz getroffen wird, geht ihm brandschwarzes Blut heraus, das ist ganz tödlich. Zum Dritten: Geht aber das Geschoss in die Lunge, so geht der Atem aus der Wunde. Zum Vierten: Geht das Geschoss in den Magen, so geht die unverdaute Speise aus der Wunde. Zum Fünften: Geht das Geschoss in die Gedärme, so geht die Kost daraus. Zum Sechsten: Wirst du in die Blase geschossen, so geht der Harn daraus, und das ist tödlich.</p>
---	---

Abb. 1.2.–11: Gersdorff - Zeichen des Todes<sup>66</sup>

**Jean Tagault** ((?)-1545) fügt dem hinzu, dass in Knochen feststeckende Geschosse so lange bewegt und gelockert werden müssen, bis sie sich mit der Hand oder Zange ausziehen lassen, wie dies auch beim Zahnausziehen geschieht.<sup>70</sup>

**Giovan' Andrea dalla Croce** (16. Jhd.) hinterlässt im Abbildungsteil seines Werkes eine übersichtliche und systematische Darstellung der seinerzeit verwendeten resp. bekannten Pfeilspitzen sowie der zur Extraktion benutzten Werkzeuge. Neben dem Skalpell wird unter Nr. 99 ein Spreizmesser zur Wunderweiterung dargestellt: Es wurde in geschlossenem Zustand in den Wundkanal eingeführt, in der Tiefe gespreizt und dann herausgezogen. Das Ergebnis war eine gleichmäßige Wunderweiterung, so dass in der Tiefe besser gearbeitet werden konnte. Hierzu war mit diesem Instrument nur ein kurzer Schnitt nötig: Fehlende Narkosemöglichkeit machte schnelles Arbeiten erforderlich - ein schneller Chirurg war ein guter Chirurg... Die unter Nr. 100 und 101 gezeigten Werkzeuge sind noch heute als „arrowhead puller“<sup>1</sup> in Bogensport und -jagt gebräuchlich, Nr. 105 und 106 zeigen männliches und weibliches Propulsorium (Stößel) für die jeweils korrespondierende Pfeilspitze. Rabenschnabel („corvinum“) und diverse andere Zangen vervollständigen die chirurgische Ausrüstung.<sup>70</sup>

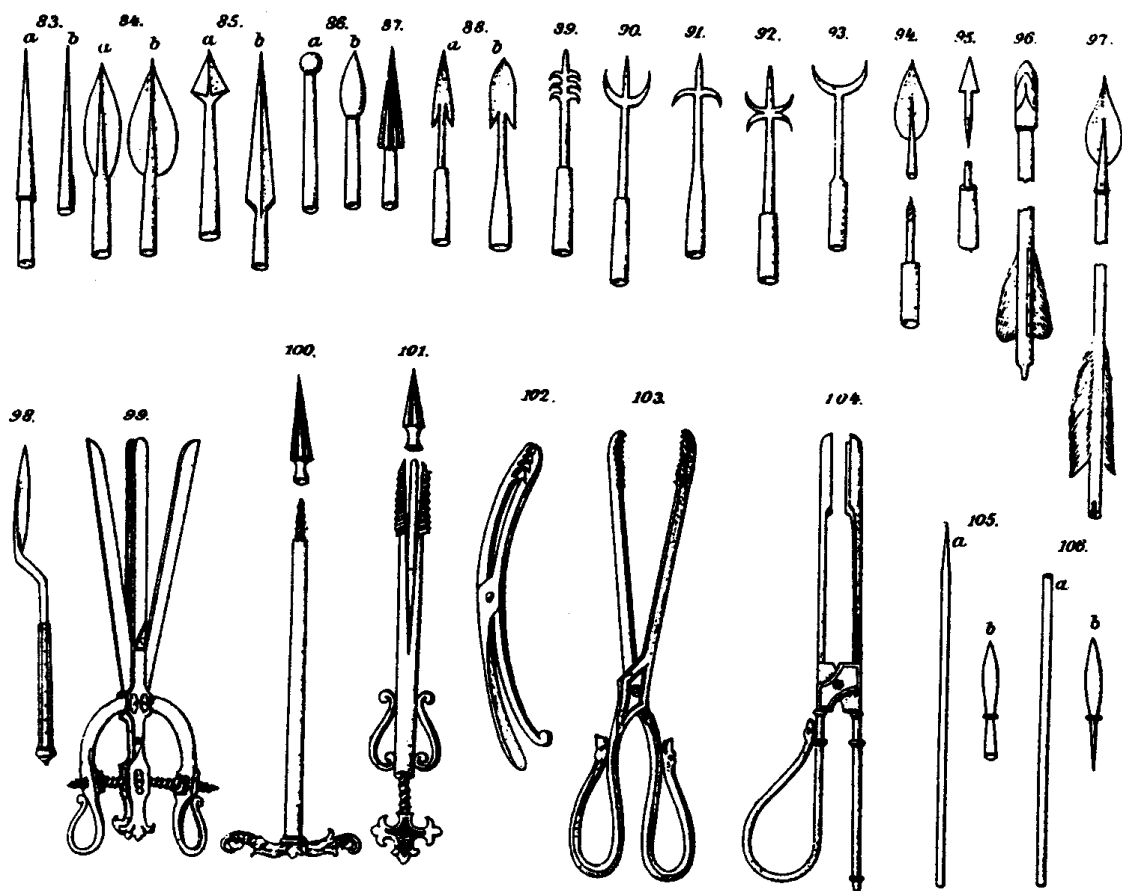


Abb. 1.2.-12: Andrea Dalla Croce: Pfeilspitzen und chirurgische Instrumente <sup>70</sup>

Dalla Croce's Legende:

„83a, b "acutae" 84a, b "latae" 85a, b "triangulatae" 86a, b "rotundae" 87 "angulosae" 88a, b "spiculatae" 89 "barbulatae" 90 "sagitta cuspidata anterior" 91 "cuspidata posterior" 92 "cuspidata utrobique" 93 "luxatae" 94 "torculatae" 95 "duplicatae" 96,97 Gewöhnliche Pfeile 98 Messer zur Erweiterung von Pfeilwunden ("cultellus simplex") 99 Instrument zu gleichem Zwecke ("forceps deceptorica aut excisoria duplicata inuersa") 100 Bohrer um im Knochen festsitzende Pfeilspitzen herauszubefördern ("terebrum torculatum solidum") 101 Instrument zu gleichem Zwecke ("terebrum torculatum concauum") 102 Rabenschnabelzange ("coruinum") zur Ausziehung von Pfeileisen 103 Gezähnte Zange ("tenacula denticulata") zu gleichem Zwecke 104 Röhrenzange ("tenacula cannulata") desgleichen 105a, b "Propulsorium mas" (a), "zugi cannulatum" (b) und 106a, b "Propulsorium foemina" oder "impellens cannulatum" (a) und "zugi caudatum" (b) zur Entfernung zurückgebliebener gelöster Pfeilspitzen.“

**Ambroise Parré (1510-1590)**, vom Barbier zum Königlichen Chirurgen aufgestiegen, kommt das Verdienst zu, aus den Wahrnehmungen und Erfahrungen der Praxis die richtigen Schlüsse

gezogen und gegen alle Anfechtungen der noch galenisch orientierten Schulmedizin erfolgreich verteidigt zu haben. Nachdem er zunächst als Feldscher entsprechend dem Gelernten (und bis dahin Üblichen) die Schusswunden seiner Patienten mit siedendem Öl und dem Brenneisen traktiert hatte, ging ihm 1537 bei einer Schlacht in Italien (Piemont-Feldzug unter de Montejan) das Öl aus. Voller Sorge schaute er am nächsten Morgen zunächst nach den Verwundeteten, die er hatte "unversorgt" lassen müssen. Diesen ging es jedoch deutlich besser als den "ordentlich" versorgten Patienten. Konsequenter brach Parré mit der Tradition. Nach Anstellung als Prosector bei Jacques Dubois und entsprechender Erweiterung seiner anatomischen Kenntnisse verzichtete er später auch auf die Blutstillung mit dem Brenneisen und ligierte stattdessen die entsprechenden Gefäße. Zu den Pfeilwunden bemerkt Paré, dass bei diesen im Gegensatz zu den (häufigen) Schusswunden niemals eine 'Contusion' vorkommt und dass sie häufig vergiftet sind. Neben den seit Paul bekannten Methoden der Pfeilentfernung beschreibt Paré die zu seiner Zeit zur Verfügung stehenden Werkzeuge sowie die Behandlung vergifteter Pfeilwunden, wobei eben nicht mehr gebrannt (Brenneisen) und verkocht (Öl), sondern nach Spülung (Auswaschung) der Wunde mit Branntwein und Essig ausschließlich durch Sog (Schröpfkopf oder Freiwilliger) nach vorhergehender tiefer Scarifikation versucht wird, das Gift unschädlich zu machen. "Mit Recht ist Paré der Schöpfer der neuen Chirurgie genannt worden." <sup>70; 200</sup>

**Walter Hermann Ryff** ((?)-1562 (?)) schreibt 1545, dass die Pfeile in dieser Zeit "von wegen des büchsenengeschützes" zwar ganz außer Gebrauch gekommen seien, dass sie aber im Notfalle noch von Belagerten zur Verteidigung benutzt würden. <sup>64</sup> Blutstillung nach Pfeilextraktion erfolgt per Tamponade, auch sonst findet sich bei Ryff, der als Plagiator verschrien war, nichts Bemerkenswertes. **Gregor Horst** (1578-1636) berichtet über einen Patienten, der als 14-jähriger einen Pfeil ins Auge bekam, von dem lediglich der Schaft entfernt werden konnte (→Erblindung des Auges). 30 Jahre später wird die eiserne Spitze im Rahmen einer Erkältung über den Rachen ausgestoßen und vom Patienten, inzwischen Arzt, entfernt. Hiermit ist für die "Alte Welt" das Zeitalter des großflächigen Einsatzes von Pfeil und Bogen beendet, für den Mediziner beginnt das Zeitalter der Kasuistiken. <sup>70</sup>

Die erste Behandlung einer Pfeilwunde in der "Neuen Welt" durch einen "Nicht-Indianer" wurde 1535 vom medizinisch völlig ungebildeten **Alvar Núñez Cabeza de Vaca**, einem Teilnehmer einer spanischen Expedition nach Florida, ausgeführt: Mit einem Messer schnitt er einem Landsmann eine lange Pfeilspitze oberhalb des Herzens aus der Brust. Auch de Soto's Mississippi-Expedition (1539-14) belegte deutlich, dass Pfeil und Bogen die Hauptwaffe der Indianer war, und diese hervorragend damit umzugehen wussten: "Bevor ein Christ einen Schuss abgeben kann ... wird ein Indianer drei oder vier Pfeile abschicken; und er verfehlt selten... Wenn der Pfeil außerhalb der Panzerung trifft dringt er so tief ein wie der Schaft eines Armbrustbolzen ... und er durchdringt Kettenhemden." 1538 beschrieb de Espejo die Waffen der Pueblo Indianer New Mexico's: "Ihre Waffen bestehen aus Bögen und Pfeilen...; die Pfeile haben feuergehärtete Schäfte, die Spitzen bestehen aus spitzem Flint, womit sie leicht ein Kettenhemd durchdringen." <sup>175</sup>



### 1.2.2.5. Neuzeit

**Joseph H. Bill** (?-1885) diente während der Indianerkriege des 19. Jahrhunderts seit 1860 als Chirurg in der U.S.Army und wurde in den Westen versetzt. Zwangsläufig bekam er es daher in größerem Umfang mit Pfeilwunden zu tun. Ähnlich Paul von Aegina erstellte Bill zunächst einen Katalog der gebräuchlichen Pfeile. Anhand des aus der Wunde ragenden Schaftes konnte er so Penetrationstiefe und Wundkanal rekonstruieren. Gleichzeitig diente ihm der Schaft als Ariadnefaden zur Pfeilspitze sowie, nach leichtem Wackeln, als Indikator für eine Knochenbeteiligung. Das Belassen des Schaftes in der Wunde wurde so zur ersten Kardinalregel und den Soldaten entsprechend eingebläut, zumal die indianischen Pfeilspitzen üblicherweise nur mit Sehnenmaterial am Schaft fixiert waren, das durch die Wundsekrete gelöst wurde, was eine Trennung von Schaft und Spitze natürlich förderte. Bill widersprach vehement jeder konservativen Behandlung von im Knochen eingebetteten Pfeilspitzen, da sie oft zu Infektionen und Abszessen führten und dann häufig zur Amputation des entsprechenden Gliedes zwangen. Stattdessen sprach er sich hier für eine äußerst großzügige Wunderweiterung bei der Fremdkörpersuche aus. Im Gegensatz zu zeitgenössischen Kollegen, die eine abwartende Haltung bevorzugten, laparotomierte Bill bei Bauchschüssen und führte hierbei Blutstillung, Darmnaht und Spülung der Bauchhöhle aus. Zur Verhinderung einer postoperativen Peritonitis benutzte er "Feuchte Wärme" - Antibiotika waren ja noch in unerreichbarer Ferne.

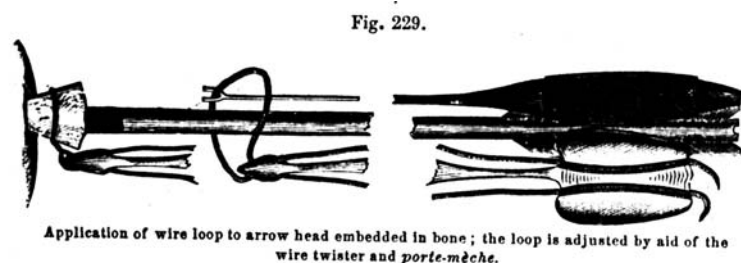
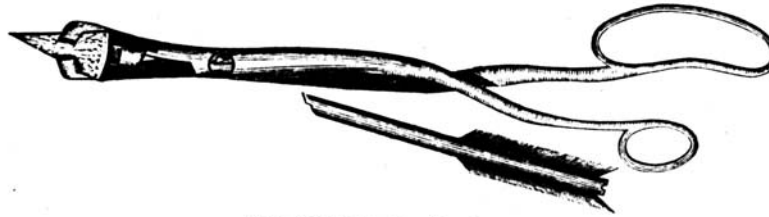


Abb. 1.2.-13: Anschlingung einer im Knochen fixierten Pfeilspitze<sup>24</sup>

Bill verbesserte die bisher von den Army-Chirurgen benutzte Drahtschlinge zur Pfeilextraktion und erfand eine spezielle Zange, die dem bisherigen Werkzeug deutlich überlegen war.

Fig. 230.



Strong forceps for extraction of arrows.

Abb. 1.2.–14: Bill's Extraktionszange <sup>24</sup>

Kurz vor seinem Tod formulierte Bill folgende "7 Gebote":

Eine Pfeilspitze muss entfernt werden, sobald sie gefunden wurde.

Bei der Suche nach einer Pfeilspitze sind extensive Schnitfführungen gerechtfertigt.

Ein Pfeil kann herausgestoßen oder herausgezogen werden.

Für die Exploration sollte lieber der Finger als eine Sonde benutzt werden.

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass Pfeil und Spitze sich nicht voneinander lösen.

Primärheilung sollte angestrebt werden.

Der Chirurg sollte sich um das Wohlergehen seines Patienten bemühen, ... da Pfeilverletzungen oft mit einer großen seelischen Belastung einhergehen.

Mit einigen Einschränkungen, bedingt durch die Fortschritte der Medizin, haben diese Regeln heute weiterhin Gültigkeit. Interessant ist aber der psychosomatische Ansatz der 7. Regel: Bei Durchsicht der Literatur scheint auch eine nur leichte Pfeilverletzung ein nachhaltiges Psychotrauma darzustellen, wobei der Anblick des aus dem Körper ragenden Pfeilschaftes zu einer regelrechten Paralyse des Opfers führen kann. Heute, da Pfeilverletzungen glücklicherweise eine Rarität darstellen, besteht der Nutzen von Bill's Lebenswerk vor allem darin, dass er seine an Pfeilwunden gestorbenen Patienten obduziert und sein vorhergehendes ärztliches Handeln kritisch beleuchtet hat. Als Besonderheit ist festzuhalten, dass Bill und seine zeitgenössischen Kollegen nur selten singuläre Pfeilverletzungen erlebten: Üblich waren, korrespondierend zu de Soto's Feststellung, mehrere Pfeilwunden pro Patient, in einem Fall sogar 15 Pfeile! <sup>23, 24, 73, 95, 117, 134, 150, 175, 200</sup>

Am Ende des 20. Jahrhunderts dürfte - global gesehen - die Bandbreite der Therapie von Pfeilwunden eine Synopsis der oben aufgeführten Medizingeschichte repräsentieren: Das Spektrum dürfte von steinzeitlichen Extraktionsmethoden über die Drecksapotheke des Mittelalters bis hin zur modernen Chirurgie mit ausgefeilter präoperativer Diagnostik, rationaler OP-Taktik, postoperativer Wunddrainage, Antibiose, Tetanusprophylaxe und ggf. Intensivmedizin reichen, wobei die Hauptstationen auf dem Weg zur rationalen Therapie sicherlich Celsus, Paul, Paré und Bill darstellen.

### 1.2.3. Pfeile als Krankheitssynonyma

Über die eigentliche Pfeilwunde hinaus wurde von den Griechen auch die Pest (bis ins Mittelalter jede epidemische Erkrankung mit hoher Mortalität, also auch z.B. Fleckfieber, Pocken...) mit "Fieberpfeilen" des Gottes Apollo in Verbindung gebracht:

**Pest ist im Land. Der fürchterliche Gott  
mit seinen Fieberpfeilen quält das Volk.**

**Sophokles: Oedipus**<sup>200</sup>

Ab dem 14. Jahrhundert galt im Mittelalter der katholische Heilige St. Sebastian (...überlebte Marter mit Pfeilen!) auch als Schutzpatron gegen die Pest: Die Pfeile, die Sebastian durchbohrten, wurden als "Pestpfeile" verstanden – wahrscheinlich, weil die aufgebrochenen Pestbeulen Pfeilwunden ähnlich sahen. Sog. "Sebastianspfeile" wurden daher als Amulett gegen Pest und andere Seuchen getragen.<sup>77, 147, 200</sup>

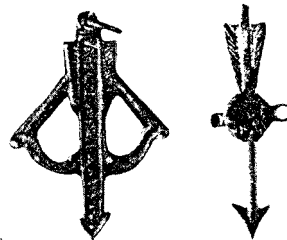


Abb. 1.2.–15: Sebastianspfeile<sup>77</sup>

Als Cortez 1519 mit 600 Söldnern, 16 Pferden und 14 Geschützen aufbrach, Mexico zu erobern, hatte er, ohne es zu wissen, die alles entscheidende Waffe bei sich: Einen an den Pocken erkrankten Seemann! Innerhalb kurzer Zeit starben mehr als 3,5 Millionen Menschen an der Seuche, also mehr als die Hälfte der Einwohner Mexicos, darunter auch der Kaiser, ein Bruder des zuvor ermordeten Montezuma. Die Azteken erlebten den mörderischen Seuchenausbruch als göttliche Strafe und jeden Pockentoten als ein "vom Pfeil des großen Geistes" getroffenes Opfer. Die Tatsache, dass die spanischen Eroberer wegen der in der Kindheit erworbenen Immunität nicht von der Seuche heimgesucht wurden, erleichterte die folgende katholische Mission ungemein...<sup>200</sup>

Die von Christoph Kolumbus resp. seiner Mannschaft 1493 von "Española" (= Haiti) nach Europa importierte Syphilis galt im "siècle galant" unter Ludwig XV. (1710-1774) zumindest in gehobenen Kreisen als "galante Kavalierskrankheit", deren Wunden (Ulcera, Haarausfall etc.) die "vergifteten Pfeile Amors" verursacht hätten.<sup>200</sup>

Auch in den Augen der Chinesen wurde der Mensch von der Krankheit getroffen wie von einem Pfeil: Die 'Krankheit' ('Jí') schreibt sich deshalb mit den Schriftzeichen 'Übel' und 'Pfeil'. Auch die Heilung kreist um den Begriff Pfeil, denn 'Heilen' besteht aus den drei Teilen 'Köcher', 'treffen' und 'Wein': "Da Unheil von bösen Geistern angerichtet wurde, war es nötig, mit einem Pfeil aus

dem Köcher den Bösewicht zu treffen und sich mit einem Schluck Alkohol Mut zu machen." Die Schriftzeichen 'Heilung' ('Yi') und 'Arzt' ('Yi sheng') entspringen der gleichen Wurzel.<sup>52</sup>

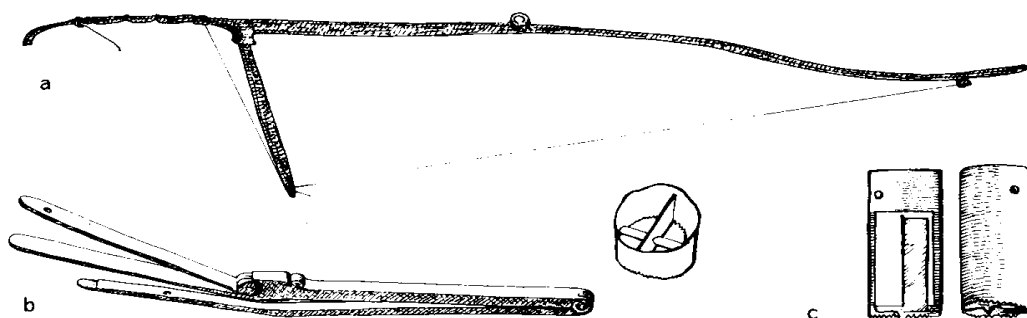
Ein weiterer Beleg dafür, dass der Zusammenhang 'Pfeil ↔ Krankheit' einer archaischen Vorstellung entspringt ist die Existenz von Pfeilschamanen bei den Pima-Indianern Nordamerikas: Aufgabe der Schamanen war einerseits die Versorgung von Pfeilverletzungen, andererseits aber das Heilen von Krankheiten und Bannen negativer Einflüsse, indem sie mit bemalten Bögen bemalte Pfeile auf imaginäre böse Geister verschossen, die in der Umgebung des Patienten schwebend vermutet wurden<sup>175</sup>

Auch der wohlbekannte „Hexenschuss“, im Altenglischen als „haegtessan gescot“ oder „ylfa gescot“ (Elfengeschoß) und neuenglisch als „elf-arrow“ (Elfenpfeil) benannt, belegt die enge Verknüpfung von Krankheit und Pfeil.<sup>99</sup>

### 1.2.4. Pfeil und Bogen als Therapeutikum

Weltweit wurden und werden Miniaturausgaben von Bögen (ca. 30 cm) zur Behandlung von Kopfschmerzen (Papua-Neu Guinea), zum Zwecke des Aderlasses oder zur Scarifikation, z.B. vor Schröpfung, angewendet, und zwar regelrecht, d.h.: Miniaturpfeile werden mit Miniaturbögen auf kurze Distanz (fast aufgesetzt) auf den Patienten abgeschossen - zum Zwecke der Ableitung von Blut, Schmerzen, Übel, Geistern etc.<sup>70, 198</sup>

Das Prinzip des Fidelbohrers, ursprünglich im Handwerk eingesetzt, wurde schon in der Antike auch für die Trepanation benutzt: Die Funde von Bingen und Kolophon (1.Jh.n.Chr.) zeigen eine gut durchdachte, für den Transport sogar zusammenfaltbare Konstruktion. Die um die Bohrachse geschlungene Sehne des Bogens trieb, wie schon beim steinzeitlichen Feuerbohrer, durch sägende Bewegung die Bohrmaschine an. Mit diesem Instrument wurden Bohrgeschwindigkeiten erzielt, die eine Wasserkühlung der Bohrstelle erforderlich machten.<sup>103,</sup>



181

Abb. 1.2.-16: Trepanation. a Bogen aus Kolophon, b , c Bogen und Trepan aus Bingen.<sup>103</sup>

Das gleiche Prinzip, das des Fidelbohrers, benutzte auch Civiale (1796 – 1867) bei der Entwicklung seines „Lithotriptors“, der 1823 erstmals zum Einsatz kam: Ein über die Harnröhre eingeführter Greifer fasst den Blasenstein, über einen zentralen Schacht zertrümmert ein von einem Fidelbogen angetriebener Bohrer den Stein durch multiple Bohrungen. Die Steintrümmer gehen auf natürlichem Weg ab. Die nach dem Steinschnitt hohe postoperative Sterblichkeit konnte durch die Lithotripsie deutlich reduziert werden. <sup>187</sup>

### **1.2.5. Zusammenfassung**

Die Geschichte der Chirurgie ist untrennbar mit der der Pfeilwunde verbunden. Die Behandlung der Pfeilwunde spiegelt den in der jeweiligen Epoche erreichten Stand der ärztlichen Kunst wieder. Nicht selten ist es die Pfeilwunde, deren Behandlung neue Entwicklungen und Strategien herausfordert.

Das plötzliche Auftreten von Krankheit und Schmerz hat rund um den Erdball dazu geführt, dass Krankheit und Pfeil gedanklich miteinander in Bezug gesetzt wurden und werden. Dementsprechend ist auch der Begriff des Arztes eng mit der Entfernung von (Krankheits-) Pfeilen verknüpft.

Der Bogen, ursprünglich als Waffe konstruiert, hat schon in der neolithischen Revolution die Metamorphose zum Werkzeug vollzogen. Als Werkzeug diente er spätestens seit der Antike dem Chirurgen bei Trepanationen, später dann bei Lithotripsien etc.

---

Wesentliche Teile dieses Kapitels wurde im World Journal of Surgery unter dem Titel “Arrow wounds: Major stimulus in the history of surgery“ veröffentlicht. <sup>94</sup>

## 1.3. Theoretische Grundlagen des Bogenschießens

### 1.3.1. Bogen

Grundsätzlich gibt es drei unterschiedliche Bogentypen, die sich vom Äußeren, vor allem aber in physikalischer Hinsicht deutlich unterscheiden:

- Langbogen (Longbow)
- Recurve-Bogen (Recurve) und
- Compound-Bogen (Compound).

Neben diesen weltweit verbreiteten Grundformen gibt es diverse regionale Sonderformen wie z.B. den japanischen (Kyudo-) Bogen, dessen Griff sich nicht in der Mitte, sondern am Übergang vom unteren zum mittleren Drittel befindet oder den Andamanen-Bogen, dessen oberer Wurfarm nach vorn (reflex), dessen unterer jedoch nach hinten (deflex) gebogen ist. Die jeweils unterschiedliche Bauweise hat nachhaltigen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit und das Verhalten der Bögen.

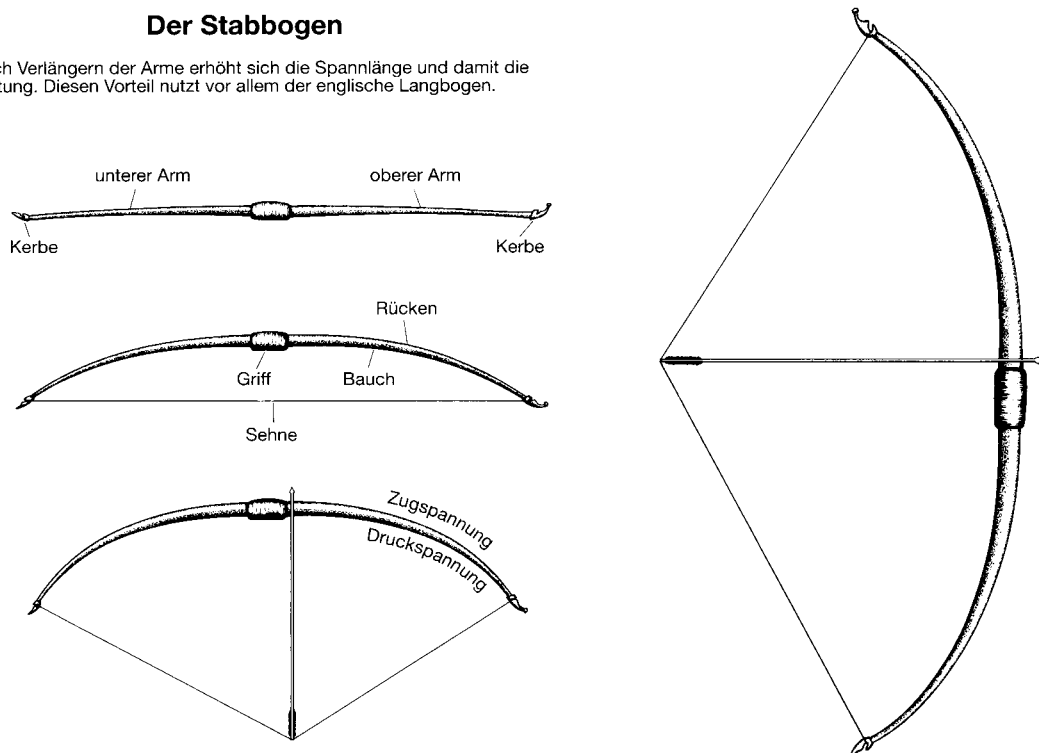


Abb. 1.3.-1: Langbogen <sup>118</sup>

Der Langbogen als der mit Abstand älteste und einfachste Bogen wurde ursprünglich als Stabbogen mit Rund-, später auch D-Profil hergestellt. Nachteil dieser Konstruktion ist das hohe Gewicht der Wurfarme, das die auf den Pfeil übertragbare Energie und damit die

Pfeilgeschwindigkeit reduziert. Vorteilhaft ist jedoch, dass mit dem Langbogen schwere Jagd- und Kriegspfeile problemlos verschossen werden können. Die Konstruktion flacher Langbögen mit rechteckigem Profil reduzierte die Trägheit des Bogens durch Reduktion der Hilfsmasse. Konstruktionsbedingt ist der Langbogen sperrig und daher denkbar ungeeignet für den Einsatz zu Pferde.<sup>74, 75, 76, 118</sup>

Als Beispiel sei ein reiner Eiben-Langbogen beschrieben: Die Eibe (*Taxus baccata* L.) wird seit der Steinzeit von Bogenbauern wegen ihrer hervorragenden Materialeigenschaften geschätzt. Das rötliche Kernholz ist äußerst druckstabil, während das helle Splintholz extrem zugstabil ist. Beim Bogenbau wird daher das Splintholz für den Bogenrücken (back = die dem Schützen abgewandte Seite), der sich ja unter Spannung dehnen muß, das Kernholz für den Bogenbauch (belly = die dem Schützen zugewandte Seite), der ja unter Spannung gestaucht wird, verwendet. Die völlig unterschiedlichen Eigenschaften des Kern- und Splintholzes machen aus der Eibe somit ein natürliches Komposit-Material. Darüber hinaus ist Eibe sehr elastisch, leicht und standfest.<sup>15, 92</sup>

Der nächste Schritt in der Evolution des Bogens ist der Recurve-Bogen. Die Enden der Wurfarme werden nach vorne gebogen: "re-curved". Dieses Design bringt bedeutend bessere Wurfeigenschaften mit sich, da der Bogen mehr Energie abspeichern kann. Außerdem wird der "Schock", der die Bogenhand des Langbogenschützen beim Abschuss durchschüttelt, deutlich reduziert: Der Recurve "wirft weicher". Neben der verbesserten Leistungsfähigkeit erlaubt der Recurve gleichzeitig eine deutliche Reduzierung der Bogenlänge, was natürlich dem Bedürfnis berittener Völker nach handlichen Bögen, die auch vom Pferderücken aus zu benutzen waren, entgegenkam.<sup>118</sup>

Die Tatsache, dass beim Spannen des Bogens am Bogenrücken Zugspannung, am Bogenbauch jedoch Druckspannung auftritt, führte wohl zu der Überlegung, durch Kombination verschiedener Materialien deren Eigenschaften miteinander zu verbinden. Die Entwicklung des Kompositbogens, eines aus verschiedenen Materialien zusammengesetzten, "komponierten" Bogens stellt konsequent den nächsten Evolutionsschritt dar.<sup>118,121</sup> Der osmanische Bogen soll hier als Beispiel dienen:

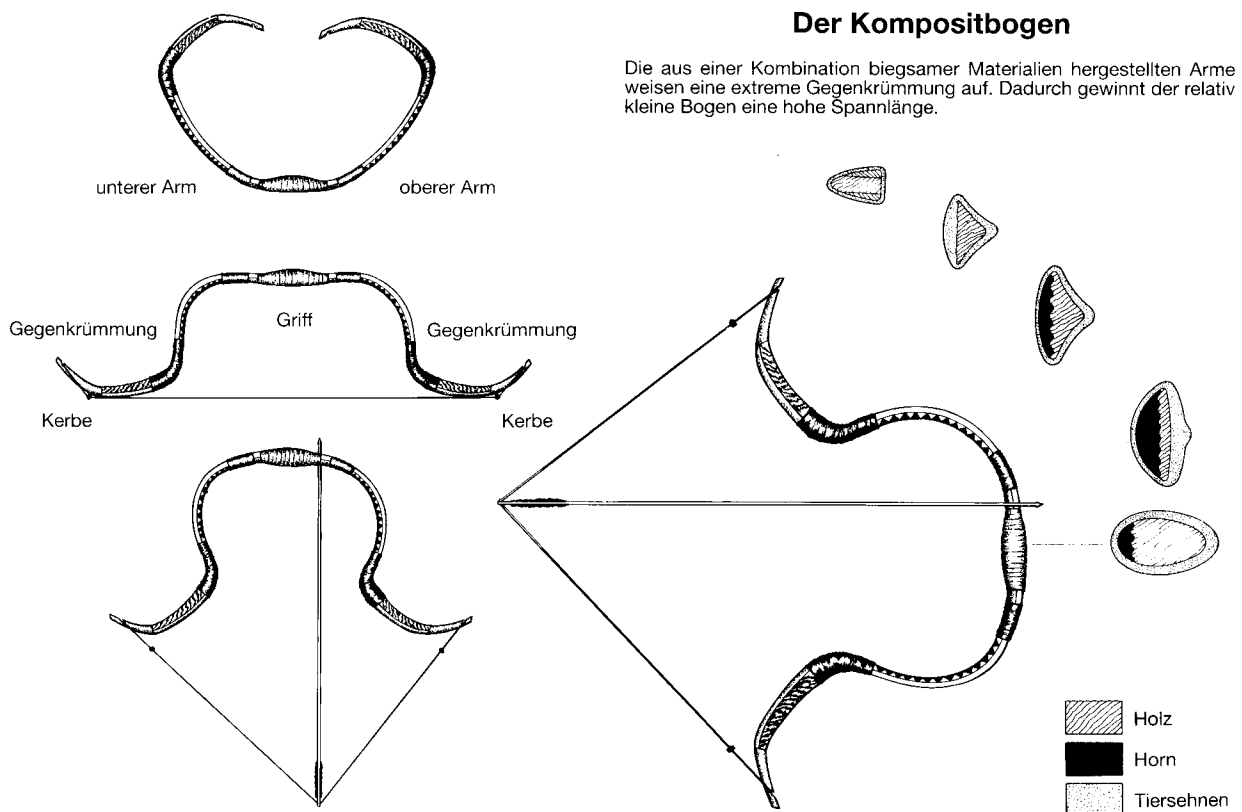


Abb. 1.3.- 2: Kompositbogen <sup>118</sup>

Auf die hölzerne Recurve-Bogenseele wurde ein Backing aus Sehne aufgebracht, der Bogenbauch mit Horn versteift, als Kleber ein elastischer Fischleim verwendet. Sehne ist extrem dehnbar, Horn hält extremer Stauchung stand. Die hölzerne Bogenseele ist so einerseits optimal vor Bruch geschützt, andererseits kommt es im Sinne eines Synergie-Effektes zu einer massiven Leistungssteigerung des Bogens. Resultat dieser Komposition waren Bögen, deren Leistungsfähigkeit erst im 20. Jahrhundert mit synthetischen Materialien erreicht und übertroffen wurde. Als nachteilig hat sich allerdings die Feuchtigkeitsanfälligkeit dieser Bögen z.B. bei der Belagerung von Wien erwiesen: Die Bögen wurden unbrauchbar, da sie sich wegen der hohen Luftfeuchtigkeit in ihre Bestandteile zerlegten. <sup>81</sup> Erst die Erfindung moderner Kleber und synthetischer Fasern haben hier wirklich hervorragende, witterungsunabhängige Komposit-Bögen geschaffen. Die Einführung glasfaserverstärkter Kunststoffe (GFK) sowie der modernen Carbon-Werkstoffe läßt heute die Qualität des Bogenholzes stark in den Hintergrund treten: Das Holz ist heute, wenn überhaupt noch vorhanden, teilweise nur noch Trägermaterial für die Kunststoffe. In Bognerkreisen heißt es daher: "Das Glas wirft."



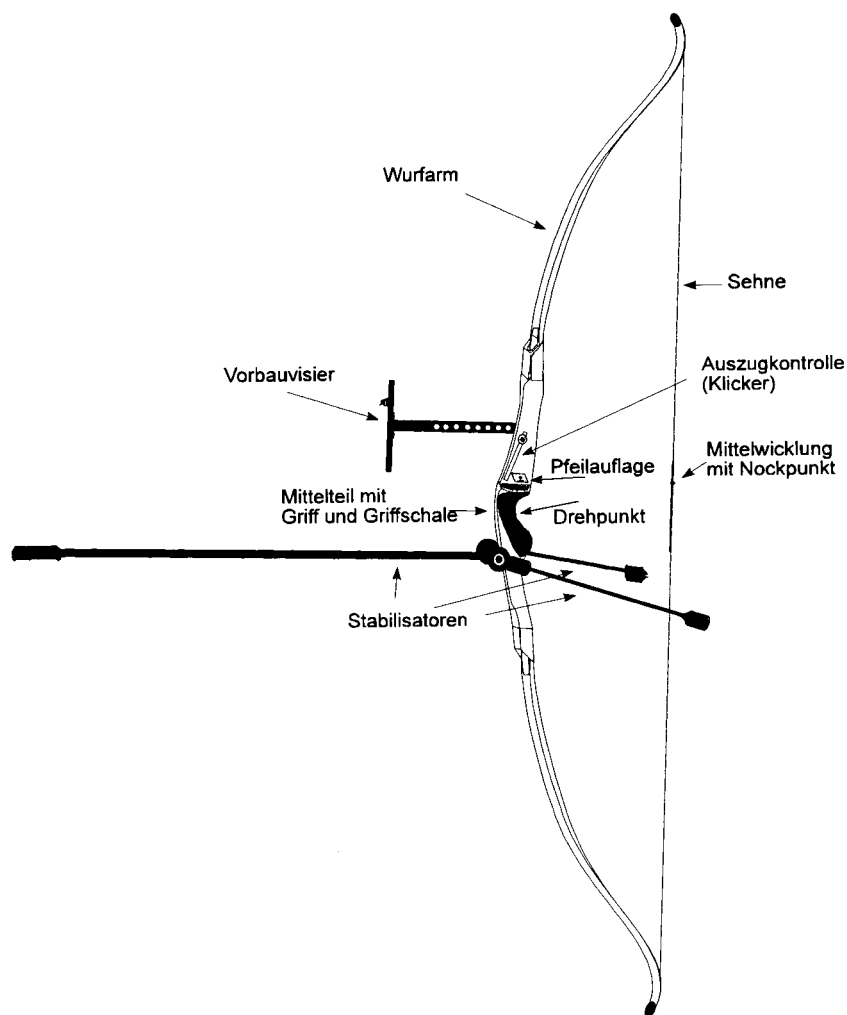


Abb. 1.3.- 3: Moderner ("Olympischer") Recurvebogen <sup>39</sup>

Der derzeit letzte Evolutionsschritt wurde 1969 mit der Erfindung des Compound-Bogens (engl. *compound* = zusammengesetzt) durch Holless Wilbur Allen vollzogen. Dieser extrem kurze Bogen hat an den Enden der Wurfarme Exzenterrollen (sog. "Cams"), die die Sehne, häufig ein Stahlkabel, zum gegenüberliegenden Wurfarm zurückleiten. Der Effekt ist mit einem Flaschenzug vergleichbar: Beim Spannen des Bogens nimmt das Zuggewicht nach Überwindung eines initialen Maximums wieder ab, wobei durch entsprechende Gestaltung der Exzenterrollen eine Gewichtsreduktion bei vollem Auszug bis zu 75% möglich ist. Dies ermöglicht ein relativ müheloses Bewältigen hoher Zuggewichte sowie ein entspanntes und präzises Zielen und macht so den Compound zum idealen Jagd- und Turnierbogen. Häufig

satteln Bogenschützen auch aus gesundheitlichen Gründen (z.B. "Archer's Shoulder") auf den Compound um.<sup>58, 112, 182</sup>

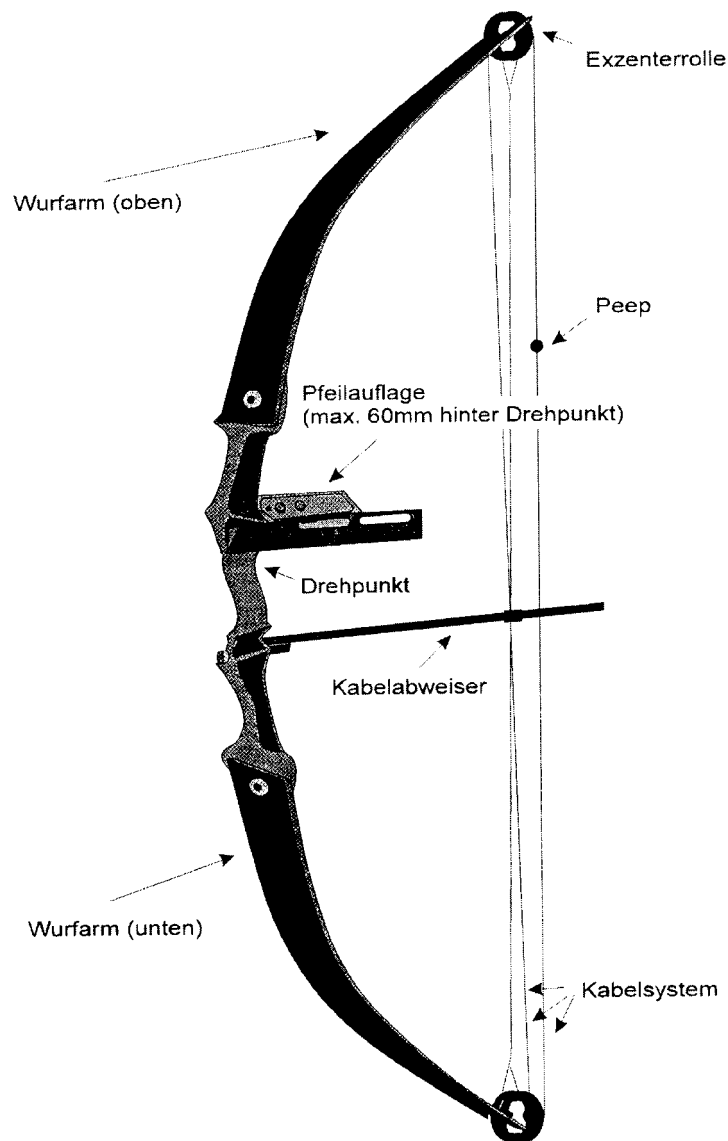


Abb. 1.3.- 4:Compound-Bogen<sup>39</sup>

Am anschaulichsten kann man den Unterschied der drei Bogentypen Langbogen, Recurve und Compound durch die sog. Kraft-Zug-Kurve (*Force-Draw-Curve*; siehe auch 1.3.4. Ballistik des Bogenschießens und 2.1.5. Material und Methoden - Kraft-Zug-Kurve) darstellen, wobei die Fläche unter der jeweiligen Kurve der gespeicherten Energie entspricht.

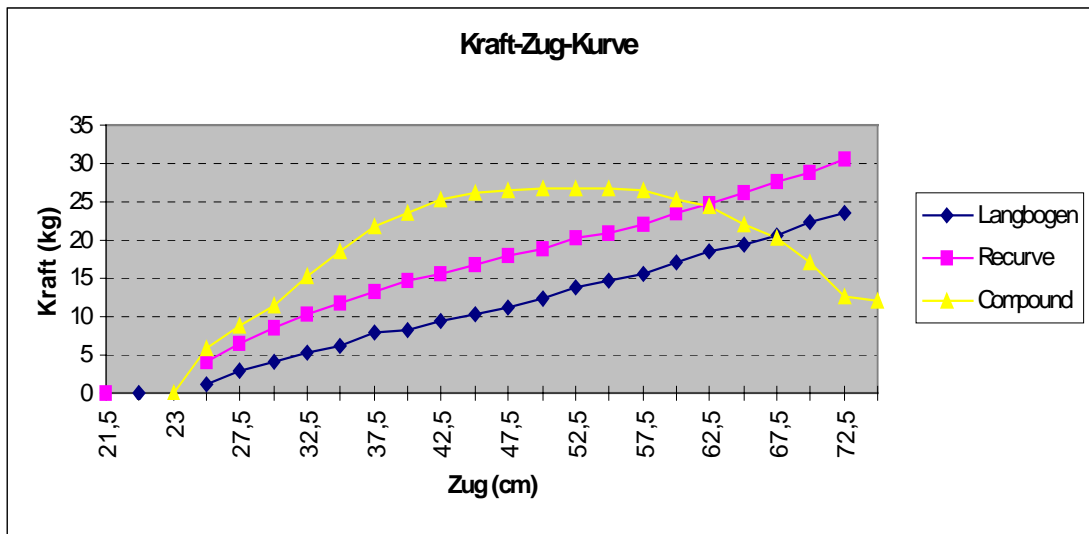


Abb.1.3.- 5: Kraft-Zug-Kurve (Grafik auf der Basis eigener Daten)

Abschließend sei hier die Hysterese erwähnt, ein Phänomen, das bei den aus modernen Materialien gebauten Bögen mehr und mehr zu vernachlässigen ist. Bei fast allen Bögen zeigt sich beim Entspannen, dass für die gleichen Zuglängen weniger Kraft aufgewandt werden muss als beim Spannen. Die folgende Abbildung zeigt durch die beiden Kurven diesen Vorgang.<sup>98</sup>

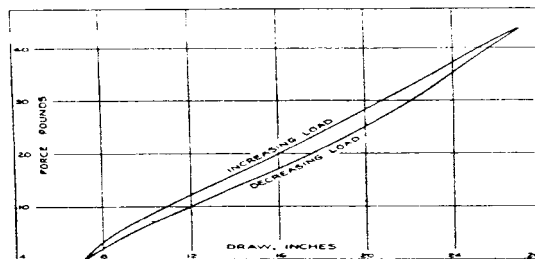


Abb. 1.3.- 6: Hysterese<sup>98</sup>

Die obere Kennlinie verdeutlicht die aufgewendete Kraft beim Spannen (Increasing Load), die untere die etwas geringere beim Entspannen (Decreasing Load). Klopsteg bestimmt bei seinen Versuchen den Kraftverlust der Wurfarme mit 5 bis 20%. In der Praxis dürfte der Verlust geringer ausfallen, da ein traditioneller Bogenschütze den Bogen kaum so lange hält wie Klopsteg in seinen Versuchen (2,5 sec). Es ist hingegen übliche Praxis, einen Holzbogen vor dem Lösen (Release) kurz anzureißen, um ihn dadurch noch einmal "hart" zu machen und so die Performanz des Bogens zu steigern. Für diese Technik gibt es bisher weder physikalische noch (holz-) technische Erklärungen, aber sie wird in verschiedenen Kulturkreisen und im Sport mit gutem Erfolg angewandt.<sup>45, 98</sup>

Insbesondere bei Bögen aus natürlichen Materialien darf der Einfluß der Hysterese auf die Performanz nicht vernachlässigt werden: Der gespannte (Holz-)Bogen verliert mit der Zeit seine Kraft, Pfeilgeschwindigkeit und Reichweite sinken. Traditionelle Bogenschützen entspannen daher in Turnierpausen ihren Bogen, damit auch er sich erholen kann. Bei modernen Compoundbögen wird mit Hysterese der Reibungsverlust im Bogen bezeichnet. Eine Hysterese im Sinne Klopsteg's ist beim Compound nicht mehr zu beobachten. Der Compound bleibt permanent gespannt obwohl mittlerweile auch für den mobilen Einsatz geeignete Bogenpressen, die zum Spannen und Entspannen dieses Bogentyps erforderlich sind, zur Verfügung stehen.

Neben Material und Bogendesign (Typ) sind Zuggewicht (kg), (Kontur-)Länge des Bogens (cm), maximaler Auszug (cm), das Verhältnis von Bogenlänge zum maximalen Auszug, Pfeiltyp, Pfeilgewicht (g) und maximale Geschwindigkeit ( $V_{\max}$  (m/sec)) die wichtigsten physikalischen Parameter, um einen Bogen bezüglich Leistung und Verhalten zu definieren. Auf dieser Basis haben z.B. Bergman et.al. unterschiedliche Bögen miteinander vergleichen können.<sup>18</sup>

### **1.3.2. Armbrust**

Die Armbrust stellt - wenn man so will - einen geschäfteten Bogen dar, mit dem der Schütze ohne Anstrengung im gespannten Zustand zielen kann. Der Schaft erleichtert den Anschlag und das Spannen der Waffe. Die Armbrust stellt eine präzise und durchschlagskräftige Waffe dar, die auch Schützen bedienen können, denen das Geschick oder die Kraft zum Bogenschießen fehlt.<sup>207</sup>

Die drei Bogentypen Langbogen, Recurve und Compound können also durch Anbringen eines mit einem Auslösemechanismus versehenen Schaftes ("Säule", "Tiller", "Stock") in den entsprechenden Armbrusttyp umgewandelt werden. Der Schaft ist mit dem aus Nuß und Abzug (Trigger) bestehenden Auslösemechanismus, einer Bolzenrinne zur Aufnahme und Führung des Pfeiles ("Bolzen") und einer Blattfeder ("Bolzenklemmer") ausgerüstet, die den in der Bolzenrinne liegenden Bolzen vor der in gespanntem Zustand in der Nuß gefangenen Sehne fixiert, so dass er auch bei ungünstigen Schußwinkeln nicht aus der Rinne fallen kann.<sup>207</sup>

### Die Hauptteile der Armbrust

- a Schulterstütze
- b Schaft, Säule
- c Abzug
- d Nuß
- e Bolzenrinne
- f Sehne
- g Verankerung
- h Bogen
- i Fußbügel

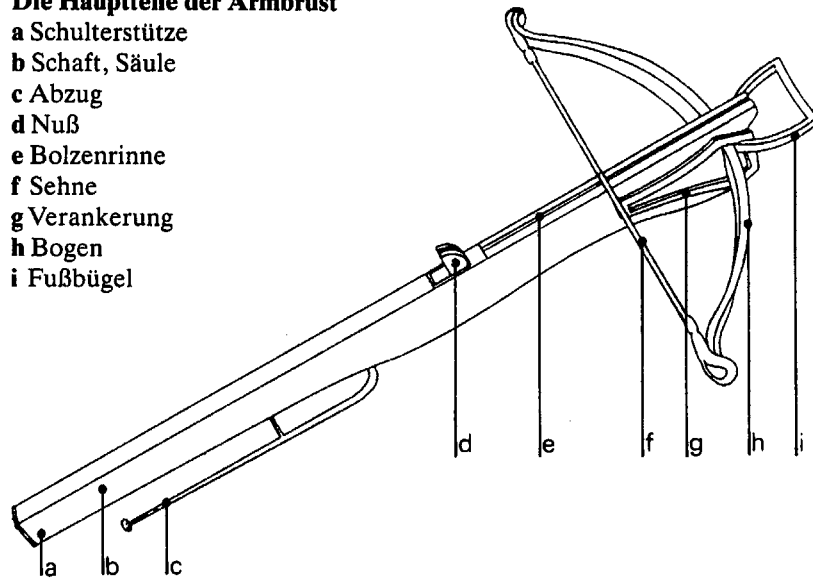


Abb. 1.3.- 7: Mittelalterliche Armbrust <sup>207</sup>

Der Bolzen besteht aus dem Schaft ("Zain"), der Spitze ("Eisen") und der Befiederung, die auch aus Pergament, Leder, Holz oder Plastik bestehen kann. Da der Bolzen nicht auf der Sehne eingekockt wird, verfügt er auch nicht über eine Kerbe am hinteren Ende: Das stumpfe Ende des Bolzen wird als "Beschneidung" bezeichnet. <sup>207</sup>

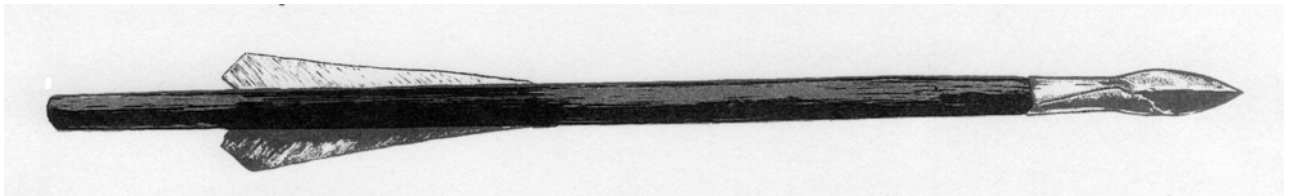


Abb. 1.3.- 8: Bolzen <sup>207</sup>

Armbrüste lassen sich aufgrund ihrer Spannverfahren, der Bogentypen und Bogenmaterialien, der Geschosse und der Verwendung untergliedern. Die Armbrust kann manuell ( (a) Fußbügel und Hände oder (c) Fußbügel und Spannrriemen mit Haken = "Stegreif") oder (b) mittels einer mechanischen Spannhilfe (z.B. "Geißfuß", Wippe, Winde "Cranequin") gespannt werden, womit Zuggewichte weit jenseits der physischen Leistungsfähigkeit eines Menschen erzielt werden können. <sup>207</sup> Im Gegensatz zum Bogen kann die Armbrust in gespanntem und entsichertem Zustand abgelegt werden, so dass sich unbeabsichtigt ein Schuß lösen kann.

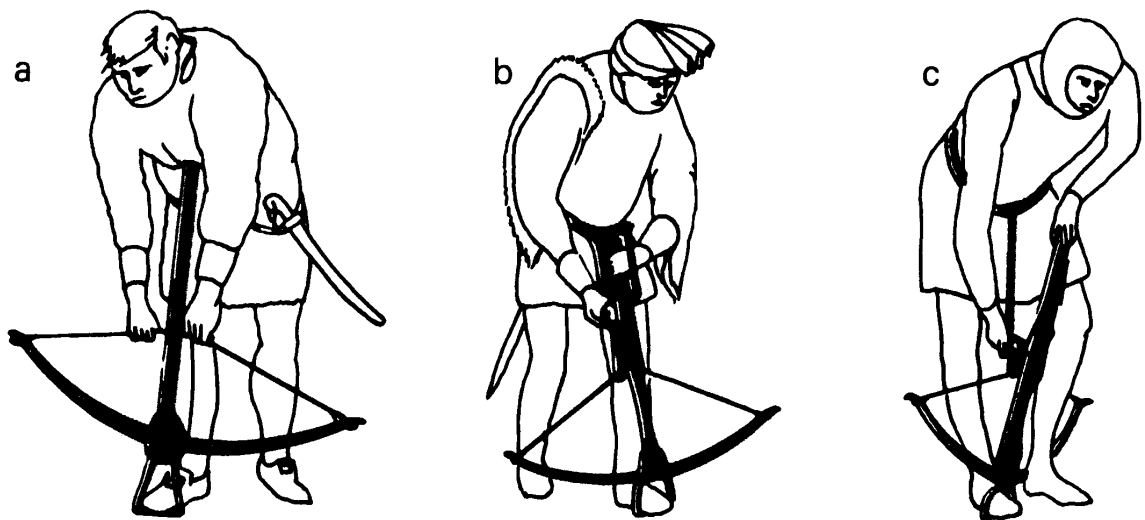


Abb. 1.3.- 9: Spannweisen<sup>207</sup>

Neben der allgemein bekannten Armbrust gibt es - analog zum Kugelbogen - den Kugelschnäpper, der statt des Bolzens Kugeln oder Steine verschießt. Typisch für den Kugelschnäpper ist die doppelte Sehne und eine Tasche zur Aufnahme des Geschosses. Eine moderne Feldarmbrust ist von der Bauweise des Schaftes her einem Gewehr nicht unähnlich.<sup>207</sup> Im Gegensatz zum Gewehr ist aber bei der Armbrust ein Rückstoß nicht zu registrieren.

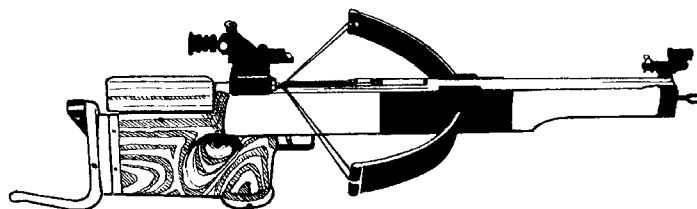


Abb. 1.3.- 10: Moderne Feldarmbrust<sup>40</sup>

Die Repetierarmbrust wurde von den Chinesen noch im Chinesisch-Japanischen Krieg von 1894-95 eingesetzt, vorwiegend aus festen Stellungen. Die Chinesen schossen die Waffe in der Regel aufgelegt, wobei eine Hand die Waffe hielt und richtete, während die andere lud und den Abzug betätigte. Im Magazinkasten über der Säule lagen die ungefederten Bolzen übereinander geschichtet. Den Ladevorgang verdeutlicht die untere Bildfolge. In vorderer Stellung hakt der Geißfuß (= Magazin) die Sehne ein (a). Beim Zurückziehen spannt er die Sehne (b). Der starre Abzugstollen (c) stößt die Sehne (d) aus dem Mitnehmer, worauf diese vorschneilt und den untersten Bolzen (e) herauskatapultiert. Rasche Wiederholung dieses Vorganges führt - auf Kosten der Präzision - zu einem "Maschinengewehreffekt".<sup>207</sup>

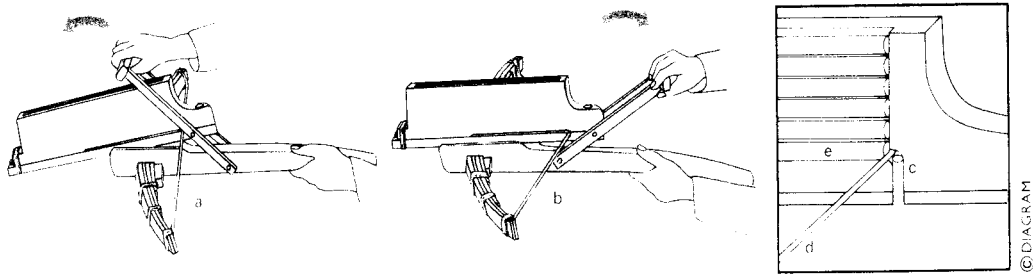


Abb. 1.3.- 11: Chinesische Repetierarmbrust<sup>207</sup>

### 1.3.3. Pfeil

Ein Pfeil besteht aus Schaft, Spitze, Nocke (Kerbe zur Aufnahme der Bogensehne) und stabilisierenden Federn (*Fletches*, *Vanes*) vor der Nocke. Ein zusätzliches "Cresting", eine individuelle, den Schützen identifizierende Markierung vor den oder im Bereich der Federn, kann angebracht sein, bei einigen sportlichen Veranstaltungen ist sie obligat. Bei industriell gefertigten Pfeilen befinden sich Hersteller- und Produktangaben (Pfeilcode) als Cresting auf dem Schaft.

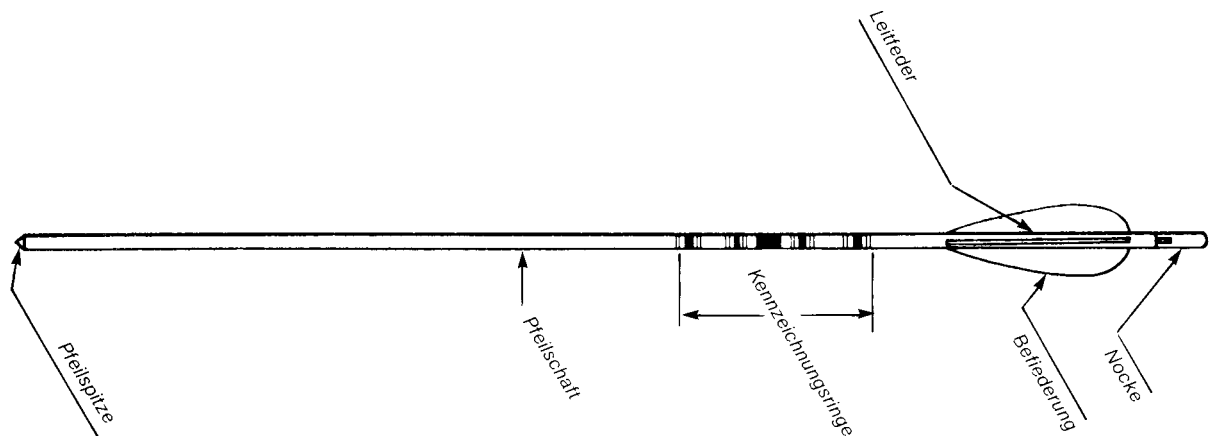


Abb. 1.3.- 12: Pfeil<sup>80</sup>

#### 1.3.3.1. Pfeilschaft

Die Länge des Pfeiles wird durch die Anatomie des Schützen und dem von ihm verwendeten Ankerpunkt (=Anschlagart: z.B. Kinn, Kieferwinkel) bestimmt. Die Eigenschwingungen eines Pfeiles, bestimmt durch seine Elastizität und Masse, muß stets dem mechanischen Verhalten des jeweiligen Bogens genau angepaßt sein. Die Schaftelastizität ist so eine der wichtigsten

Eigenschaften eines Pfeiles und wird in der Praxis als *Spinewert* (spine = Rückgrat) unter Standardbedingungen (GNAS = Grand National Archery Society) als Durchbiegung  $f$  des Schaftes bestimmt, indem die Schaftmitte zwischen zwei Auflagepunkten (Abstand = 26) mit 2 lbs. (engl. Pfund = 0,454 kg) belastet wird. Zwischen dem Spinewert und der Zugkraft des vorgesehenen Bogens besteht ein direkter Zusammenhang: Nur ein Pfeil mit dem korrekten Spinewert kann auch korrekt fliegen und treffen. Je höher die Zugkraft eines Bogens, desto steifer muss der zugehörige Pfeil sein. Eine Verkürzung des Schaftes versteift den Pfeil, eine Erhöhung des Spitzengewichtes macht ihn weicher. Ein zu weicher oder zu harter Pfeil kann beim Passieren des Bogens an diesem anschlagen und so außer Kontrolle geraten. Ein zu einem 10 kg-Bogen passender Pfeil kann nicht mit einem 30 kg-Bogen verschossen werden: Die Weichheit des Pfeiles würde bestenfalls zu einem Fehlschuß führen, schlimmstenfalls zum explosionsartigen Brechen des Pfeiles im Schuß mit entsprechender Verletzung der Bogenhand sowie einer Beschädigung des Bogens. Die optimale Abstimmung (Tuning) von Pfeilen auf einen Bogen setzt umfangreiche Materialkenntnisse, Erfahrung und Praxis voraus.<sup>13, 16, 68, 84</sup>

Die für Pfeile benutzten Materialien sind vielfältig und unterliegen dem sportlichen Reglement. Langbögen dürfen z.B. ausschließlich mit Holzschäften (meist Kiefer oder Zeder) geschossen werden, die mit Naturfedern von 5" (12,7 cm) Länge befiedert sein müssen. Auch das Gewicht der Pfeilspitzen ist vorgeschrieben. In den anderen Klassen sind alle Materialien zugelassen, es finden sich hier also neben Holzschäften auch solche aus gezogenen Aluminiumrohren, Carbon und Aluminium/Carbon-Verbundstoffen (z.B. ACE®), wobei die Befiederung aus Naturfedern oder Weichplastik-"Fahnen" (Vanes) bestehen kann. Da die Federn/Fahnen in sämtlichen Farben der Palette gefärbt sein können, bestimmte moderne Schäfte bestimmte Nocken (z.B. Björn®, Beiter®) erfordern, zudem individuelle Kombination dieser Materialien die Regel ist, stellt ein Pfeil für den Fachmann ein dem Fingerabdruck ähnliches unverwechselbares Kennzeichen des Schützen dar. Selbst völlig neutral gehaltene Pfeile erlauben aufgrund von Länge, Durchmesser, Elastizität etc. Rückschlüsse auf die Person des Schützen und den von ihm verwendeten Bogen.

### 1.3.3.2. Pfeilspitzen

Die verschiedenen Pfeilspitzen lassen sich auf wenige Grundformen reduzieren, die seit der Steinzeit nachweisbar sind. Heutige Versuche, die Vielfalt der bekannten Pfeilspitzen zu katalogisieren, sind bisher (verständlicherweise) überwiegend aus dem Lager der Archäologen und Historiker gekommen. Diese Untersuchungen haben vorrangig das Ziel, die gefundenen Pfeilspitzen anhand feinsten Unterscheidungsmerkmale einer bestimmten Epoche oder einer bestimmten Volksgruppe zuzuordnen und auf dieser Basis weitere Schlüsse z.B. über die Verbreitung bestimmter Kulturen zu ziehen<sup>26, 45 usw.</sup>



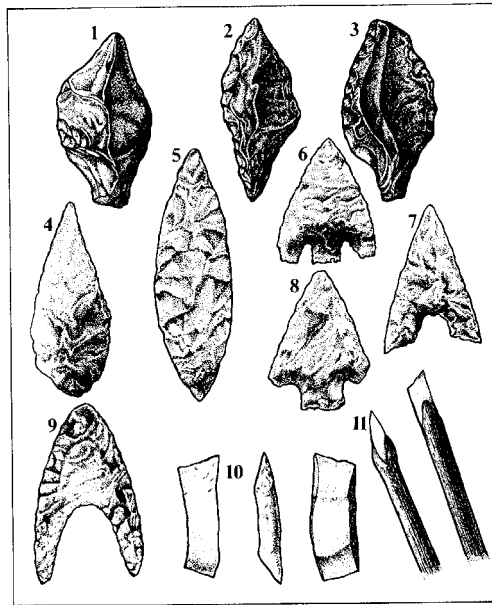


Abb. 1.3.- 13: Steinzeitliche Stein- und Feuerstein-Pfeilspitzen <sup>78</sup>

Die oben abgebildeten steinzeitlichen Pfeilspitzen können folgenden Epochen und Kulturen zugeordnet werden: 1, 2 und 3: Mittleres Paleolithikum; 4 und 5: Neolithikum, blattförmig; 6: Bronzezeit mit Widerhaken und Schaftzunge; 7 und 8: Mesolithikum; 9: Vor-Pharaonisches Ägypten, Jaspis mit Schwalbenschwanz; 10 und 11: Ertebolle Kultur (Dänemark) Meißelförmige (chisel-shaped) Flint-Pfeilspitze. <sup>78</sup>

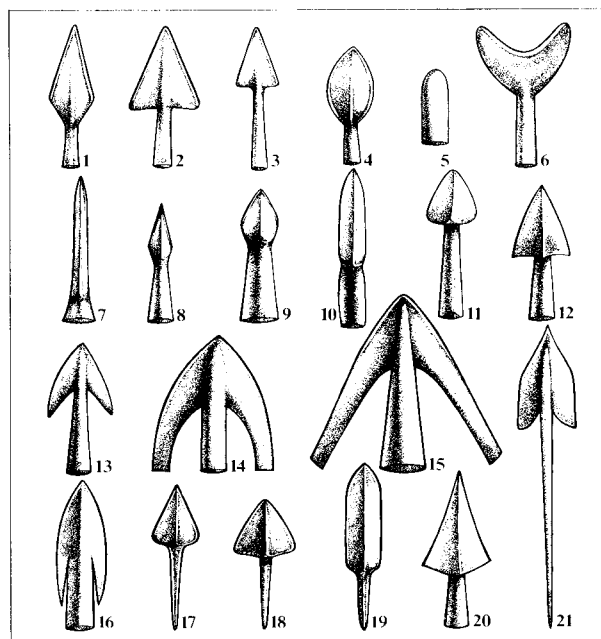


Abb. 1.3.- 14: Mittelalterliche Pfeilspitzen <sup>78</sup>

Die obige Abbildung basiert in Typisierung und Numerierung auf dem Katalog des London Museum. (1=lanzenförmig-rhomboid, 2 u. 3=dreieckig, 4=blattförmig, 5=spitz-konisch, 6=meißelförmig (hier:"Halbmond"), 7-10=spitz ("Bodkin" = Ahle), 13=bärtig (barbed = mit Widerhaken) 14 u. 15= "Breitkopf" (Große Bartspitze, "Schwalbenschwanz"). Man achte auch auf die beiden Grundtypen der Pfeilspitzenbefestigung: Dorn ("männlich") und Tülle ("weiblich").<sup>78</sup>

### 1.3.3.3. Pfeilgifte

Neben der primär durch den Pfeil verursachten Wunde, der sekundär im Rahmen der Pfeilentfernung entstehenden iatrogenen Traumatisierung und dem eine Pfeilverletzung immer begleitenden Infektionsrisiko muß bis in die heutige Zeit zumindest in einigen Teilen der Welt auch mit der Präsenz von Pfeilgiften gerechnet werden. Auf eine Behandlung dieses Gebietes muß verzichtet werden, da sie den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Die Pfeilgifte sind außerdem als Objekte intensiver pharmakologischer Forschung gut dokumentiert.<sup>4, 25, 110</sup>

Es sei angemerkt, dass nicht wenige dieser Gifte wie z.B. Curare, Strophanthin oder Taxin der modernen Medizin wichtige Impulse gegeben haben und so zu hochpotenten Heilmitteln konvertiert werden konnten.<sup>110, 79, 116, 136</sup>

Gegenstand jüngster Forschung sind die süd- und mittelamerikanischen Pfeilgiftfrösche, deren Hautsekrete zu den stärksten bekannten Giften im Tierreich gehören. Einige dieser Frösche (*Phyllobates terribilis*) sind so giftig, dass schon die Berührung ihrer Haut lebensgefährlich ist. Südamerikanische Indianer benutzen das Hautsekret dieser Frösche, um ihre Pfeile damit zu vergiften. Aus dem Hautsekret eines dieser Frösche (*Epipedobates tricolor*) konnte Epibatidin isoliert werden, ein 200fach potenteres Schmerzmittel als Morphin. Die Epibatidinwirkung ist nicht mit Naloxon zu antagonisieren, was völlig neue Ansatzpunkte für die Schmerztherapie eröffnet, da ein bisher unbekannter Nicht-Opiat-Rezeptor vorliegen muss.<sup>36, 48</sup>

### 1.3.4. Ballistik des Bogenschießens

#### 1.3.4.1. Physikalische Grundlagen

Die zur Beschleunigung des Pfeiles notwendige kinetische Energie wird durch die Zugarbeit des Schützen gegen die Elastizität des Bogens aufgebracht. Da der gespannte Bogen physikalisch mit einer gespannten Feder verglichen werden kann, kann die potentielle Energie  $E_{pot}$  des Bogens ausgedrückt werden als:

$$(1) \quad E_{pot} = \int_0^{x_{max}} F(x) \times dx$$

wobei  $F(x)$  die Entwicklung der Zugkraft,  $x_{\max}$  die maximale Auszugslänge des Bogens und  $d_x$  den Dehnweg darstellt. Grafisch kann die gespeicherte Energie als Fläche unter dem Kraft-Zug-Kurve (Force-Draw-Curve) dargestellt werden (s.u.).

Üblicherweise wird diese Energie mit der einer linearen Feder gleicher Maximalkraft und gleicher Ausdehnung verglichen. Das Verhältnis

$$(2) \quad r = \frac{E_{pot}}{\frac{1}{2} \times F_{max} \times x_{max}}$$

wird als Recurvefaktor bezeichnet. Beim Langbogen (Kraftverlauf siehe Abb. 1.3.-15) bleiben die Werte unterhalb 1, Recurve- und Compoundbögen erreichen Werte zwischen 1.1 und 1.2.

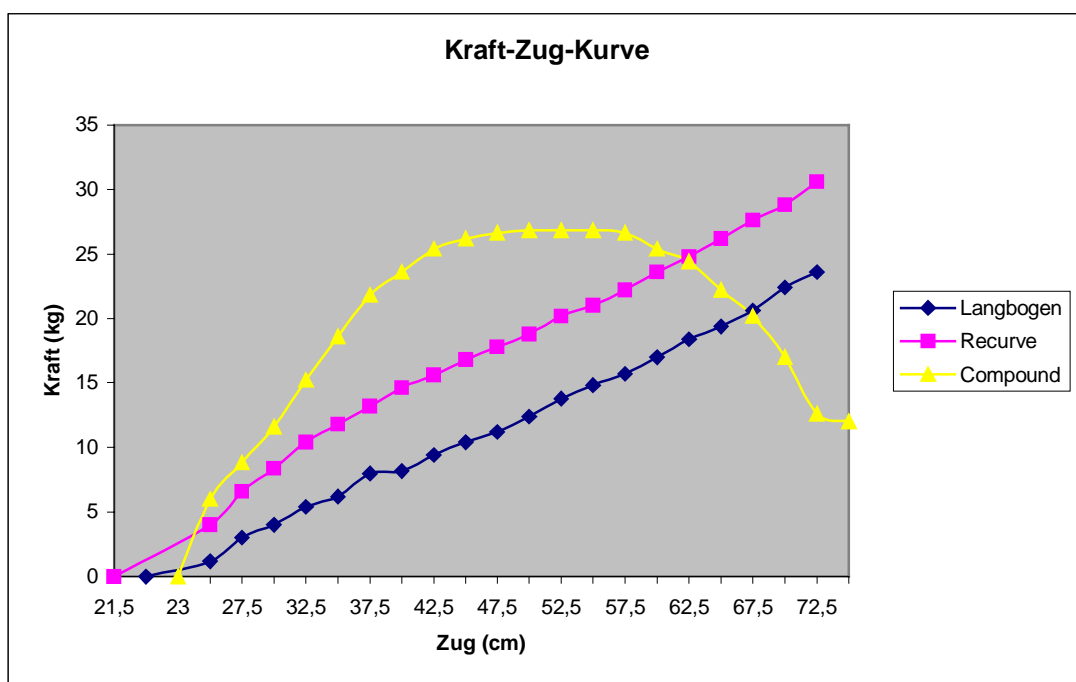


Abb. 1.3.- 15: Kraft-Zug-Kurve (eigene Untersuchung)

Unschwer ist die mehr als 50%ige Gewichtsreduktion bei vollem Auszug und, bei Betrachtung der Fläche unter der Kurve, die enorme Energieabspeicherung beim Compound-Bogen zu erkennen. Nur diskret ist der konvexe Kurvenverlauf des Recurve und der konkave des Langbogens zu erkennen. Genau dieser Unterschied (konvex/konkav) spiegelt aber die Abweichung von der idealen Feder wieder, die als Gerade zwischen Recurve und Langbogen in die Grafik gedacht werden kann.

Eine weitere wichtige Bogenkenngröße ist der sogenannte Wirkungsgrad  $\eta$  (Effizienz), der das Verhältnis der kinetischen Energie des Pfeiles (die „nutzbare Energie“) zur insgesamt angewendeten Energie darstellt. Dieser Wirkungsgrad ist einerseits vom Verhältnis der

mitbeschleunigten Bogenmasse (die sog. „Träger-„ oder „Hilfsmasse“ wie Wurfarme, Sehne usw.) zur Pfeilmasse („Nutzmasse“) abhängig, andererseits von der Bogenkonstruktion. Es gilt:

$$(3) \quad \eta = \frac{\frac{1}{2} \times m \times v^2}{E_{pot}} = \frac{1}{1 + \frac{m_A}{k \times m}}$$

wobei m die Masse und v die Geschwindigkeit des Pfeiles,  $m_A$  die beschleunigte Bogenmasse und k eine vom Bogen abhängige Konstante darstellt. <sup>93, 166</sup>

### 1.3.4.2. Ballistik

Beim Pfeilflug sind drei Phasen zu unterscheiden:

1. Beschleunigung auf  $V_{max}$  durch den Bogen (Innenballistik)
2. Flugphase (Außenballistik)
3. Abstoppen im Ziel (Ziel- bzw. Wundballistik)

#### 1.3.4.2.1. Innenballistik

Vom Lösen der Sehne durch den Schützen („Release“) bis zum Abnocken von der Sehne erfährt der Pfeil eine auf  $V_{max}$  zunehmende Beschleunigung, wobei  $V_{max}$  abhängig ist vom Bogen (Energieabgabe, Wirkungsgrad) und vom Pfeil (Pfeilgewicht, Stirnfläche, Befiederung). Ein wesentlicher Aspekt der Beschleunigungsphase, der sich auch noch auf die ersten Meter der Flugphase auswirkt, ist das sog. "Archer's Paradox".

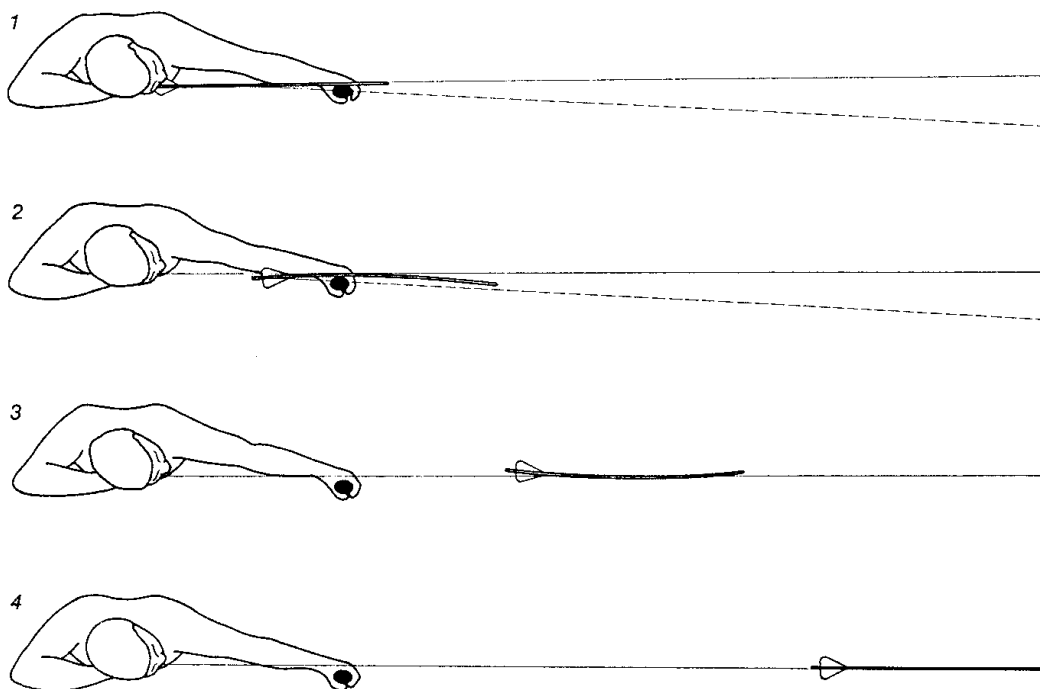


Abb. 1.3.- 16: Archer's Paradox <sup>59</sup>

Das hintere Ende des Pfeiles wird durch die vorschnellende Sehne bereits beschleunigt, während der vordere Teil, dem Gesetz der trägen Masse folgend, noch ruht. Resultat ist ein Durchbiegen des Pfeilschaftes (Kritischer Moment: Gefahr des Pfeilbruches bei Materialmängeln!). Erst jetzt erfährt auch die Pfeilspitze eine Beschleunigung: Der Pfeil streckt sich und biegt sich in die Gegenrichtung. Nach einigen Metern freien Fluges stabilisiert sich schließlich der Pfeil.

Diese Schlängelbewegung ist bei den "alten" Bögen, also den Bögen ohne Schußfenster, eine unbedingte Voraussetzung für das Passieren des Bogens. Seit Einführung des gefensterten Bogens, bei dem quasi durch das Zentrum des Bogens geschossen werden kann, ist das Paradox für die Passage des Bogens eigentlich nicht mehr notwendig. Da sich aber die Physik der Beschleunigung nicht geändert hat, versucht der Bogenschütze heute, durch optimale Materialwahl (Spine-Wert, Befiederung etc.) die Auswirkung dieser Oszillationen zu minimieren und so einen möglichst ruhigen Pfeilflug zu erzielen. Hierzu gehört neben der Materialwahl z.B. auch die Verkürzung des Pfeiles durch eine Auszugsverlängerung (sog. „Overdraw“), bei den Osmanen bereits als „Siper“ bekannt <sup>81</sup>, sowie die Einführung des sog. "Mechanischen Release": Die Sehne wird nicht mehr mit den Fingern, sondern mit einer mechanischen Halterung gezogen, die einen Abzughebel besitzt, vergleichbar einem Stecher beim Gewehr. Beim Lösen der Sehne wird diese nun auf direktem Weg entlassen, während beim Lösen mit den Fingern die Sehne immer einen "Kick" zur Seite erhält und durch Zurücklegen eines violinschlüsselförmigen Weges (Abb. 1.3.- 17) das Paradox noch verstärkt.

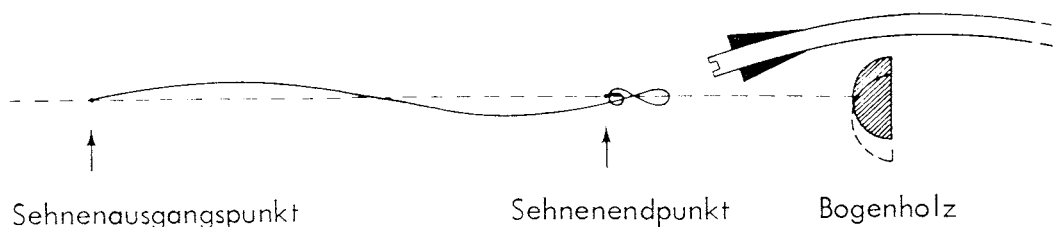


Abb. 1.3.- 17: Sehnenweg <sup>101</sup>

### 1.3.4.2.2. Außenballistik

Der Pfeilflug wird einerseits durch den durch die schwere Pfeilspitze weit nach vorne verlagerten Schwerpunkt (sog. "Pfeilstabilisierung"), andererseits durch die weit hinter dem Schwerpunkt auf die Federn einwirkenden Strömungskräfte (sog. "Flügelstabilisierung") stabilisiert. Da die Federn üblicherweise leicht versetzt am Pfeilschaft fixiert werden ("rifling" <sup>175</sup>), Naturfedern außerdem einen leichten Schwung haben, wird der Pfeil zusätzlich während des Fluges in Rotation versetzt, so daß eine evtl. Unwucht ausgeglichen wird (sog. "Drallstabilisierung"). Diese Kräfte bewirken ein rasches Ausrichten des Pfeiles nach dem

Verlassen des Bogens, so daß die Auswirkungen des "Archers Paradox" nach wenigen Flugmetern austarriert sind. Selbst sog. "Lösefehler", also ein Verreißen der Sehne durch den Bogenschützen mit folgendem "Schwänzeln" des Pfeiles, werden so zumindest teilweise kompensiert. Die hervorragenden Flugeigenschaften von Pfeilen haben wohl auch bei der Entwicklung flügelstabilisierter Pfeilgeschosse (sog. „*Flechettes*") Pate gestanden, die wegen Unterkalibrigkeit in einem Treibkäfig verschossen werden müssen, wobei dieser Treibkäfig auch für die Übertragung des Dralles verantwortlich ist. <sup>166</sup>

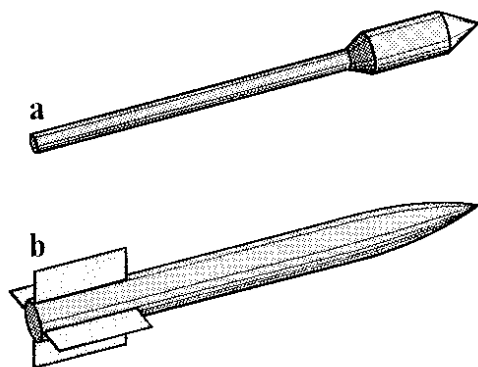


Abb. 1.3.- 18: Drallose Stabilisierung: Pfeil- (a) und Flügelstabilisierung (b) <sup>166</sup>

Vom Abnocken von der Sehne bis zur Ankunft im Ziel wird der Pfeil kontinuierlich langsamer (Luftwiderstand, Reibung), wobei die Stirnfläche des Pfeiles, die Befiederung und seine Oberfläche das Ausmaß des Reibungsverlustes bestimmen. Die Flugeigenschaften können noch durch Konisierung des Schaftes von der Pfeilmitte her (sog. "tapern" oder "barreln") und eine entsprechende Oberflächenbehandlung modifiziert werden. Klassischerweise wird ein Pfeil mit 3 Federn mercedessternförmig "befiedert": Eine Leitfeder ('Cock-Feder' = "Hahn") steht senkrecht zur Nocke, weist so immer vom Bogen weg und unterscheidet sich häufig (zum leichteren Einnocken) farblich von den anderen Federn. Dies führt dazu, daß die beiden anderen Federn („Hennen“) mit minimalem Kontakt den Bogen passieren können. Große Federn (z.B. 5" = 12,5 cm) bewirken eine schnelle Stabilisierung des Pfeiles, führen jedoch auf lange Distanz zu vorschnellem Abbremsen ("Verhungern") des Pfeiles und erhöhen gleichzeitig seine Seitenwindempfindlichkeit. Kurze Federn hingegen führen zu hoher Pfeilgeschwindigkeit und geringer Seitenwindempfindlichkeit bei später Stabilisierung. Spiralförmige ("Flu-Flu") und übermächtige Befiederung (4-6 große Federn) vergrößern die Stirnfläche maximal und wirken so wie Bremsfallschirme: Nach wenigen Metern fällt der Pfeil kraftlos zu Boden. Flu-Flu's werden daher für Hochschüsse (z.B. Vogeljagd) benutzt, da ein normaler Pfeil bei einem Fehlschuß weit über das Ziel hinausgehen und so zu einer unkontrollierbaren Gefahr würde resp. verloren wäre.

### 1.3.4.2.3. Zielballistik

Im Ziel wird die noch im Pfeil verbliebene Energie an das Zielmaterial abgegeben, der Pfeil gestoppt. Die Energieabgabe erfolgt hierbei durch Reibung. Beim Schießen auf die im Sport üblichen Schaumstoffscheiben (z.B. Ethafoam®) kann man daher beim Pfeilziehen häufig feststellen, daß Fäden geschmolzenen Kunststoffes am Pfeil haften. Aus dem gleichen Grunde ist es nicht ratsam, bei Temperaturen um den Gefrierpunkt auf feuchte Holzwolleballen zu schießen: Der Pfeil dringt in den Ballen ein und schmilzt evtl. vorhandenes Eis im Inneren, um dann sofort festzufrieren. Eine Entfernung des Pfeiles aus dem Ballen ist dann erst bei Tauwetter wieder möglich.

Wie Hochgeschwindigkeitsaufnahmen belegen scheint sich das Phänomen des "Archer's Paradox" im Ziel, zumindest bei harten Zielen, zu wiederholen, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen: Nun wird zunächst die Pfeilspitze abgebremst, während der restliche Pfeil weiter nach vorne drängt. Erneut kommt es zu einer Durchbiegung des Schaftes mit einer resultierenden schüttelnden Bewegung des gesamten Pfeiles.<sup>16</sup> Man kann sich leicht vorstellen, daß eine scharfe Klinge als Pfeilspitze diese rüttelnde, seitliche Bewegung in eine schneidende, und das vorwärts drängende Moment dieser Bewegung in eine stechende umsetzen würde. In flüssigen bzw. zähflüssigen Zielen kann zudem, wie wir beobachten konnten, der Drall des Pfeiles in einen schraubenförmig gewundenen Schusskanal umgesetzt werden. Nach einem tangentialen Treffer eines Seifenblockes mit einer Halbmondspitze konnte ein derartiger Schusskanal einmalig dokumentiert werden.

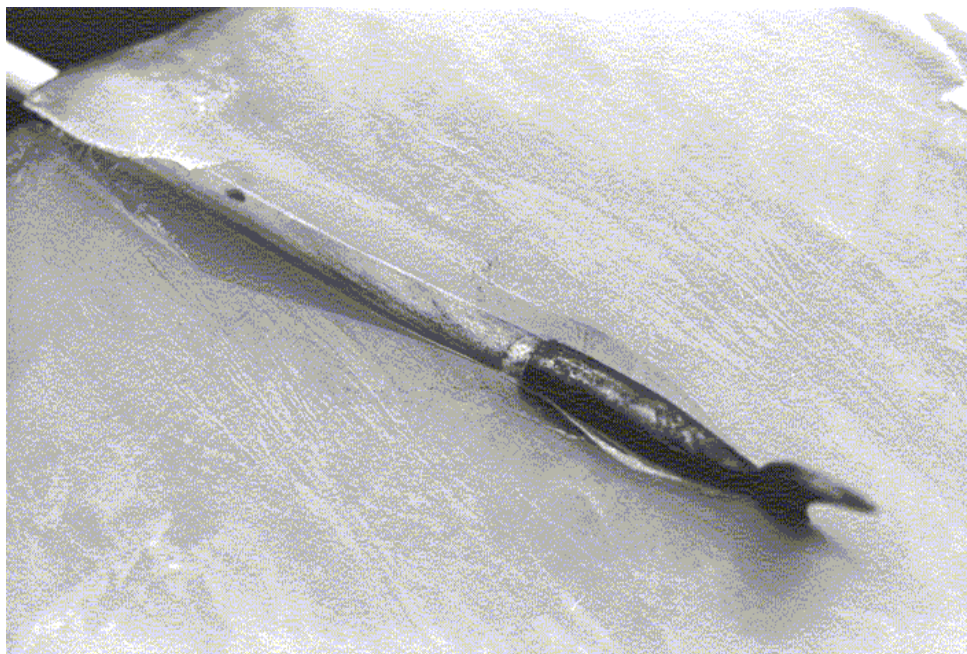


Abb. 1.3.- 19: Schraubenförmiger Schusskanal in Seife (eigene Untersuchung).

Der Schusskanal eines Pfeiles wäre somit Resultat mehrerer Bewegungen:

seitlich,

vorwärts und

ggf. schraubenförmig.

### 1.3.5. Sportmedizinische Aspekte des Bogen- und Armbrustschießens.

Da die Armbrust - sei es mit Muskelkraft oder mit einem mechanischen Hilfsgerät- vorgespannt werden kann, während des Zielvorganges aber nicht durch den Schützen unter Spannung gehalten werden muss, ist das Armbrustschießen ohne weiteres mit dem Gewehrschießen zu vergleichen: Neben der statischen Muskulatur müssen überwiegend mentale Fähigkeiten (Konzentration, Kaltblütigkeit etc.) trainiert werden. <sup>189, 194</sup>

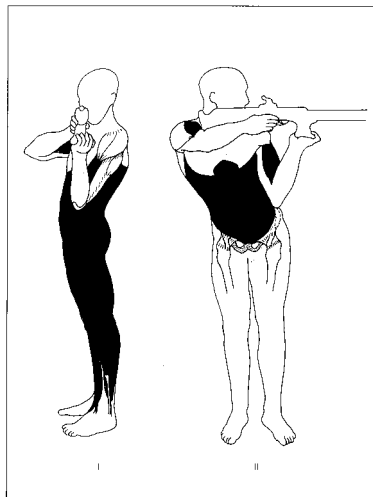


Abb. 1.3.- 20: Leistungsbestimmende Muskulatur beim Gewehr- und Armbrustschießen <sup>195</sup>

Beim Bogenschießen handelt es sich um eine im hohen Grade technische Sportart, bei der neben der Muskelkraft auch feinmotorische Koordination und mentale Fähigkeiten trainiert werden müssen. Hierbei wird klassischerweise mit einem leichten Bogen (z.B. 12 kg) begonnen, um dem bradytrophem Gewebe die Möglichkeit zur Anpassung an diese ungewohnte und asymmetrische Belastung vor allem der Schulter-Rücken-Arm-Region zu geben. Trainingsziel ist es, mit geringer Last eine saubere Technik zu erarbeiten.



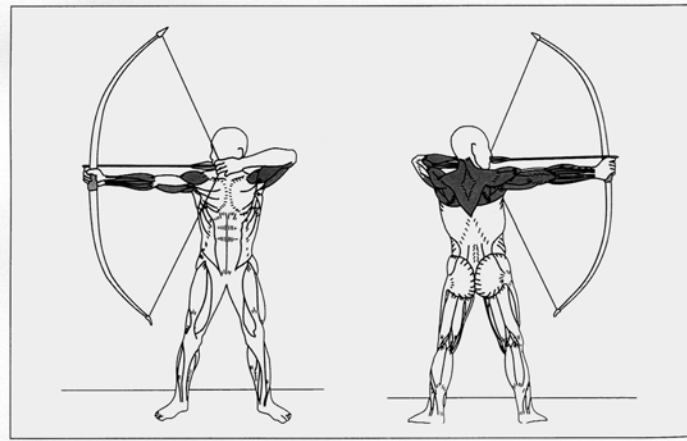


Abb. 1.3.- 21: Leistungsbestimmende Muskulatur beim Bogenschießen <sup>195</sup>

Sukzessive aufbauendes Training befähigt schließlich zur Handhabung eines ausreichend starken Bogens (ca. 20-25 kg). Vorschnelle Leistungssteigerung führt häufig zu Enthesiopathien ("Archer's Shoulder", "Tennis-Ellbogen") und so zu verletzungsbedingten Zwangspausen oder gar zur Aufgabe des Sportes. Bogenschießen erfordert kontinuierliches Training, da jede Pause sofort zum Abbau der Muskulatur sowie der feinmotorischen Koordination führt. <sup>82, 182, 193, 194, 195</sup>

### 1.3.6. Schlussbemerkung aus forensicher Sicht

Ein Bogenschütze muss nicht nur seinen Körper beherrschen, sondern gleichzeitig auch mit Material, Gelände, Witterung und vielen anderen Faktoren umgehen können. Dabei geht es nicht nur um Wissen, sondern auch um Gefühl und Instinkt: Natürlich kann er auf der Basis entsprechender Lektüre seine Ausrüstung optimieren und seinen Körper trainieren, aber das Zusammenspiel von Anatomie, Physiologie, Psyche, Physik, Material, Wetter etc. kann nur über Erfahrungswerte harmonisiert werden. Das Ansammeln von Erfahrungen aber braucht Zeit. In Bognerkreisen werden daher üblicherweise die ersten zehn Jahre als Lehrzeit verstanden.

Im Gegensatz hierzu war es dem Untersucher in der Vorbereitung der Experimente möglich, am Tag des Armbrustkaufes ein ca. 15 Meter entferntes Ziel ohne Übung regelmäßig zu treffen: Es war das erste Mal, dass der Untersucher eine Armbrust in der Hand hatte!

Vor dem Hintergrund dieser Erfahrung muss festgestellt werden, dass Bogen und Armbrust bezüglich der Handhabung so wenig miteinander verglichen werden können wie Äpfel und Birnen. Historisch betrachtet war die langwierige Ausbildung eines Bogenschützen sowohl Grund für eine das Training fördernde Gesetzgebung im Mittelalter als auch für den Niedergang des Bogenschießens: Die Ausbildung eines Armbrust- oder Musketenschützen war verhältnismäßig einfach und kostengünstig.

Heute sind Bogen und Armbrust ohne Probleme erhältlich. Während aber das Erlernen des Bogenschiessens ein langwieriger und mühsamer Weg ist, der eigentlich nur in Begleitung Gleichgesinnter beschritten werden kann, ist es bei der Armbrust so, dass vom Augenblick des Kaufes und ohne jegliche Supervision agiert werden kann.

## 1.4. Kasuistiken

Die im Folgenden wiedergegebenen Fälle können nur die Spitze des Eisberges darstellen: Verwertet wurden (mit 3 Ausnahmen → Mord/Krieg) lediglich in medizinischen Fachzeitschriften publizierte Fälle resp. Studien. Im Rahmen einer Internet-Recherche konnte jedoch innerhalb kurzer Zeit eine nicht unerhebliche Zahl unveröffentlicher (Mord-)Fälle gefunden werden, darunter auch ein Armbrust-Doppelmord in Finnland. Eine Presserecherche und folgende Kontaktaufnahme mit den jeweils zuständigen (Kripo-)Behörden förderte weitere unpublizierte Fälle ans Tageslicht: Notwehr, Raub, Geiselnahme, Mord.

### 1.4.1. Unfall

#### 1.4.1.1. Spiel

Es kann davon ausgegangen werden, dass Kinder weltweit zu allen Zeiten mit Pfeil und Bogen gespielt haben und es dabei auch zu Verletzungen unterschiedlichen Schweregrades in Abhängigkeit von der Wurfleistung des verwendeten Bogens gekommen ist. Schulz beschreibt die „Folgen gefährlicher Kinderspiele“ an mehreren Befunden aus frühbronzezeitlichen Gräbern in Niederösterreich: Schädelpenetration und Entzündungszeichen bei zwei kindlichen Schädeln „dürften auf Verletzungen mit hölzernen Spielzeugpfeilen zurückzuführen sein, die das knöcherne Schädeldach nur geringfügig durchschlagen hatten.“ Der Tod der Kinder trat wohl nach längerer, mit Blutung verbundener Hirnhautentzündung ein, deren Ursache der Lochdefekt gewesen sein dürfte.<sup>165</sup> Seit Ende der siebziger Jahre wurden einige Arbeiten zum Thema "Kindliche Augenverletzungen" veröffentlicht. Offensichtlich ist die reduzierte Wurfleistung kindlicher Bögen nicht ausreichend, um in die großen Körperhöhlen zu penetrieren. Die Bögen sind aber offensichtlich ausreichend stark, um Augenverletzungen, teilweise sogar transorbitale Gehirnverletzungen zu verursachen. Die folgende Tabelle fasst die vorliegende Literatur zusammen und repräsentiert immerhin 467 Fälle, die über einen Zeitraum von ca. 20 Jahren beobachtet und publiziert wurden.

Autor	n	Trauma	Bemerkungen
Dasgupta <sup>37</sup>	4	Auge	Autor: Kindlicher Nachahmungstrieb!
Eagle <sup>43</sup>	1	Auge	
Ervin-Mulvey <sup>49</sup>	147	Auge	
Gordon <sup>67</sup>	0	(Auge)	Autor: Kein Vorbild für Pfeil und Bogen in Lesotho!
Krishnamachary <sup>102</sup>	28	Auge	
Neal <sup>127</sup>	1	Gehirn	Unfallhergang unklar. Bogen wurde nicht benutzt.
O'Neill <sup>131</sup>	1	Auge/Gehirn	Mountain Men
Paucic-Kirinic <sup>137</sup>	1	Auge/Gehirn	
Rousseau <sup>156</sup>	28	Auge	Pfeil, Wurfpeil (Dart) und Luftgewehr (BB Gun)
Sharma <sup>168</sup>	233	Auge	
Takvam <sup>184</sup>	23	Auge	Autor: Aufsicht!
Total	467		

Tabelle 1.4. – 1 Spielunfälle

Ervin-Mulvey<sup>49</sup> verweist für das Jahr 1976 auf 165.000 Augenverletzungen bei Schulkindern zwischen 5 und 17 Jahren allein in den USA. Nach Hockey waren Bogenschießen, Dartspiele und Schießen mit dem Luftgewehr die Hauptursachen für diese Verletzungen.

Dasgupta<sup>37</sup> veröffentlicht eine Studie über kindliche Augenverletzungen auf der Basis einer einjährigen Untersuchung in Bombay, Indien: Von 44 kindlichen Augenverletzungen, davon immerhin 28 Augenperforationen, wurden 4 mit Pfeil und Bogen verursacht. Die Autoren sehen einen engen Zusammenhang zwischen der relativen Zunahme derartiger Verletzungen im Beobachtungszeitraum und der Fernsehausstrahlung von „Ramayana“ und „Mahabharata“, zwei in die vedische Zeit zurückreichende indische Epen, in denen im Rahmen von Schlachten auch Pfeil und Bogen benutzt werden. Sie sprechen mit dieser Vermutung wohl den kindlichen Nachahmungstrieb an. Gordon<sup>67</sup> erklärt fast spiegelbildlich die Tatsache des gänzlichen Fehlens kindlicher Augenverletzungen durch Pfeil und Bogen in seinem Kollektiv damit, dass in Lesotho, Afrika entsprechende Vorbilder fehlen.

Das Shakespeare-Wort "Ich habe einen Pfeil über das Haus geschossen und meinen Bruder verletzt." (Hamlet) weist auf einen anderen wichtigen Umstand hin: Kindliche Sorglosigkeit bzw. kindlichen Leichtsinns. Der Bogen in Kinderhand, auch wenn er für gewöhnlich nur geringe Wurfkraft hat, ist sicherlich ein gefährliches Spielzeug. Dementsprechend sollte nach Möglichkeit ein Erwachsener diese Spiele beaufsichtigen. Ein Schuss über ein Hindernis hinweg, das die Sicht auf das Ziel versperrt, ein "Schuss ins Blaue" oder gar gefährliche Wilhelm-Tell-Spiele müssten durch einen anwesenden Erwachsenen sofort unterbunden werden. Tatsächlich scheinen kindliche Verletzungen mit Pfeil und Bogen unter entsprechender Aufsicht (z.B. in einem Sportverein) so gut wie ausgeschlossen zu sein: Entsprechende Berichte waren nicht aufzuspüren. (Hoch- oder Steilschüsse mit normalen Pfeilen sind z.B. im Bogensport prinzipiell verboten, da der Pfeil unkontrollierbar wird. Nur bei sog. Clout-Turnieren (Distanz ca. 165m) und beim Fight-Schießen wird nach entsprechender Sicherung des Zielgebietes im Winkel von ca. 45° geschossen.)

Wichtig ist in diesem Zusammenhang wohl auch das gute Beispiel Erwachsener, das von Kindern nachgeahmt werden kann. Abträglich sind Sensationsdarstellungen wie der im Rahmen eines Kartoffelmarktes 1997 in Eisenach ausgeführte Harpunenschuss, bei dem auf dem Marktplatz in

Wilhelm-Tell-Manier mit einem Brandpfeil auf eine auf dem Kopf des Oberbürgermeisters liegende Kartoffel geschossen wurde.<sup>96</sup>

In den Bereich kindlicher Leichtsinn resp. Dummheit gehört auch der von O'Neill<sup>131</sup> referierte Fall: Im Rahmen eines Initiationsritus der "Mountain-Men", einer Art amerikanischer Landjugend, wurde von einem betrunkenen Initianden versucht, einem ebenfalls betrunkenen Mit-Initianden einen Benzinkanister mit Pfeil und Bogen vom Kopf zu schießen: Das Resultat war eine schwere transorbitale Gehirnverletzung mit einer Jagdspitze (Broadhead), wobei die Pfeilspitze die hintere Schädeldecke teilweise durchschlagen hatte. Der Pfeil wurde „per expulsionem“ geborgen, das zerstörte rechte Auge musste entfernt werden. Postoperativ verblieben eine temporale Hemianopsie des gesunden linken Auges als Folge der Zerstörung der Sehbahn / Sehrinde sowie diskrete neurologische Ausfälle im Bereich der linken Hand.

## **1.4.1.2. Sport**

Als Sportgerät wird der Bogen auf unterschiedlichste Art und Weise in verschiedenen Disziplinen genutzt, die hier kurz vorgestellt werden sollen.

### **1.4.1.2.1 FITA (Olympische Disziplin)**

Seit 1972 ist Bogenschießen, wie schon einmal von 1900 bis 1920, wieder Olympische Disziplin, bei der auf festgelegte Distanzen mit definierten Bogentypen auf farbige Scheiben geschossen wird. Die internationale Dachorganisation dieser Disziplin mit Sitz in Lausanne, Schweiz, ist die namensgebende "Fédération Internationale de Tir a l'Arc" (FITA).

### **1.4.1.2.2. Feld- und Jagdbogenschießen**

Beim Feld- und Jagdbogenschießen handelt es sich um eine Disziplin, bei der auf bekannte und unbekannte Entfernungen sowohl auf Zielscheiben als auch auf sog. "Tierauflagen" und dreidimensionale Tierattrappen (3-D-Ziele) geschossen wird. Training und Turnier finden auf einem vorschriftsmäßig abgesicherten Parcours statt. Beim sog. "Roving" wird mit stumpfen Pfeilen (Blunt) auf natürliche Ziele wie Grasbüschel oder Baumstümpfe geschossen. Im Feldbogensport sind alle Bogentypen (Langbogen, Recurve, Compound) in entsprechenden Gruppen zugelassen, womit die gesamte Bandbreite der Technik (z.B. Visier, Release etc.) als auch der Techniken (z.B. System-/ Instinktivschießen) vertreten ist. Der internationale Dachverband mit Sitz in Midrand, Südafrika (Sekretariat) ist die "International Field Archery Association" (IFAA).

### **1.4.1.2.3. Distanzschießen**

Beim Distanzschießen unterscheidet man das auf mittelalterlicher Praxis basierende Clout-Schießen mit dem englischen Langbogen auf eine bei 165 Metern stehende Zielfahne (engl. *clout* = Lappen) vom Fight-Schießen (engl. *flight* = Flug; reines Weitschießen), wobei die hierbei erzielten Weiten, wie die folgende Tabelle belegt, ein gutes Maß für die Leistungsfähigkeit heutiger Bögen darstellen: Es handelt sich durchgehend um Weltrekorde.

<b>Disziplin</b>	<b>Schütze/Schützin</b>	<b>Entfernung (m)</b>
Unlimited Primitive Self Bow (m)	Dewayne Smith (USA)	262,66
35 lbs. Field Bow (w)	Livvy Baker Steward (GB)	297,18
35 lbs. Target Bow (w)	Livvy Baker Steward (GB)	302,29
70 lbs. Longbow (m)	Giancarlo Marchesini (I)	348,72
50 lbs. Field Bow (m)	Don Brown (USA)	450,83
50 lbs. Target Bow (m)	Charlie Johnson (USA)	459,84
70 lbs. Field Bow (m)	Don Brown (USA)	550,03
Unlimited Field Bow (m)	Mike Willrich (GB)	565,66
40 kg Compound Bow (m)	Barry A. Groves (GB)	1062,79

Tabelle 1.4. – 2 Flight Championships 1997, Austin/ Nevada <sup>8</sup>

#### **1.4.1.2.4. Kyudo**

Die altjapanischen Samurai (Ritter) bezeichneten ihr Handwerk als Bushido, den "Weg des Kriegers" (bushi = Krieger, do = Weg). Ein Teil dieses Weges war Kyudo, der "Weg des Bogens" (kyu = Bogen). Aus dieser kriegerischen Tradition heraus haben sich, teilweise transzendiert durch Zen-Buddhismus (und Schintoismus), verschiedene Sportarten und Zeremonien entwickelt:

<b>Kyudo</b>	Mit dem traditionell asymmetrischen japanischen Bogen wird auf definierte Entfernungen (28 m) geschossen.
<b>Sharei</b>	Ein traditionelles Zeremonieschießen zum Neujahrsbeginn
<b>Enteki</b>	Schießen auf weite Distanz (50-60 m).
<b>Kazuya &amp; Koshiya</b>	Zwei historische Kriegsschieß-Methoden, bei denen zunächst in voller Rüstung möglichst schnell (Kazu = Zahl, Ya = Pfeil) aus einem am Boden liegenden Pfeilbündel auf anstürmende Feinde, dann vorstürmend und zum Schuss abkniend (und so ein kleineres Ziel bietend) schnell und gezielt aus einem Hüftköcher (Koshi = Hüfte) geschossen wird. (Die beiden Faktoren "Rüstung" und „Abknieen“ bewirkten eine Reduktion des möglichen Zielgebietes auf eine kleine, ungeschützte Fläche im Bauchbereich des Samurai. Das Zentrum der Scheiben im Kyudo befindet sich in Erinnerung dieses Umstandes in 27 cm Höhe über dem Boden. (Persönliche Mitteilung Feliks F. Hoff)
<b>Yabusame</b>	Vom Pferderücken aus müssen in vollem Galopp drei Ziele getroffen werden
<b>Hikime</b>	Schintoistische Zeremonie: Es werden besondere Pfeile mit Flötenkopf (Hikimeya) verschossen, um z.B. böse Geister zu vertreiben.
<b>Toshiya</b>	Innerhalb von 24 Stunden müssen auf 118 m Distanz auf der West-Veranda des Sanjusan-gendo-Tempels in Japan möglichst viele Pfeile auf der Scheibe platziert werden, wobei die Flugbahn der Pfeile durch die baulichen Gegebenheiten des Tempels beschränkt ist. (Der Rekord wird seit 1686 von dem damals 22-jährigen Samurai Wasa Daihachiro gehalten, der 8.133 Treffer von insgesamt 13.053 Pfeilen verbuchen konnte, was einer durchschnittlichen Schussgeschwindigkeit von etwa 10 Pfeilen pro Minute entspricht.).

Tabelle 1.4. – 3 Kyudo: Disziplinen<sup>83</sup>

Als internationaler Kyudo-Dachverband mit Sitz in Tokio fungiert der Zen-Nippon-Kyudo-Renmei (Alljapanischer Kyudo-Verband).<sup>83, 128, 132</sup>

#### 1.4.1.2.2. Sportunfälle

Der Bogensport ist in jeder seiner Varianten streng reglementiert. Wie in anderen Schießsportarten existieren auch im Bogensport ausgefeilte Sicherheitsvorschriften, auf deren Einhaltung peinlich geachtet wird. Nur so lässt sich erklären, dass Berichte über Schussverletzungen im Bogensport nicht aufzufinden waren.

Munkenbeck<sup>125</sup> kommt in seiner Promotion zu dem Ergebnis, dass der Bogensport eine erfreulich geringe Unfallgefährdung aufweist: Auf der Basis der Sportunfallstatistik aus dem Bereich des Landessportbundes Nordrhein-Westfalen 1978-1979 stehen die Bogenschützen auf der Liste der Sportarten nach relativer Schadenshäufigkeit erst an 34. Stelle, nach Schach (33.) und vor Golf (35.) und Billard (36.). Die Schadensquote (Unfallmeldungen/1000 versicherte Sportler) für den Bogensport beträgt hier 0,057, im Gegensatz zum Volleyball (1.) mit 4,20 oder Fußball (8.) mit 1,85. Bei den in diesem Zusammenhang für den Bogensport gemeldeten Unfällen handelte es sich ausschließlich um Wegeunfälle (3) bzw. nicht sportartbedingte Unfälle (4), z.B. Sturz auf dem Vereinsgelände. Munkenbeck kommt daher zu dem Schluss, dass das Reglement Schussverletzungen sicher verhindert.<sup>125, 126</sup>

Seit 1996 untersucht die medizinische Kommission der FITA im Rahmen einer Pilotstudie Verletzungen bei Bogenschützen. 1997 wurde ein interner Zwischenbericht vorgelegt<sup>87</sup> Bei insgesamt 104 Meldungen in 12 Monaten handelte es sich in 91% der Fälle um reine Sportverletzungen bzw. -schäden, die durch sporttypische Überlastung von Sehnen, Bändern oder Muskulatur hervorgerufen

wurden (Schultergürtel, Rückenmuskulatur, Ellbogen, Handgelenk, Finger). Hinzu kamen 3 Unfälle infolge von Materialfehlern (Im Abschuss splitternder Carbonschaft mit resultierendem Verlust eines Auges, bei vollem Auszug brechender Wurfarm mit resultierendem Verlust eines Zahnes und beim Bespannen eines Bogens reiße Sehne mit resultierendem akutem Scrotal-Trauma). Als vierter Unfall wird ein "beinahe Kopfschuss" während eines Feld-Turnieres (Beinahe-Opfer läuft in die Schussbahn) mit resultierendem Psychotrauma des Schützen beschrieben. Gerade der letzte Fall stützt einerseits die Position Munkenbecks, weist andererseits aber auch darauf hin, dass das beste Reglement nur dann nützen kann, wenn es auch eingehalten wird.

### **1.4.1.3. Jagd**

Die Bogenjagd, in Deutschland nicht gestattet, ist in Frankreich, Polen, den USA, Kanada und vielen anderen Ländern erlaubt. Die Zahl der Bogenjäger ist ebenso schwer einzuschätzen wie die der Bogenschützen. Die amerikanische "National Bowhunter Education Foundation" (NBEF) schätzt für die USA die Zahl der Bogenjäger auf ca. 2,5 Millionen.

Bei Jagdunfällen mit Pfeil und Bogen sind im Prinzip zwei Typen zu unterscheiden:

sog. „Zwei-Parteien-Unfälle“ (z.B. Verwechslung eines Menschen mit jagdbarem Wild)

und selbstverursachte Unfälle (z.B. Pirschunfälle oder achtloser Umgang mit dem Jagdgerät).

Da Bogenjagd in erster Linie Pirschjagd ist, bei der zum Teil mit aufgelegtem Pfeil in gebückter Haltung in unwegsamem Gelände eine möglichst große Nähe zum gejagten Wild erstrebt wird, sind Selbstverletzungen des Jägers nicht selten: Ein Stolpern kann genügen, um sich den Pfeil z.B. ins Bein zu rammen.

Vom Hochsitz aus betriebene Bogenjagd kann außerdem zu den üblichen Stürzen führen, insbesondere unter Alkoholeinwirkung, gehört aber nicht mehr in den Rahmen dieser Untersuchung.

Die „International Hunter Education Association“ (IHEA) veröffentlicht seit 1994 auf ihrer Homepage Statistiken über Jagdunfälle in Nordamerika (<http://www.ihea.com/incidents/index.php3>), die für die Jahre 1994 bis 1997 recht gut mit den vom „Department of Fish and Game“ (DFG) des Staates Kalifornien (<http://www.dfg.ca.gov/ihea/accident.html>) korrelieren. Seit 1998 hat das DFG die Publikation eigener Statistiken eingestellt und verweist stattdessen auf die IHEA. Die Tabellen 1.4.-4 bis 1.4.-7 basieren auf den Statistiken der IHEA.

In den Jahren 1994 bis 2001 ereigneten sich in Nordamerika (Kanada & USA) 7692 Jagdunfälle, von denen 707 tödlich waren.

Jahr	Zwei-Parteien-Unfälle			Selbst verursachte Unfälle		
	Fatal	Nicht fatal	Subtotal	Fatal	Nicht Fatal	Subtotal
1994	56	616	672	32	295	327
1995	73	801	874	39	329	368
1996	56	616	672	32	295	327
1997	66	635	701	27	291	318
1998	65	603	668	28	291	319
1999	46	459	505	21	202	223
2000	65	565	630	26	270	296
2001	56	491	547	19	226	245
Total	483	4786	5269	224	2199	2423

Tabelle 1.4. – 4 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001 laut IHEA

Mit Bogen und Armbrust wurden in diesem Zeitraum insgesamt 82 Jagdunfälle verursacht, was einem Anteil von 10,5 Promille (10,64 ‰) an der Gesamtzahl der Jagdunfälle entspricht.

Jagdunfälle mit der Armbrust	Zwei-Parteien-Unfälle			Selbst verursachte Unfälle		
	Fatal	Nicht fatal	Subtotal	Fatal	Nicht Fatal	Subtotal
1994	0	0	0	0	1	1
1995	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	1	1
1997	0	2	2	0	0	0
1998	0	0	0	1	1	2
1999	0	0	0	0	0	0
2000	0	1	1	0	0	0
2001	0	2	2	0	1	1
Total	0	5	5	1	4	5

Tabelle 1.4. – 5 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001: Armbrust (IHEA)



Jagdunfälle mit dem Bogen	Zwei-Parteien-Unfälle			Selbst verursachte Unfälle		
	Fatal	Nicht fatal	Subtotal	Fatal	Nicht Fatal	Subtotal
1994	2	7	9	0	2	2
1995	2	4	6	1	3	4
1996	2	7	9	0	2	2
1997	1	5	6	0	3	3
1998	0	3	3	1	2	3
1999	1	3	4	0	1	1
2000	3	5	8	0	6	6
2001	1	3	4	0	2	2
Total	12	37	49	2	21	23

Tabelle 1.4. – 6 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001: Bogen (IHEA)

Hauptursache für derartige Unfälle waren, soweit rekonstruierbar (28 von 82 Fällen), achtloser Umgang mit Pfeil und Bogen (25 Fälle), Pirsch mit eingemocktem Pfeil (3 Fälle) und unabgestimmtes Material (unpassender Pfeil, 2 Fälle). Die Risiken der Pirsch mit "eingemocktem Pfeil" wurden schon weiter oben beschrieben.

Unfallumstände	Zwei-Parteien-Unfälle			Selbst verursachte Unfälle		
	Fatal	Nicht fatal	Subtotal	Fatal	Nicht Fatal	Subtotal
Unpassender Pfeil	0	0	0	0	2	2
Achtloser Umgang	1	6	7	3	13	16
Eingemockter Pfeil	0	2	2	0	1	1
Total	1	8	9	3	16	19

Tabelle 1.4. – 7 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001: Unfallumstände (IHEA)

Huiras et.al.<sup>85</sup> beobachteten über einen Zeitraum von 2 Jahren 104 Jagdunfälle, darunter 25 Verletzungen mit Pfeil oder Messer („Penetration by sharp object“). Diese Zahlen sind angesichts der Statistiken des Fish & Game Departments resp. der IHEA sicherlich überwiegend auf Messerverletzungen (Ausweiden etc.) zurückzuführen, da es unwahrscheinlich ist, dass bei durchschnittlich 10 bis 20 Pfeilverletzungen pro Jahr in ganz Nordamerika eine Klinik in Wisconsin in zwei Jahren 25 Pfeilverletzungen behandelt. Diese Vermutung wird unterstützt durch eine Statistik über Bogenjagdunfälle in Wisconsin<sup>21</sup>:

Seit 1934 ist die Bogenjagd in Wisconsin erlaubt. Erst 1954 ereignete sich der erste Unfall. In den 17 Jahren zwischen 1954 und 1971 wurden insgesamt 66 Unfälle registriert, davon 1 tödlicher: Das Opfer fiel in seinen eigenen Pfeil, während es einen Hirsch verfolgte. Weitere Unfallumstände waren

- Stolpern und Fallen
- Opfer wird von abgelenktem Pfeil getroffen
- Opfer war außer Sicht des Schützen
- Opfer war verdeckt während der Schütze auf das Wild schoss
- Opfer wurde mit Wild verwechselt.

1965 wurden in Wisconsin 63.964 Bogenjagdlizenzen verkauft, 1971 waren es 100.206. Bersing errechnet einen Unfall pro 10.000 Lizenznehmer für die Jahre 1965 bis 1971.<sup>21</sup>

Mella<sup>119</sup> beschreibt einen Jagdunfall mit schwerer thoracoabdomineller Verletzung (Lunge, Leber, Niere) und anschließender Meningitis auf der Basis einer Verletzung der thoracalen Dura T12/L1. Rayan<sup>149</sup> beschreibt die Durchtrennung des radialen Gefäß- /Nervenbündels an Zeigefinger der linken Hand durch eine Jagdspitze.

#### 1.4.1.4. Sonstige Unfälle

Unfälle, die nicht eindeutig als Jagdunfälle einzuordnen waren bzw. solche Unfälle, die z.B. beim Reinigen der Waffe (Armbrust) passierten, wurden in diesem Abschnitt zusammengefasst. In einigen Fällen lassen Unfallumstände und die stark an vergleichbare Suizidfälle erinnernden Traumata jedoch Zweifel an der Diagnose "Unfall" berechtigt erscheinen. Glücklicherweise war aber keiner dieser Unfälle tödlich.

Autor	n	n(A)	n(B)	Trauma	Fatal	Bemerkungen
Fradet <sup>60</sup>	1	1		Thoracoabdominal	0	
Mono <sup>123</sup>	1		1	Auge/Gehirn	0	Pfeil durchschlug Pfeilfang (Kirmes)
Salem <sup>158</sup>	1	1		Gehirn	0	
Salvino <sup>159</sup>	1	1		Rückenmark	0	
Virgilio <sup>191</sup>	1		1 (?)	Thoracoabdominal	0	Bogen? (Jagd-) Unfall?
Total	5	3	2		0	

Tabelle 1.4. – 8 Sonstige Unfälle

n(A)= Armbrust, n(B)= Bogen

Ein nicht publizierter tödlicher Unfall (pers. Mitteilung Prof. Dr. med. R. Vock / Dr.med. U. Deml, Institut für Gerichtliche Medizin, Universität Leipzig) sei hier wegen des ungewöhnlichen Traumas noch erwähnt: Ein mit der Armbrust verschossener Jagdpfeil verursachte eine subtotale Durchtrennung der A. humoralis. Durch die verbleibende Gewebsbrücke wurde die Arterie unter Spannung gehalten, eine Retraktion und Tamponade der heftigen Blutung war so nicht möglich. Der Patient, 10 Minuten nach dem Unfall im Krankenhaus eingeliefert, war nicht mehr zu retten.

#### 1.4.2. Suizid / Suizidversuch

Die überwiegende Zahl der Suizide/Suizidversuche in den seit 1973 publizierten Artikeln wurden mit der Armbrust unternommen (N=8). Erst 1998 wurde erstmals ein Suizid mit dem Compoundbogen publiziert.<sup>29</sup> Der 1998 von Besler<sup>22</sup> veröffentlichte Fall eines überlebten Herzschusses mit einer Pistolenarmbrust (Bolzen drang "nur" in das Septum ein) darf nicht über die tödliche Potenz dieser Waffe hinwegtäuschen (siehe 1.4.3. Mord: Claydon<sup>31</sup>). Auch die Tatsache, dass "nur" eine Feldspitze verwendet wurde, erklärt den glücklichen Ausgang in diesem Fall nicht, wie ein anderer Suizid-Fall<sup>72</sup> belegt. Außergewöhnlich ist sicherlich auch der von Opeskin<sup>133</sup> veröffentlichte Fall eines Armbrust-Suizides mit 2 Pfeilen: Da der erste Kopfschuss trotz umfangreicher zerebraler Destruktion nicht tödlich war, spannte der Patient die Armbrust erneut und schoss ein zweites Mal, diesmal mit tödlichem

Resultat.

Autor	n	n(A)	n(B)	Trauma	Fatal	Bemerkungen
Alessi <sup>2</sup>	1	1		Abdomen	0	Armbrust
Besler <sup>22</sup>	1	1		Herz	0	Pistolenarmbrust - Feldspitze!
Cina <sup>29</sup>	1		1	Herz	1	Compoundbogen
Downs <sup>41</sup>	1	1		Auge/Gehirn	1	Armbrust
Faber <sup>50</sup>	1	1		Abdomen	0	Armbrust
Hain <sup>72</sup>	1	1		Thorax	1	Armbrust - Feldspitze!
Mullan <sup>124</sup>	1	1		Thorax	0	Armbrust
Opeskin <sup>133</sup>	1	1		Gehirn	1	Armbrust - 2 Pfeile!
Saw <sup>160</sup>	1	1		Abdomen	0	Armbrust
Total	9	8	1		4	

Tabelle 1.4. – 9 Suizid / Suizidversuch

n(A)= Armbrust, n(B)= Bogen

### 1.4.3. Mord / Mordversuch

In zahlreichen Artikeln der medizinischen Fachpresse sind Mordfälle mit Bogen und Armbrust publiziert worden. Außerdem konnten jedoch ohne großen Aufwand Informationen über weitere Fälle aus der Tagespresse, von Landeskriminalämtern und rechtsmedizinischen Instituten besorgt werden, die in der folgenden Aufstellung jedoch nicht berücksichtigt wurden.

Autor	n	n(A)	n(B)	Trauma	Fatal	Bemerkungen
Clark <sup>30</sup>	7	7		(Übersicht)	6	Mord/-versuch mit Armbrust
Claydon <sup>31</sup>	1	1		Hals	1	Pistolenarmbrust - Feldspitze!
Downs <sup>41</sup>	2	2		HWS+Thorax/Thorax	2	Armbrust
Hain <sup>72</sup>	1		1	Arm+Thorax	1	Compoundbogen (Notwehr?)
Rogers <sup>153</sup>	2	2		Thorax/Thorax	2	Armbrust
Taupin <sup>185</sup>	2	2	(1)	Thorax/Abdomen	2	Armbrust (1xBogen?)
Total	15	14	1		14	

Tabelle 1.4. – 10 Mord / Mordversuch

(n(A)= Armbrust, n(B)= Bogen)

Auch hier fällt auf, dass 14 von 15 Mordversuchen mit der Armbrust und nur einer mit dem Bogen ausgeführt wurden. Die Letalität beträgt fast 100 %.

### 1.4.4. Krieg

Im Laufe der Jahrtausende ist der Einsatz des Bogens, später der Armbrust, im Krieg einem Wandel unterworfen gewesen. Prinzipiell können nach Hurley<sup>86</sup>, einem Pentagon-Militärhistoriker, vier unterschiedliche Einsatzarten differenziert werden:

**Plänkler:** unkoordinierter Abschuss von Pfeilen in Richtung des Gegners mit eher provokatorischem Effekt (z.B. Bogenschützen der griechischen Antike, Papua Neu Guinea)

**Scharfschütze:** präziser, selektiver (Ab-)Schuss, teilweise fast unter Duellbedingungen (z.B. japanische Samurai) oder aus der Deckung heraus (z.B. Festung, Vietnam)

**Massierter Einsatz von Bogenschützen zu Fuß** (aus meist defensiver Stellung heraus) mit salvenförmigem Schießen, auch über Hindernisse hinweg, z.B. Stadtmauer im Rahmen einer Belagerung (z.B. Langbogenschützen des Mittelalters, Papua Neu Guinea)

**Massierter Einsatz berittener Bogenschützen**, die den Raum nutzen um die Distanzwaffe 'Bogen' optimal einzusetzen, nämlich auf Distanz einschließlich taktischer Fluchtmanöver etc. (z.B. Skythen/Mongolen/amerikanische Indianer).

Hurley stellt fest, dass militärhistorisch gesehen der Bogen die Waffe ist, die mit Abstand die meisten Todesopfer forderte, mehr als Maschinengewehr, Kanone oder gar die Atombombe.

Die Schlacht am Little Big Horn, in der 1876 die vereinigten Sioux und Cheyenne unter Crazy Horse und Sitting Bull General Custer besiegten und dessen Truppe aufrieben, galt lange Zeit als der letzte signifikante Einsatz von Pfeil und Bogen.<sup>106, 107</sup> Doch noch im II. Weltkrieg wurden ca. 5000 Soldaten mit Pfeil und Bogen getötet, z.B. bei Kommandoeinsätzen der britischen Armee in Norwegen.<sup>86</sup> In Papua Neu-Guinea, Indien, Zentral-Afrika und Amazonien werden noch heute Stammesfehden mit Pfeil und Bogen ausgetragen, wobei auch Giftpfeile zum Einsatz kommen.

Die ärztlichen Berichte über die kriegerischen Auseinandersetzungen in der Provinz Enga auf Papua Neu-Guinea in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts sind bisher die letzten Dokumente über den breiten Einsatz von Pfeil und Bogen zu Kriegszwecken.

Bemerkenswert ist, dass laut Literatur die Armbrust im 20. Jahrhundert kaum noch zu kriegerischen Zwecken benutzt wird. Zumindest für Papua Neu Guinea kann dies darauf zurückgeführt werden, dass in der archaischen Gesellschaft der Enga-Provinz die Armbrust einfach noch nicht erfunden wurde und die nun zunehmend zur Verfügung stehenden Gewehre deren Erfindung auch überflüssig machen. Gleiches gilt für die (Yanomami-) Indianer Amazoniens.<sup>32</sup>

Der entgegengesetzte Fall des Rückgriffes einer mit modernsten Waffen ausgerüsteten Armee (US-Armee in Vietnam) auf die 'primitive Waffe' Bogen<sup>6</sup> bzw. Armbrust<sup>50</sup> lässt sich nur auf die Umstände des Guerilla-Krieges in Vietnam zurückführen. In welchem Ausmaß der Bogen in Vietnam z.B. durch die SOG ("Studies and Observation Group", U.S.Army Special Forces) tatsächlich eingesetzt wurde, wird sich kaum in Erfahrung bringen lassen: Die Unterlagen sind unter Verschluss.

Die folgende Tabelle soll einen annähernden Überblick über geographische Verteilung und Häufigkeit kriegsbedingter Pfeilverletzungen ermöglichen. Als grundsätzliche Einschränkung sei jedoch angemerkt, dass

- hier fast ausschließlich medizinische Publikationen erfasst wurden,
- einige der Autoren darauf verweisen, dass lediglich die Fälle erfasst werden konnten, die das Hospital lebend erreichten und
- das Erreichen des Hospitals teilweise dadurch erschwert oder gar unmöglich gemacht wurde, weil hierbei feindliches Stammesgebiet durchquert werden mußte.<sup>108, 169</sup>

Sharp<sup>169</sup> stellt ausdrücklich fest, dass die tatsächliche Zahl der Opfer im Bereich Enga unbekannt ist. Die in der Tabelle aufgeführten Zahlen sind daher als Minimalwerte zu betrachten.

<b>Autor</b>	<b>n (A)</b>	<b>n (B)</b>	<b>Trauma</b>	<b>Fatal</b>	<b>Bemerkungen</b>
Al Zahrani <sup>3</sup>		1	Oberschenkel	0	Saudi-Arabien
Berning <sup>20</sup>		1	Thorax	0	Südamerika
Fingleton <sup>56</sup>		13	Herz & Mediastinum	2	Papua Neu Guinea
Jacob <sup>88</sup>		63	thoracoabdominal	3	Papua Neu Guinea
Kelm <sup>97</sup>		2	Kopf / Abdomen	1	Südamerika (anthropol. Arbeit!) Abb.!
Lennox <sup>107</sup>		67	(Übersicht)	1	Papua Neu Guinea (n=67 enthält auch Speer u. Axt!)
Lennox <sup>108</sup>		193	(Übersicht)	?	Papua Neu Guinea (n=193 enthält auch Speer!)
Pandey <sup>136</sup>		1	Auge/HWS	0	Indien
Schroeter <sup>164</sup>		1	Abdomen	0	Papua Neu Guinea (Autor = Opfer!)
Sharp <sup>169</sup>		231	(Übersicht)	7	Papua Neu Guinea (1972-73/1976-80)
Singh <sup>170</sup>		1	Kopf	0	Indien
Ugwu <sup>188</sup>		1	Thorax	0	Nigeria
VanGurp <sup>190</sup>		90	(Übersicht)	4	Papua Neu Guinea
Visvanathan <sup>192</sup>		5	(Übersicht)	0	Nigeria
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>670</b>		<b>18</b>	Dubletten möglich!

Tabelle 1.4. – 11 Krieg

n (A)= Armbrust, n (B)= Bogen

Auf den ersten Blick frappierend ist hier sicherlich die geringe Zahl der Todesfälle. Hierzu sei aber auch auf Punkt 2 der obigen Einschränkungen verwiesen.

### 1.4.5. Zusammenfassung Kasuistik

Stellt man die in den zitierten Publikationen dargestellten Fälle, die ja nur Streiflichter darstellen können, zusammen, ergibt sich folgendes Bild:

Bereich	Fatal	Nicht fatal	Subtotal	Inzidenz (Rang)	Letalität (Rang)
Spiel	0	468	468	2	5
Sport	0	0	0	7	5
Jagd	15	67	82	3	3
Unfall	0	4	4	6	5
Suizid	4	5	9	5	4
Mord	14	2	16	4	2
Krieg	18	652	670	1	1
Total	44	1176	1220		

Tabelle 1.4. – 12 Zusammenfassung Kasuistik

Ordnet man die Pfeilverletzungen nach Häufigkeit so liegt der Krieg auf dem ersten Rang, gefolgt von Spiel- und Jagdunfällen, Mord, Suizid, Unfall und Sport. Auch bei der Letalität belegen kriegsbedingte Verletzungen vor Mord, Jagdunfall und Suizid den ersten Rang. Spiel, Sport und Unfall weisen keine tödlichen Unfälle auf.

Die erschreckend hohe Inzidenz kindlicher Spielunfälle, die hieraus resultierende hohe Invaliditätsrate bei gleichzeitig niedriger Letalität, die wohl nur durch die geringe Leistungsfähigkeit kindlicher Bögen erklärt werden kann, stellt einen deutlichen Hinweis auf die Aufsichtspflicht Erwachsener dar.

Sportunfälle mit Pfeilschussverletzungen lassen sich in der Literatur trotz mannigfaltiger sportlicher Aktivitäten nicht finden. Dieser Umstand scheint die Munkenbeck'sche These zu bestätigen, das Reglement verhindere sicher Schussverletzungen.

10,5 Promille aller in den Jahren 1994-2001 in Nordamerika registrierten Jagdunfälle ereigneten sich mit Bogen- bzw. Armbrust-Beteiligung. 88 % dieser Unfälle ereigneten sich mit Pfeil und Bogen, nur 12 % mit der Armbrust. Ca. 15 % dieser Unfälle endeten letal. Die relative Unfallhäufigkeit spiegelt vermutlich die relative Einsatzhäufigkeit von Bogen und Armbrust wieder.

Die seltenen sonstigen Unfälle erinnern die drei Armbrust-Fälle teilweise stark an vergleichbare Suizidversuche; die beiden Bogenunfälle sind 2-Parteien-Unfälle. Keiner dieser Unfälle war letal.

Suizidversuche wurden fast ausnahmslos mit der Armbrust unternommen und endeten in 50% der Fälle letal. Auch Mordversuche wurden fast ausschließlich mit der Armbrust verübt und hatten eine fast 100%ige Letalität.

Die publizierten Daten zu kriegsbedingten Pfeilwunden müssen sicherlich – wie oben schon ausgeführt - kritisch gewertet werden, sowohl bezüglich der Inzidenz als auch bezüglich der Letalität.

## 2. Material und Methoden

Die handgefertigte Kopie eines mittelalterlichen Langbogens (Zuggewicht 23,6 kg), ein moderner Compound-Bogen (Zuggewicht 26,8kg) und eine Armbrust (Zuggewicht 33,4 kg). wurden benutzt, um eine Vielfalt moderner und Kopien prähistorischer/antiker Pfeile zu verschießen. In Vorversuchen wurden die Materialeigenschaften der verwendeten Bögen und Pfeile untersucht.

Frische Kadaver von 4 erwachsenen Schlachtschweinen und Blöcke von Gelatine und Seife wurden als Zielmedien benutzt, die resultierenden Wunden bzw. Penetrationsformen und -tiefen wurden untersucht.

### 2.1. Langbogen

#### 2.1.1. Bogen

Bei dem verwendeten Langbogen handelte es sich um die handgefertigte Kopie eines mittelalterlichen Langbogens. Die Replik wurde von dem Bogenbauer Bruno Ballweg, D-97892 Kreuzwertheim aus 3-schichtigem Eibenlaminat mit Hickorybacking gebaut. Bei einer Spannhöhe von 22,5 cm und einem maximalen Auszug von 72,5 cm hat der Bogen ein maximales Zuggewicht von 23,6 kg. Die im Bogen gespeicherte Energie, errechnet aus den Daten der Kraft-Zug-Kurve (s.u.), d.h. ohne Berücksichtigung der Hysterese, beträgt maximal 1.355 Joule.

Im sportlichen Bereich eingesetzt würde dieser Bogen nach deutschem Reglement in der Klasse "Holzbogen", international als „Primitive Bow“ eingeordnet. Er entspricht somit der technisch am wenigsten aufwendigen Bogenklasse.

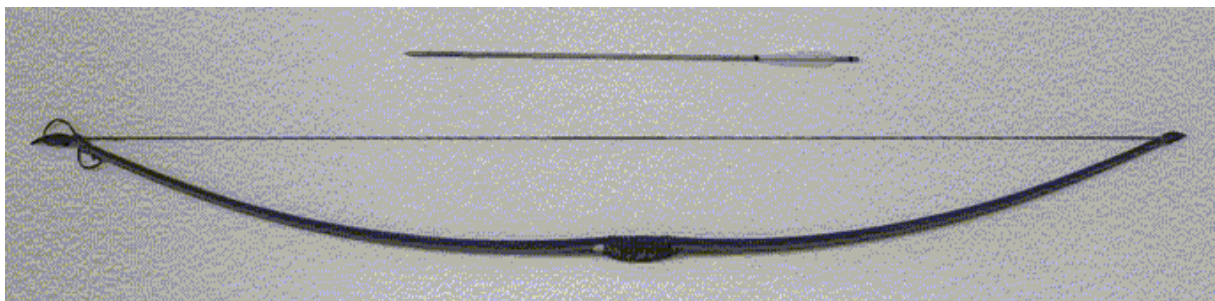


Abb. 2.- 1. Englischer Langbogen

#### 2.1.2. Pfeilschäfte, Befiederung, Nocken

Mit wenigen Ausnahmen (1x wolliger Schneeball, 4x Zeder) wurden Pfeilschäfte aus nordischer Kiefer verwendet. Alle Pfeilschäfte hatten einen Durchmesser von ca. 8 mm (5/16"), waren annähernd einheitlich bezüglich Gewicht (15-25 g) und Elastizität (Spine: 410-693 GNAS), und mit annähernd einheitlicher Befiederung (3 x 12,7cm = 5" parabol Naturfedern) ausgestattet. Einige Pfeile waren "Indian Style", d.h. mit gerade beschnittenen bzw. unbeschnittenen Federn befiedert. 3 Pfeile waren mit spiraliger Flu-Flu Befiederung ausgerüstet. Bis auf einen Pfeil (wolliger Schneeball, Knochenspitze, Horn-Nock) hatten alle Schäfte einen Self-Nock (= in den Schaft eingeschnittene Kerbe). Die 3 Flu-Flu-befiederten Pfeile und der "Singing Arrow" (s.u.) hatten Zedernschäfte.

Die Pfeilspitzen (6-19g) variierten hinsichtlich des Gewichtes dagegen deutlich: Die extrem leichten Flintspitzen machten die Schäfte steifer (Spinewerterniedrigung), die relativ schweren Stahlspitzen hingegen weicher (Spinewerterhöhung). Das Schießen mit derart unterschiedlichen Pfeilen erschwerte das Treffen deutlich. Insbesondere die Flintquerschneider führten zu extremen Linksschüssen. Das durchschnittliche Pfeilgewicht betrug 32,375 g, wobei der leichteste Pfeil 15,0 g und der schwerste das Dreifache davon, nämlich 46,0 g wog.

### 2.1.3. Pfeilspitzen

Hartmut Hahn, D-96155 Buttenheim und Karl-Heinz Hörnig, D-67112 Mutterstadt fertigten für die Experimente Repliken steinzeitlicher knöcherner Pfeilspitzen an. Es handelte sich um drei Grundformen: spitz-konisch, blattförmig und dreieckig. Die Knochenspitzen wurden in einer Kerbe des Schaftes mit Birkenpech eingeklebt, mit Sehne resp. Pflanzenfasern gesichert und abschließend nochmals mit Birkenpech fixiert.

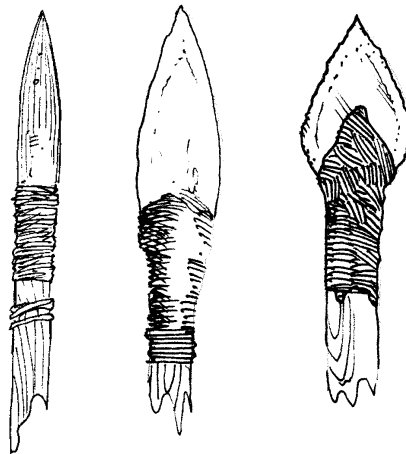


Abb. 2.- 2. Knochenspitzen: spitz-konisch, blattförmig und dreieckig

Die in den Experimenten verwendeten Repliken steinzeitlicher bzw. frühbronzezeitlicher Feuersteinspitzen wurden von Harm Paulsen, D-24837 Schleswig hergestellt. Es handelte sich um mesolithische Querschneider, in der Literatur auch als meißelförmig (chisel-shaped) bezeichnet, und neolithische bzw. frühbronzezeitliche Dreiecksspitzen mit Schaftzunge und (teilweise) diskreten Wiederhaken (Bart). Die Schäftung erfolgte analog zu der der Knochenspitzen mit Birkenpech und Sehne.<sup>138, 140</sup>



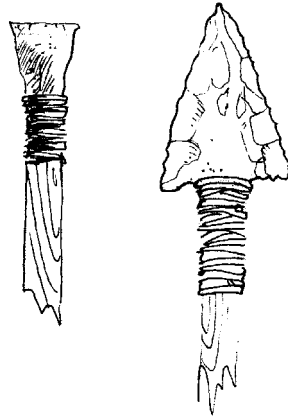


Abb. 2.- 3. Querschneider und Dreiecksspitze aus Feuerstein

Bei den von Hartmut Hahn, D-96155 Buttenheim gegossenen Repliken bronzzeitlicher bzw. antiker Bronzespitzen handelte es sich um blattförmige und bärtige Spitzen. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Knochen- und Steinspitzen waren die Bronzespitzen mit einer Tülle zur Befestigung am Schaft ausgerüstet ("weiblich"). Die Spitzen wurden vor dem Einsatz von einem befreundeten Metzgermeister sehr scharf geschliffen: Bei den Schussversuchen an toten Schweinen genügte bei vollem Auszug eines Pfeils mit bärtiger Spitze leichter Hautkontakt des Widerhakens an der Bogenhand, um eine kräftige Blutung auszulösen! (Bärtige Spitzen sollten also tunlichst senkrecht zur Nock am Schaft fixiert werden!)

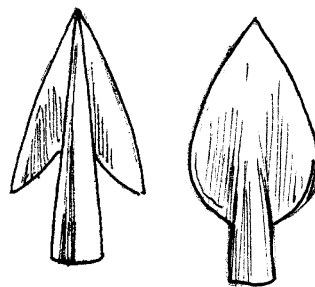


Abb. 2.- 4. Bronzespitzen: bärtig und blattförmig

Von Hans-Jürgen Kugland, D-34414 Warburg/Westfalen wurden Repliken mittelalterlicher Jagd- und Kriegsspitzen geschmiedet. Als Beispiel einer klassischen Jagdspitze diente eine aus ST55-Stahl (vergüteter Werkzeugstahl) geschmiedete und gehärtet lanzenförmig-rhomboider Spitze, als zweite querschneidige Spitze, ebenfalls aus ST55, der "Kleine Halbmond". Der "Halbmond" wurde sowohl in Europa als auch in Asien verwendet. Auch diese Spitzen wurden vor dem Einsatz von einem befreundeten Metzgermeister sehr scharf geschliffen.

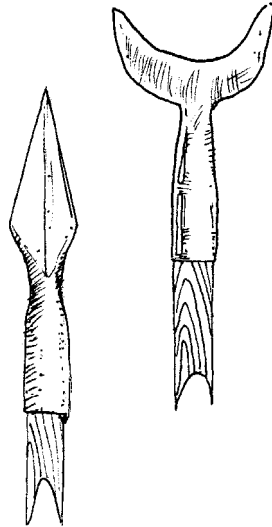


Abb. 2.- 5. Mittelalterliche Jagdspitze und Halbmond aus Stahl

Ulli Stehli, D-58566 Kierspe schmiedete aus S 235 JR-Stahl (Alte Bezeichnung: St. 37-2) Repliken mittelalterlicher panzerbrechender Kriegsspitzen (Bodkin-Spitzen). Metallurgische Untersuchungen des unlegierten, gewalzten Baustahls ergaben die gleichen Durchschnittswerte bezüglich Härte und Zähigkeit wie durch Reifeuerverhüttung und anschließende Feuerfrischung gewonnene Stähle des Früh- und Hochmittelalters. (Persönliche Information Ulli Stehli). Es handelte sich um drei- und vierkantige englische, lanzenförmig-rhombode süddeutsche und weidenblattförmige norddeutsche Bodgkin-Spitzen mit Tülle.

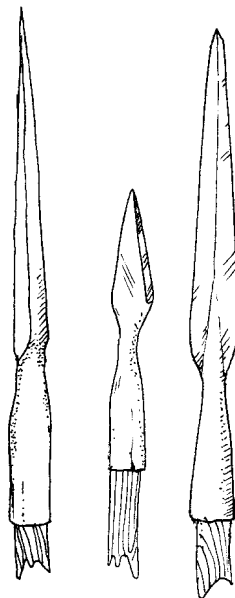


Abb. 2.- 6. Bodkin-Spitzen: englisch vier- und dreikant, süd- und norddeutsch (v.l.n.r.)

Als Beispiel neuzeitlicher Scheibenspitzen kamen Messingspitzen zur Verwendung. Es handelte sich um heute im Feldbogensport übliche Scheibenspitzen (Bullet Point, Feldspitze, Field-Tip,), die bei jedem Bogenhändler gekauft werden können.



Abb. 2.- 7. Messing Bullet Point

Außerdem wurden bei den Versuchen an toten Schweinen neben einem Rohschaft (unbefiedert, ohne Spitze, 19,5 g) und einem zwar befiederten, aber nicht mit einer Spitze versehenen Pfeil („Kinderpfeil“ - 15 g) auch 2 Blunt-Pfeile (engl. blunt = stumpf, derb) eingesetzt, die eigentlich zur Vogel- und Kleintierjagd verwendet werden: Eine selbstgemachte, hölzerne, keulenförmige Blunt-Spitze nach steinzeitlichem Vorbild<sup>14, 92, 178</sup> und eine zweiteilige, stumpfe Stahlspitze unbekannter Herkunft. Bei Letzterer handelt es sich um eine sog. Heulspitze ("Singing Arrow"), die während des Fluges einen pfeifenden Ton erzeugt und eigentlich als Signalpfeil dient.

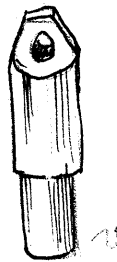


Abb. 2.- 8. Heulspitze (Singing Arrow)

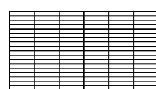
Zusammenfassend wurden mit dem Langbogen folgende Pfeilspitzen verschossen:

Spitzenform	Holz	Knochen	Stein	Bronze	Stahl	Messing
"Blunt"	•				•	
spitz-konisch		•				•
dreieckig		•	•			
blattförmig		•		•		
meißelförmig			•		•	
bärtig			•	•		
rhomboid					•	
"Bodgkin"					•	

Tabelle 2. – 1 Synopsis der mit dem Langbogen verwendeten Pfeilspitzenformen und Materialien

### 2.1.3.1. Querschnittsbelastung $S$ (g/mm<sup>2</sup>)

Die Querschnittsbelastung  $S$  als wichtige physikalische Größe eines Geschosses ist definiert als eine flächenbezogene Masse, wobei als Bezugsfläche die Projektion des Geschosses auf eine zur Bewegungsrichtung senkrechte Ebene gewählt wird (Stirnfläche). Im Normalfall des stabil fliegenden Geschosses wird hierfür die Kaliberquerschnittsfläche gewählt<sup>166</sup>:



Die Stirnfläche der Spitzen wurden mit einer Präzisionsschieblehre (PROMAT®) exakt vermessen, die Pfeile auf einer mechanischen Briefwaage gewogen. Mit den so erhaltenen Werten für Stirnfläche (mm<sup>2</sup>) und Gewicht (g) wurde die Querschnittsbelastung der einzelnen Pfeile berechnet, anschließend - nach Pfeilspizentypen getrennt - die jeweilige durchschnittliche Querschnittsbelastung (g/ mm<sup>2</sup>).

<b>Spitzenform</b>	<b>Holz</b>	<b>Knochen</b>	<b>Stein</b>	<b>Bronze</b>	<b>Stahl</b>	<b>Messing</b>
Blunt	0,1060				0,2918	
spitz-konisch		0,3144				0,6171
dreieckig		0,2337	0,1717			
blattförmig		0,2337		0,3540		
meißelförmig			0,2420		0,2476	
bärtig			0,1717	0,363		
rhomboïd					0,3480	
Bodkin					0,4522	

Tabelle 2. – 2 Durchschnittliche Querschnittsbelastung (g/mm<sup>2</sup>)

Die graphische Umsetzung obiger Werte verdeutlicht, dass die Querschnittsbelastung der meisten mit dem Langbogen verschossenen Pfeile zwischen 0,2 und 0,4 g/mm<sup>2</sup> betrug. Deutlich außerhalb dieses Bereiches lagen der Holz-Blunt mit 0,1060 g/mm<sup>2</sup> und die Messing-Scheibenspitzen mit 0,6171 g/mm<sup>2</sup>.

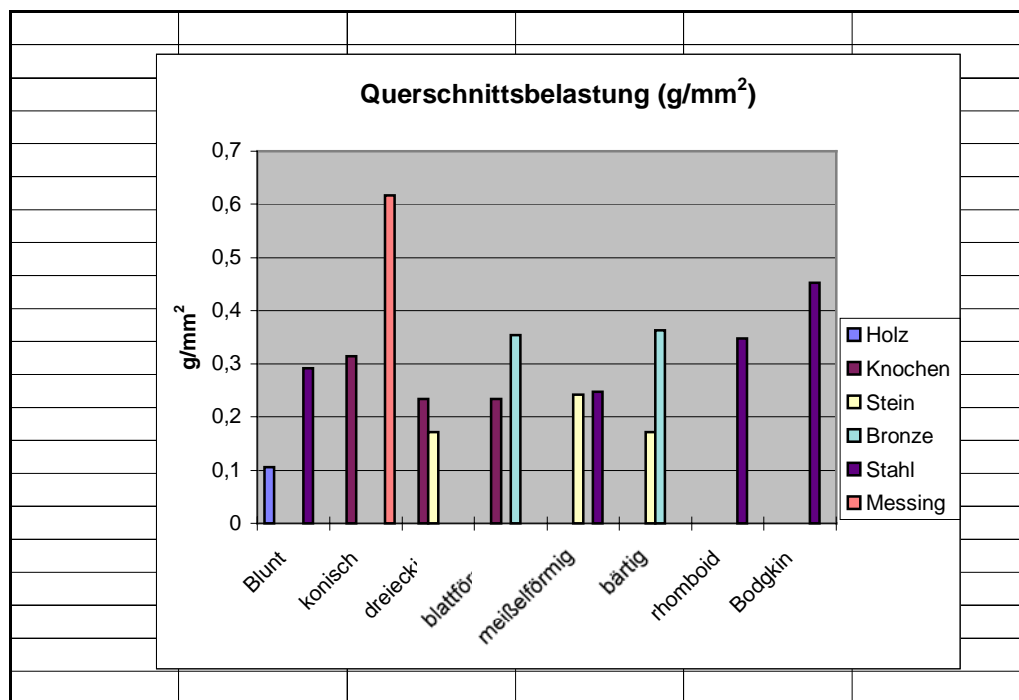


Abb. 2.- 9 Querschnittsbelastung (g/mm<sup>2</sup>)

## 2.2. Compound-Bogen

### 2.2.1. Bogen

Der bei den Penetrationsversuchen an toten Schweinen verwendete Compound-Bogen Model "FIRE FLITE EXPRESS" der Firma PSE (Precision Shooting Equipment, Tucson/Arizona) war mit einer „SUPER FLYTE“ Pfeilauflage der Firma Cavalier (Gilbert/Arizona) ausgestattet.

Für die Penetrationsversuche an Seifen- und Gelatineblöcken wurde die Ausrüstung um ein „PICK-A-PEEP“-Peepsight (= in die Sehne eingebundene Loch-„Kimme“) der Firma Fineline (Puyallup/Washington), ein variables Schiebevisier „SIGHTMASTER VISIER“ der Firma Sightmaster (Townsend/Minnesota), ausgestattet mit einem "SIGHTMASTER Fadenkreuz" derselben Firma als „Korn“ und einen kurzen, einteiligen Jagd-Stabilisator der Firma Cardoza (Oroville/Kalifornien) sowie ein „FLETCHHUNTER RELEASE“ (Release = mechanische Lösehilfe im Sinne eines Abzuges) der Firma Fletcher (Bodfish/Kalifornien) ergänzt.

Der maximale Auszug des Compoundbogens betrug 73,5 cm (29") bei einer Spannhöhe von 23 cm. Das Zuggewicht konnte durch entsprechende Einstellung zwischen 22,68 kg (50 lbs) und 27,216 kg (60 lbs) modifiziert werden. Während der Experimente war der Compound auf ein maximales Zuggewicht von 26,8 kg (57,31 lbs) bei 50 cm Auszug eingestellt; bei maximalem Auszug (73,5 cm/29") betrug das Zuggewicht nur noch 12,0 kg (26,45 lbs), also 45% des maximalen Zuggewichtes. Die Reduktion des Zuggewichtes bei vollem Auszug (sog. "Let-off") betrug somit 55 %.

Im sportlichen Bereich eingesetzt würde dieser Bogen in der Klasse "Compound unlimited", d.h. der technisch aufwendigsten Bogenklasse, eingeordnet.

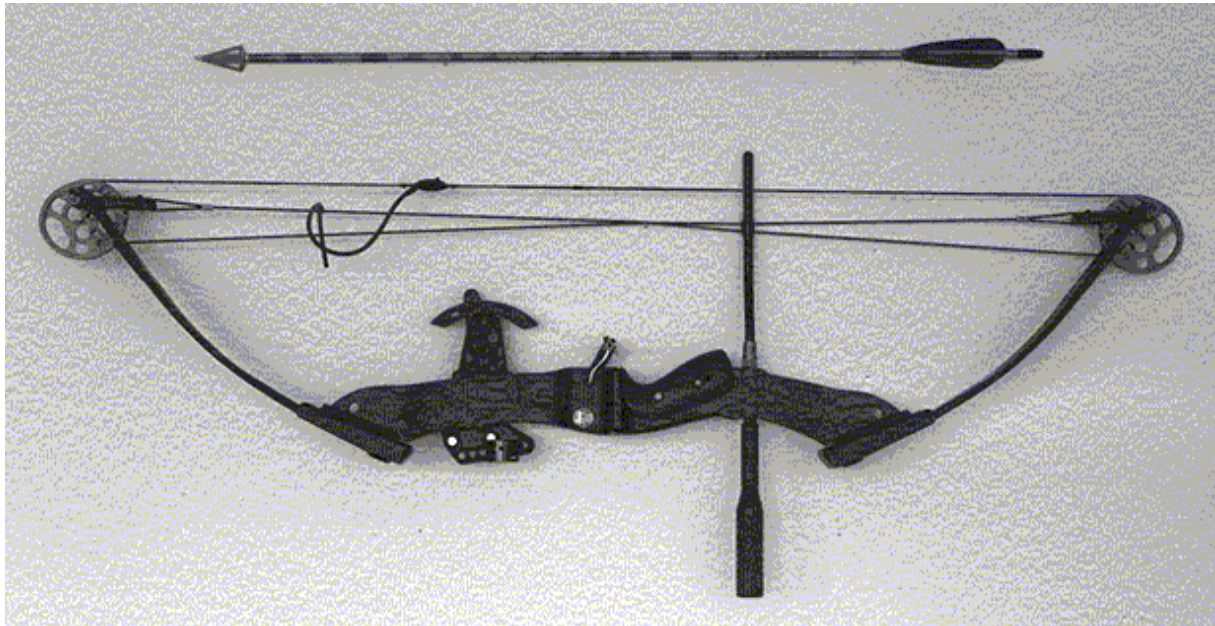


Abb. 2.- 10. Compoundbogen PSE FIRE FLITE EXPRESS

## 2.2.2. Pfeilschäfte

Mit dem Compound wurden Aluminiumschäfte vom Typ "EASTON 2216 LITE Gamegetter II" der Firma EASTON (Salt Lake City/Utah) verschossen. Die "22" im Code "2216" steht für den Außendurchmesser des Pfeiles (in 1/64-Zoll), die "16" für die Wandstärke (in 1/1000-Zoll). Die Schäfte wurden mit "Björn"-Nocken der Firma BENGSTON (Malmö/Schweden) und 5" parabol Plastikfletches der Firma PSE ausgerüstet. Außerdem wurde am Spitzenende ein Aluminium-Schraubeinsatz mit 8-32" Gewinde (AMO-Standard) der Firma EASTON zur Aufnahme der Pfeilspitzen eingeklebt. Die Länge der Pfeilschäfte ohne Spitze, also vom Schraubeinsatz bis zum Ende der Nocke, betrug 77 cm.

## 2.2.3. Pfeilspitzen

Mit Compound und Armbrust wurden lediglich zwei Pfeilspizentypen verschossen: Eine 8gr. (125 Grain) schwere und 2 cm lange Scheibenspitze (Feldspitze, Field Tip) aus Stahl mit 8-32" Gewinde der Firma SATELITE (Farmington/New York) und eine dreiflügelige Jagdspitze (Broadhead) mit konischer Stahlspitze Typ PSE BRUTE LITE 3 VENTED der Firma PSE, 5 cm lang (jew. „aktive“ Spitzenlängen, d.h. ohne Gewinde).

Die Jagdspitzen werden demontiert geliefert und bestehen aus einem Aluminiumschaft mit aufgesetzter konischer, dreiflächiger Stahlspitze. In den Schaft sind 3 schmale Rillen eingelassen zur Aufnahme der 0,5mm dicken, aus .020-rostoffreiem Stahl bestehenden Klingen. Die eingesetzten Klingen werden bis zum Einschrauben der Spitze von einem kleinen Plastikring in den Rillen fixiert. Nach dem Einschrauben halten in den Pfeilschaft reichende kleine Zungen die Klingen in Position. Auch der Broadhead wird über ein 8-32" Gewinde in den Schraubeinsatz eingeschraubt, wobei wegen der rasiermesserscharfen Klingen ein Spezialwerkzeug benutzt werden muss.

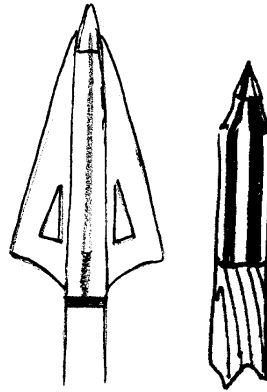


Abb. 2.- 11. Jagdspitze (Broadhead) PSE BRUTE LITE 3 VENTED und Feldspitze (Field-Tip)

Die Querschnittsbelastung der mit Feldspitzen ausgerüsteten Pfeile betrug  $0,6561 \text{ g/mm}^2$ , die der mit Jagdspitzen versehenen  $0,5226 \text{ g/mm}^2$ .

## 2.3. Armbrust

### 2.3.1. Armbrust

Die in den Experimenten verwendete Armbrust "EAGLE" der Firma "Frankonia Jagd", Würzburg (Katalog-Nr. 88300) wird sowohl über Katalog als auch über die regionalen Firmenniederlassungen vertrieben. Im Holzschaft ist ein Recurve-Bogen aus Carbon mittels einer Schraube fixiert. Die auf dem Carbonbogen angebrachte Aufschrift „150 LB“ ist irreführend, da sie eine maximale Zugspannung von 150 lbs entsprechend 68 kg suggeriert. Ein Auswiegen des Bogens auf die maximale Spannhöhe der Armbrust ergab eine tatsächliche Zugkraft von 33,4 kg auf 35cm.

Die Armbrust wird unter Zuhilfenahme eines Fußbügels mit den Händen gespannt, indem die Sehne in eine Kerbe des Schaftes zurückgezogen wird. Der im Holzschaft untergebrachte Abzugsmechanismus wird beim Spannen der Armbrust automatisch gesichert. Entsichert und damit scharf gemacht wird die Waffe durch nochmaliges Spannen („Durchladen“) und gleichzeitiges Entriegeln eines seitlich angebrachten Schiebers. Der Bolzen wird durch eine Stahlfeder (Bolzenklemmer) in der Rinne gehalten. Es ist möglich, die gespannte, geladene, entsicherte und somit schussbereite Armbrust zu führen und abzulegen.

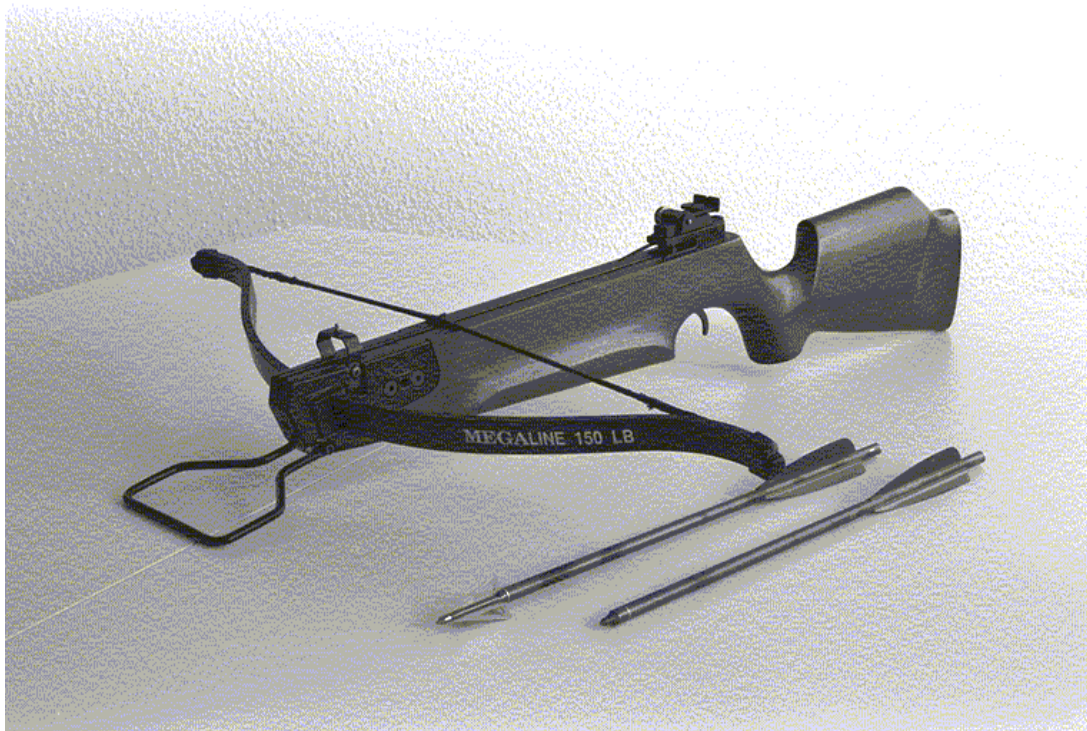


Abb. 2.- 12. Armbrust EAGLE (Frankonia Würzburg)

### 2.3.2. Pfeilschäfte

Mit der Armbrust wurden zu Bolzen eingekürzte Pfeilschäfte Typ "Bear Camo 2219" der Firma EASTON verschossen. Die Schäfte wurden mit 5" parabol Plastikfletches der Firma PSE befiedert und an beiden Enden mit dem o.a. Aluminium-Schraubeinsatz der Firma EASTON versehen, das vordere



Ende zur Aufnahme der Spitzen, das hintere Ende als Beschneidung. Die Länge der Bolzen ohne Spitze betrug 40 cm.

### 2.3.3. Pfeilspitzen

Die auf die vorbereiteten Bolzen montierten Spitzen (Feld- und Jagdspitze) sind identisch mit den beim Compound beschriebenen. Die Querschnittsbelastung der mit Feldspitzen ausgerüsteten Bolzen betrug  $0,5047 \text{ g/mm}^2$ , die der Bolzen mit Jagdspitze  $0,4180 \text{ g/mm}^2$ . Die bei gleicher Pfeilspitze im Vergleich zum Compound niedrigeren Querschnittsbelastungswerte erklären sich durch die kürzeren und damit leichteren Bolzenschäfte.

## 2.4. Pistolenarmbrust

Versuche mit einer Pistolenarmbrust wurden nach wenigen Schüssen eingestellt, da ein ausreichend stabiler Bolzenflug und die damit verbundene Zielgenauigkeit mit dem zur Verfügung stehenden Material nicht zu erzielen war.

## 2.5. Kraft-Zug-Kurve der im Experiment verwendeten

### Bögen

Die oben näher bezeichneten Bögen resp. der Bogen der Armbrust, der zu diesem Zwecke ausgebaut wurde, wurden in gespanntem Zustand im jeweiligen Mittelpunkt in einer Apparatur fixiert die es erlaubt, mittels einer Winde den jeweiligen Bogen schrittweise zu spannen und über eine zwischen Winde und Bogensehne geschaltete Zugwaage das aktuelle Zuggewicht zu dokumentieren. Auf diese Weise ist es möglich, das Zugverhalten eines Bogens in Form einer Kraft-Zug-Tabelle exakt zu beschreiben, in Form einer Kraft-Zug-Kurve (Force-Draw-Curve) darzustellen und die im Bogen gespeicherte Energie über das Integral der Kraft-Zug-Kurve zu errechnen.

Bei der Erstellung der Kraft-Zug-Tabelle wurde in 2,5 cm-Schritten, gemessen von der Bogenvorderkante (= Bogenrücken), die jeweilige Zugspannung in kg gemessen.

(0 = Spannhöhe) steht für den **be-** aber nicht **ge-**spannten Bogen, gibt also die für die Beschleunigung eines Pfeiles nicht zur Verfügung stehende Grundspannung des Bogens wieder und stellt daher den Ausgangspunkt der Messungen dar; ( $A_{\max}$ ) steht hier für die maximale Auszuglänge, die ohne Gefahr des Bogenbruches nicht überschritten werden darf und so den Endpunkt der Messungen definiert.

Auszug (cm)	PSE-Compound (kg (lb))	Langbogen (kg (lb))	Armbrust (kg (lb))
15			(0 = Spannhöhe)
17,5			7,0 (15,43)
20			10,8 (23,81)
22,5		(0 = Spannhöhe)	14,4 (31,75)
23	(0 = Spannhöhe)		
25	6,0 (13,23)	1,2 (02,65)	18,0 (39,68)
27,5	8,8 (19,40)	3,0 (06,61)	21,2 (46,74)
30	11,6 (25,57)	4,0 (08,82)	25,6 (56,44)
32,5	15,2 (33,51)	5,4 (11,90)	30,0 (66,14)
35	18,6 (41,01)	6,2 (13,67)	33,4 (73,63) ( $A_{max}$ )
37,5	21,8 (48,06)	8,0 (17,64)	
40	23,6 (52,03)	8,2 (18,08)	
42,5	25,4 (56,00)	9,4 (20,72)	
45	26,2 (57,32)	10,4 (22,93)	
47,5	26,6 (58,64)	11,2 (24,69)	
50	26,8 (59,08)	12,4 (27,34)	
52,5	26,8 (59,08)	13,8 (30,42)	
55	26,8 (59,08)	14,8 (32,63)	
57,5	26,6 (58,64)	15,7 (34,61)	
60	25,4 (56,00)	17,0 (37,48)	
62,5	24,4 (53,79)	18,4 (40,56)	
65	22,2 (48,92)	19,4 (42,77)	
67,5	20,2 (44,53)	20,6 (45,41)	
70	17,0 (37,48)	22,4 (49,38)	
72,5	12,6 (27,78)	23,6 (52,03) ( $A_{max}$ )	
73,5	12,0 (26,45) ( $A_{max}$ )		

Tabelle 2. – 3 Kraft-Zug-Tabelle der verwendeten Bögen.

Die grafische Umsetzung der Tabelle ergibt die klassische Kraft-Zug-Kurve (Force-Draw-Curve).

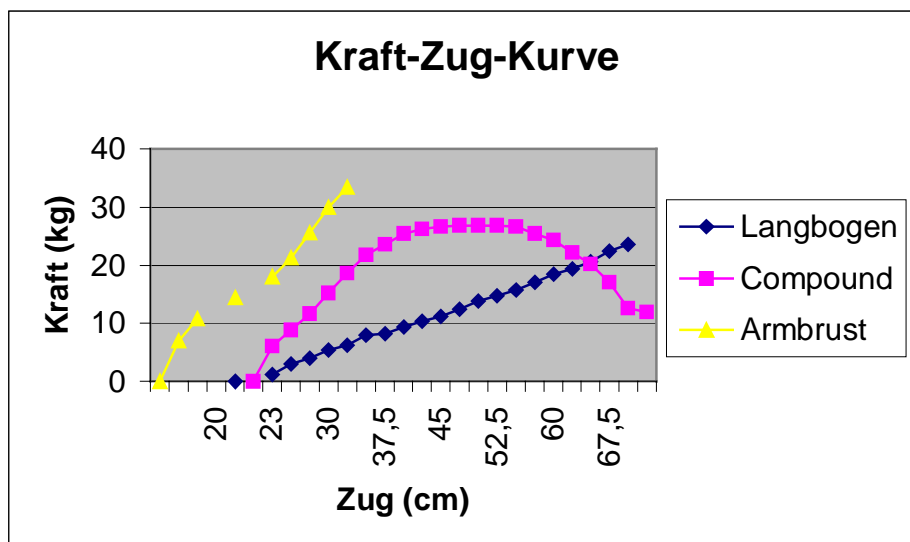


Abb. 2.-13 Kraft-Zug-Kurve

Die Armbrust weist einen sehr steilen Kurvenanstieg auf und erreicht im Vergleich bei  $A_{\max}$  das höchste Zuggewicht, die Fläche unter der Kurve und damit die abgespeicherte Energie ist jedoch relativ gering, die gespeicherte Energie beträgt lediglich 515 J.

Der Langbogen zeigt ein beinahe lineares Ansteigen der F/D-Kurve und speichert dabei doch, wie das Integral zeigt, deutlich mehr Energie ab als die Armbrust, nämlich 1355 J.

Der Compound speichert mit 2135 J deutlich mehr Energie ab als Armbrust und Langbogen zusammen, fordert jedoch bei  $A_{\max}$  im Gegensatz zum Langbogen dem Schützen deutlich geringere Haltearbeit ab.

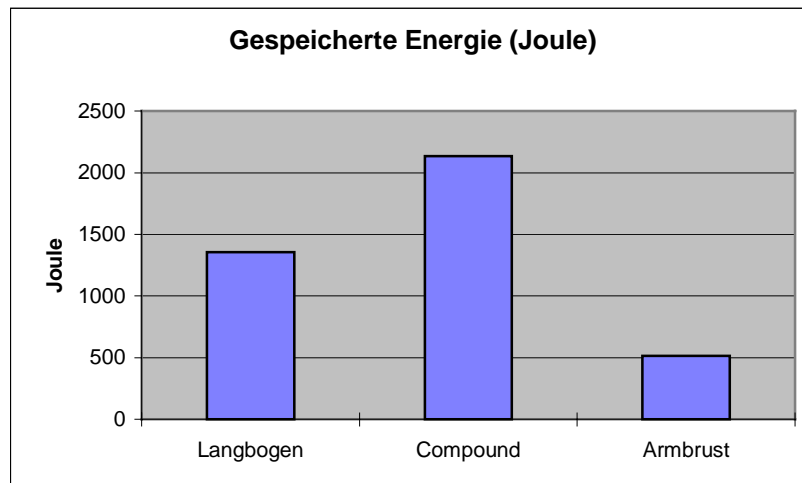


Abb.2.-14 Gespeicherte Energie

Da sowohl Compound-Bogen als auch Armbrust stressunempfindliche synthetische, der Langbogen aber hölzerne Wurfarme hat, die auf langsam ansteigenden Biegungsstress sehr sensibel durch Kraftverlust reagieren, muss davon ausgegangen werden, dass obiger Graph lediglich das Potential des Langbogens wiedergibt, nicht aber sein tatsächliches Verhalten. Aus der Praxis ist hierzu anzumerken, dass langes Halten eines Holzbogens im vollen Auszug die Performanz deutlich reduziert: Die Pfeile verlassen den Bogen langsam und „verhungern“ auf dem Weg zum Ziel. Forsches Spannen des Bogens und rasches Lösen des Pfeiles führen hingegen zu explosivem Pfeilflug und kraftvollem Eindringen in das Ziel. Dieses Verhalten kann noch durch einen finalen Ruck vor dem Lösen gesteigert werden ("den Bogen steif machen"). Eine physikalische oder materialtechnische Erklärung für dieses Phänomen gibt es derzeit nicht.

## 2.6. Synopse der verwendeten Pfeilspitzen

Die in den Schussversuchen verwendeten Pfeilspitzen werden definiert durch Material, Form, Verbreitungsgebiet (z.B. ND) und Funktion (z.B. J3). In den Ergebnistabellen wird auf die hier aufgeführten eindeutigen Kürzel zurückgegriffen. Die folgende Übersicht stellt die in den Experimenten benutzten Spitzen sowie die jeweils zugehörigen Bögen dar, wobei materialbedingt auch der historische Rahmen deutlich wird.

Zeile	Langbogen	LB	Compoundbogen	CB	Armbrust	AB
01	Rohschaft	RS				
02	Holz Blunt	HB				
03	Knochen Bullet	KB				
04	Knochen Dreieck	KD				
05	Flint Querschneider	FQ				
06	Flint Dreieck	FD				
07	Bronze Blatt	BB				
08	Bronze Dreieck	BD				
09	Eisen Querschneider	EQ				
10	Eisen Dreieck	ED				
11	Needle-Bodgkin	NB				
12	Norddeutscher Bodgkin	ND				
13	Süddeutscher Bodgkin	SD				
14	"Singing Arrow"	SA	Stahl Bullet	SB	Stahl Bullet	SB
15	Messing-Bullet	MB	Jagd, 3-flügelig	J3	Jagd, 3-flügelig	J3

Tabelle 2. – 4. Synopse der verwendeten Pfeilspitzen

(Zeile 01-06: Steinzeit; 06-08: Bronzezeit; 09-13: Antike / Mittelalter; 14-15: Neuzeit)

## 2.7. Pfeilgeschwindigkeitsmessungen und abgeleitete

### Parameter

Vor Durchführung der Simulantienversuche wurde mit einem Paar Infrarot-Lichtschranken (Model AVL B470, AVL List, Österreich) die Pfeilgeschwindigkeit gemessen. Die initiale Geschwindigkeit  $V_{\max}$  (m/s) der Pfeile wurde aus praktischen Gründen (Archer's Paradox) 3 Meter vor dem jeweiligen Bogenrücken ("Mündung") als  $V_3$  gemessen, eine zweite Messung 16,5 Meter vor der "Mündung" lieferte als  $V_{16,5}$  die notwendigen Daten für die Berechnung des Geschwindigkeitsverlustes  $\Delta V$  ((m/s)  $\times$  m<sup>-1</sup>) =  $(V_3 - V_{16,5}) \times 13,5$  m<sup>-1</sup>.

Die "Mündungsenergie"  $E_0$  (J) wurde anschließend aus Pfeilmasse und Anfangsgeschwindigkeit errechnet ( $J = m/2 \times v^2$ ).

Die Energiedichte  $E'$  (J) =  $1/2 \times S \times V^2$  als entscheidende Größe für die Beschreibung des Eindringverhaltens eines Geschosses wurde aus Querschnittsbelastung und maximaler Geschwindigkeit errechnet.

## 2.8. EDV

Neben allgemein gebräuchlichen Computerprogrammen (Textverarbeitung etc.) wurde zur Berechnung von verschiedenen Pfeilflugparametern sowie zur Umrechnung von Einheiten das EDV-Programm „Pfeilflug“, Version 2.0 von Horst Reindl, D-85757 Karlsfeld (© Horst Reindl) verwendet. Das Programm befasst sich mit der Dynamik des Bogenschießens und erlaubt es, u.a. folgende Berechnungen im Zusammenhang mit Pfeil und Bogen durchzuführen:

- Berechnung der Pfeilabschussgeschwindigkeit, der Pfeilbeschleunigung sowie anderer Größen
- Berechnung von Pfeilflugbahndaten für Schüsse in der Ebene oder im Gelände (Aufwärts- und Abwärtsschüsse)

- Berechnung der maximal möglichen Schussweiten und der zugehörigen Bahndaten
- Berechnung des Bogenwirkungsgrades und anderer Größen
- Umrechnung von Einheiten im Zusammenhang mit dem Bogenschießen (z. B. lbs in kg, grains in Gramm, Zoll in cm usw.)

## 2.9. Schussversuche an toten Schweinen

Die Schussversuche an toten Schweinen wurden auf dem Schlachthof in Moers am Niederrhein durchgeführt. Die Distanz bei den Versuchen betrug 8, 15 und 30 Meter. Im Rahmen der Penetrationsversuche an toten Schweinen konnte die jeweilige Pfeilgeschwindigkeit nicht bestimmt werden.

Die vier ausgewachsenen Schweine, die als Ziele benutzt wurden, wogen mehr als 100 kg und hatten den Transport zum Schlachthaus nicht überlebt. Die Leichen wurden an den Vorderfüßen aufgehängt und, ca. 5 Stunden nach dem Tod, von der Seite her in verschiedene Körperregionen beschossen. Nach den Schüssen wurden die Wundverläufe entlang der Pfeile eingeschnitten und Penetrationstiefe, beteiligte Gewebe und Zustand der Pfeilspitze untersucht. Besondere Sorgfalt wurde angewandt, wenn die Pfeilspitze Knochenkontakt hatte.

## 2.10. Penetrationsversuche an Gelatine- und Seifenblöcken

Die Penetrationsversuche an Gelatine- und Seifenblöcken wurden auf einem Versuchsstand für Schusswaffen im Bundesamt für Waffensysteme und Munition, Fachabteilung 26, Stabsstelle Wehrtechnik, in Thun/Schweiz durchgeführt. Die Distanz bei den Versuchen betrug 8 Meter. Während der Simulantienversuche konnte die jeweilige initiale Pfeilgeschwindigkeit als  $V_3$  gemessen werden.

Gelatine und Seife sind zwei etablierte Simulantien in der experimentellen Ballistik von Feuerwaffenprojektilen weil sie, unter anderem, die Penetrationstiefe in Muskelgewebe reflektieren.<sup>51, 167</sup> Die Gelatine-Blöcke (25 x 25 x 40 cm) bestanden aus 10%iger Gelatine (250 bloom, Typ A, PB Gelatins, Belgien) bei 4°C, die Seifenblöcke gleichen Maßes bestanden aus Schweizer ballistischer Seife (Permatin Seifenfabrik, Schweiz). Die Penetration in Gelatineblöcke wurde teilweise mit einer Hochgeschwindigkeitskamera dokumentiert. Die Penetrationstiefe wurde bei jedem Schuss gemessen, einige der Simulantienblöcke wurden entlang des Pfeiles/Schußkanales aufgeschnitten.

## 2.11. Dokumentation und Auswertung

Viele Ergebnisse konnten schematisiert in Tabellenform dargestellt werden. Diese Darstellungsform erfordert jedoch einige Definitionen.

### 2.11.1. Pfeilmarkierung und Identifizierung

Während der Schussexperimente war jeder einzelne Pfeil nummeriert ("Cresting"), so dass die jeweiligen Umstände (Bogentyp, Distanz, Pfeilspitze etc.) zusammen mit den jeweiligen Ergebnissen (Penetrationstiefe, Wundbild etc.) dokumentiert werden konnten. Dieses Vorgehen war insbesondere bei den Schussversuchen auf Schweine erforderlich, da vor der Sektion immer eine Serie von Pfeilen

auf den jeweiligen Kadaver verschossen werden musste. Die in der ersten Spalte "Nr." eingetragene Zahl entspricht daher nicht nur einem konkreten Pfeil, sondern auch einem konkreten Schuss, der so auch bei der Untersuchung unterschiedlicher Parameter (Penetration, Morphologie...) immer verfolgt werden kann.

### **2.11.2. Pfeilmasse und Querschnittsbelastung S**

Die Werte für das jeweilige Pfeilgewicht wurden in der Spalte Masse (g) notiert, die für die jeweilige Querschnittsbelastung in der Spalte S ( $\text{g}/\text{mm}^2$ ).

### **2.11.3. Distanz**

Grundsätzlich wurde während der Experimente auf eine Distanz von 8 Metern geschossen, um so die Ergebnisse dieser Studie besser mit denen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Bei den Schussexperimenten auf Schweine wurden jedoch zusätzliche Pfeile aus 15 und 30 Metern Entfernung abgegeben (sog. "Jagdliche Distanzen"). In allen Ergebnistabellen werden daher die Distanzen gesondert aufgeführt.

### **2.11.4. Penetrationstiefe Pd**

In einigen Fällen wurden die Zielobjekte Gelatine und Schwein durchschossen. Diese Ereignisse wurden in den Ergebnislisten in der Spalte "Penetrationstiefe Pd (cm)" durch den Ausdruck "Penetrationstiefe (+ x)" dokumentiert, wobei "x" die Länge des auf der Ausschusseite herausragenden Pfeils bezeichnet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Geschwindigkeitsmessungen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die gemessenen Geschwindigkeiten 3 und 16,5 m nach dem Abgang sowie über den Geschwindigkeitsverlust auf dieser Strecke.

V-NR.	Bogen	Pfeilspitze (Nr.)	Pfeilmasse (g)	V <sub>3</sub> (m/s)	V <sub>16,5</sub> (m/s)	ΔV (m/s) / m	E <sub>0</sub> (J)
1	LB	MB (02)	31	47	45,3	0,13	34,24
2	LB	EQ (23)	34	45,2	42,8	0,18	34,73
3	LB	NB (66)	36	45,2	42,7	0,19	36,77
4	LB	ND (33)	43	40	38,9	0,08	37,20
5	LB	SD (64)	38	43,8	42,6	0,09	36,45
6	LB	BD (27)	33	43,9	41,9	0,15	31,80
7	LB	ED (63)	34	43,5	42,4	0,08	32,17
8	CB	J3	40	68	65,6	0,18	92,48
9	CB	J3	40	65,2	62,7	0,19	85,02
10	CB	SB	39	65,9	64	0,14	84,70
11	CB	SB	39	68,4	66,2	0,16	91,23
12	AB	SB	30	47,4	46,1	0,10	33,70
13	AB	SB	30	47,4	45,8	0,12	33,70
14	AB	J3	32	46,4	45,3	0,08	34,45
15	AB	J3	32	46,8	45,3	0,11	35,04

Tabelle 3. - 1 Experimentell ermittelte Pfeilgeschwindigkeiten und resultierende "Mündungsenergie". ("V-Nr." bezeichnet die einzelnen Geschwindigkeitsversuche.)

Die annähernde initiale Geschwindigkeit  $V_{max}$  (m/s) der Pfeile betrug 44 m/s für den Langbogen, 47 m/s für die Armbrust und 67 m/s für den Compound-Bogen. Der Geschwindigkeitsverlust  $\Delta V$  betrug nur ca. 0,1 - 0,2 m/s pro Meter. Die "Mündungsenergie"  $E_0$  (J) wurde für Langbogen und Armbrust beinahe gleich bestimmt, obwohl der Langbogen fast die dreifache Energie speichert. Der Compound, der die vierfache Energie der Armbrust speichert, verfügt im Gegensatz zu Langbogen und Armbrust über mehr als die 2,5-fache "Mündungsenergie".

Bogen	Pfeilmasse (g)	V <sub>3</sub> (m/s)	V <sub>16,5</sub> (m/s)	ΔV (m/s) / m	E <sub>0</sub> (J)
Langbogen	35	44,1	42,4	0,13	34,77
Armbrust	31	47,0	45,6	0,10	34,22
Compound	39	66,9	64,6	0,17	88,36

Tabelle 3. - 2 Durchschnittliche Pfeilgeschwindigkeit, Geschwindigkeitsverlust und "Mündungsenergie".

Die in Tabelle 3-2 wiedergegebenen Geschwindigkeiten stellen den jeweiligen Mittelwert aus Tabelle 3-1 dar, wobei die geringe Abweichung vom Mittelwert erstaunte: Für die Armbrust (mechanische Auslösung bei mechanisch definiertem und damit exakt gleichem Auszug) war eine derartige Konstanz durchaus erwartet worden, nicht aber für die Bögen. - Basierend auf den in Tabelle 3-2 dargestellten Daten wurde die Auftreffenergie im Ziel  $E_z$  für die Distanzen, die in den Experimenten geschossen wurden, errechnet. Hierbei wurden zunächst die jeweiligen Pfeilgeschwindigkeiten im Ziel

errechnet, wobei Strecken von 5, 12 und 27 Metern zugrunde gelegt wurden, da ja " $V_0$ " von uns real als  $V_3$  gemessen wurde.

<b>Bogen</b>	<b><math>\Delta V</math> (m/s) / m</b>	<b><math>V_3</math> (m/s)</b>	<b><math>V_8</math> (m/s)</b>	<b><math>V_{15}</math> (m/s)</b>	<b><math>V_{30}</math> (m/s)</b>
Langbogen	0,13	44,1	43,5	42,5	40,6
Armbrust	0,10	47,0	46,5	45,8	44,3
Compound	0,17	66,9	66,1	64,9	62,3

Tabelle 3. - 3 Geschwindigkeitsverlust und gemessene/errechnete Geschwindigkeiten auf verschiedene Distanzen

In Verbindung mit Masse, Form und Querschnittsbelastung ist die Auftreffenergie im Ziel maßgeblich am Verwundungspotential eines Geschosses und somit auch einer Pfeilspitze beteiligt. Es wurde daher mit der durchschnittlichen Pfeilmasse aus Tabelle 3-2 und den in Tabelle 3-3 dargestellten Geschwindigkeiten die zur jeweiligen Distanz gehörige Zielenergie errechnet.

<b>Bogen</b>	<b><math>\Delta V</math> (m/s) / m</b>	<b><math>E_0</math> (J)</b>	<b><math>E_8</math> (J)</b>	<b><math>E_{15}</math> (J)</b>	<b><math>E_{30}</math> (J)</b>
Langbogen	0,13	34,77	33,27	31,67	28,83
Armbrust	0,10	34,22	33,51	26,69	30,42
Compound	0,17	88,36	85,07	82,03	75,70

Tabelle 3. - 4 Durchschnittliche "Mündungs-" und Zielenergie

Als Vergleichswerte seien hier die ballistischen Daten einiger gängiger Patronen den in den Experimenten verwendeten Pfeilen gegenübergestellt. Obwohl es sich bei den Patronen eher um durchschnittliche Repräsentanten des jeweiligen Munitionstyps handelt, werden die gravierenden Unterschiede bezüglich Masse, Querschnittsbelastung  $S$ , Ausgangsgeschwindigkeit  $V_0$  und Ausgangsenergie  $E_0$  deutlich.



Munitionsbezeichnung/ Bogentyp	Nominalkaliber (mm)	Geschossmasse (g)	S (g/mm <sup>2</sup> )	V <sub>0</sub> (m/s)	E <sub>0</sub> (J)
9x19mm Parabellum <sup>1</sup>	9.00	8.00	0,1258	350	490
.45 Colt <sup>2</sup>	11.25	16.20	0,1630	265	569
7.62x51 mm NATO <sup>3</sup>	7.62	9.50	0,2083	830	3272
9x57 mm <sup>4</sup>	9.00	15.90	0.2499	656	3421
Langbogen		35	0,2476- 0,6171	44,1	34,77
Armbrust		31	0,4180- 0,5047	47,0	34,22
Compound		39	0,5226- 0,6561	66,9	88,36

Tabelle 3. - 5 Ballistische Daten von Patronen<sup>166</sup> und der experimentell verwendeten Bögen und Pfeile.

(1 = Pistolenpatrone, 2 = Revolverpatrone, 3 = Armeemuniton, 4 = Jagdmuniton)

## 3.2. Simulantien

Die Simulantien wurden mit 68 Pfeilen (Nr. 73-141) beschossen, wovon die Nummern 79, 80, 84-86, 88, 104, 105, 109, 114, 115, 118, 122 und 123 Fehlschüsse waren. Die Anzahl der Treffer reduziert sich damit auf n= 54.

### 3.2.1. Penetration in Seife

#### 3.2.1.1. Langbogen

Die Masse der verschossenen Pfeile betrug 31 - 39 Gramm. Die erreichte V<sub>max</sub> lag zwischen 40,8 und 45,7 m/s, E<sub>0</sub> wurde zwischen 29,66 und 35,62 J errechnet, S lag zwischen 0,2650 und 0,6167 g/mm<sup>2</sup>. E' lag zwischen 248,42 und 643,99 J/mm<sup>2</sup>. Zusammenfassend handelt es sich um eine relativ inhomogene Gruppe.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	V <sub>max</sub> (m/s)	E <sub>0</sub> (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
81 <sup>1</sup>	8	EQ	38	43,3	35,62	0,2650	248,42	9,0
86 <sup>1</sup>	8	BB	34	43,3	31,87	0,3540	331,86	10,5
89 <sup>1</sup>	8	BD	33	42,4	29,66	0,3745	336,63	10,5
87 <sup>1</sup>	8	BD	33	42,9	30,37	0,3745	344,62	11,5
73 <sup>2</sup>	8	MB	31	45,7	32,37	0,6167	643,99	13,0
74 <sup>2</sup>	8	MB	31	45,3	31,80	0,6167	632,76	13,0
75 <sup>2</sup>	8	MB	31	45,3	31,80	0,6167	632,76	13,0
76 <sup>3</sup>	8	SD	38	42,6	34,48	0,4388	398,16	13,5
82 <sup>3</sup>	8	ED	34	43,5	32,17	0,3153	298,31	13,5
78 <sup>3</sup>	8	ND	39	40,8	32,46	0,4040	336,26	16,0

Tabelle 3. - 6 Penetration in Seife mit Langbogen (Werte).

Die mit dem Langbogen verschossenen Pfeile drangen zwischen 9,0 und 16,0 cm in die Seifenblöcke ein. Hierbei wiesen die antiken, scharfen Jagd- und Kriegsspitzen (Halbmond, Bronzedreieck und -blatt) die geringste Penetranz auf (9-11,5 cm). Die relativ stumpfen Messing-Scheibenspitzen (MB)

drangen 13 cm ein, wurden aber von der zweischneidigen Jagdspitze ED und den spitzen Bodkins ND und SD mit 13,5 - 16,0cm übertroffen.

Die Pfeile geringer (81, 86, 87, 89), mittlerer (73-75) und hoher (76, 78, 82) Penetranz wurden zu den Gruppen Lb<sup>1-3</sup> zusammengefasst. Tabelle 3-7 listet die jeweiligen Mittelwerte auf.

Spitze	Form	Masse (g)	V <sub>max</sub> (m/s)	E <sub>0</sub> (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
Lb <sup>1</sup>	scharf	34,5	42,97	31,88	0,3420	315,74	10,37
Lb <sup>2</sup>	stumpf	31	45,43	31,99	0,6167	636,40	13
Lb <sup>3</sup>	spitz	37	42,30	33,04	0,3860	345,33	14,33

Tabelle 3. - 7 Penetration in Seife mit Langbogen (Durchschnittswerte)

### 3.2.1.2. Compoundbogen

Pfeilmasse und Querschnittsbelastung S betragen 39 g bzw. 0,6561 g/mm<sup>2</sup> für die Scheibenpfeile (SB) und 40 g bzw. 0,5226 g/mm<sup>2</sup> für die dreiflügeligen Jagdpfeile (J3). V<sub>max</sub> wurde zwischen 66,0 und 68,4 m/s gemessen, wobei innerhalb der beiden Gruppen der jeweils langsamste Pfeil am wenigsten und der jeweils schnellste Pfeil am tiefsten in die Seife eindrang. E<sub>0</sub> wurde zwischen 85,20 und 91,23 J berechnet, die Querschnittsbelastung S der Jagdspitzen mit 0,5226, die der Scheibenspitzen mit 0,6561 g/mm<sup>2</sup> bestimmt. Die Energiedichte E' betrug 1138,22 bis 1534,80 J/mm<sup>2</sup>. Die erzielten Penetrationstiefen lagen zwischen 17,5 und 23 cm, wobei sich hier Energie und Penetrationstiefe innerhalb der jeweiligen Gruppe proportional verhielten.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	V <sub>max</sub> (m/s)	E <sub>0</sub> (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
96	8	J3	40	66,0	87,12	0,5226	1138,22	17,5
95	8	J3	40	66,2	87,64	0,5226	1145,13	18,0
94	8	J3	40	66,6	88,71	0,5226	1159,01	18,0
90	8	SB	39	66,1	85,20	0,6561	1433,32	21,5
93	8	SB	39	67,5	88,85	0,6561	1494,68	22,5
92	8	SB	39	68,4	91,23	0,6561	1534,80	23,0

Tabelle 3. - 8 Penetrationstiefe in Seife mit Compound (Werte)

Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Durchschnittswerte.

Spitze	Form	Masse (g)	V <sub>max</sub> (m/s)	E <sub>0</sub> (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
J3	scharf	40	66,27	87,82	0,5226	1147,55	17,83
SB	stumpf	39	67,33	88,43	0,6561	1487,16	22,33

Tabelle 3. - 9 Penetration in Seife mit Compound (Durchschnittswerte)

### 3.2.1.3. Armbrust

Die Pfeil-, besser Bolzenmasse lag bei der Armbrust bei 30 Gramm für die Scheibenspitzen SB und 32 Gramm für die Jagdspitzen J3. Die Anfangsbeschleunigung betrug zwischen 47,3 und 47,7 m/s und wies damit - wie bei mechanisch definiertem Auszug und mechanischem Lösen zu erwarten - eine extrem geringe Streuung auf. E<sub>0</sub> wurde zwischen 34,13 und 35,94 J berechnet, S lag zwischen 0,4180 und 0,5047 g/mm<sup>2</sup>. E' betrug 468,57 bis 574,17 J/mm<sup>2</sup>. Zusammenfassend liegen hier zwei sehr homogene Gruppen vor. Die erzielten Penetrationstiefen lagen zwischen 9,5 und 12 cm.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	$V_{\max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
100	8	J3	32	47,4	35,94	0,4180	468,57	9,5
101	8	J3	32	47,4	35,94	0,4180	469,57	10,0
102	8	J3	32	47,3	35,80	0,4180	467,59	11,0
99	8	SB	30	47,7	34,13	0,5047	574,17	11,0
97	8	SB	30	47,7	34,13	0,5047	574,17	11,5
98	8	SB	30	47,7	34,13	0,5047	574,17	12,0

Tabelle 3. - 10 Penetrationstiefe in Seife mit Armbrust (Werte)

Die Gruppe SB ist bezüglich Masse,  $V_{\max}$ ,  $E_0$ , S und E' homogen, die Penetrationstiefe variiert hier zwischen 11,0 und 12,0 cm. Auch die Gruppe J3 ist annähernd homogen bezüglich der o.a. Parameter; hier variiert die Penetrationstiefe zwischen 9,5 und 11,0 cm. Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Durchschnittswerte.

Spitze	Form	Masse (g)	$V_{\max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
J3	scharf	32	47,37	35,89	0,4180	468,98	10,17
SB	stumpf	30	47,70	34,13	0,5047	574,17	11,5

Tabelle 3. - 11 Penetration in Seife mit Armbrust (Durchschnittswerte)

### 3.2.1.4. Zusammenfassung der Penetrationsergebnisse in Seife

Tabelle 3-12 zeigt die Penetrationsergebnisse in Seife im Überblick

Bogen	Spitze	Form	Masse (g)	$V_{\max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	E' (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
AB	J3	Scharf	32	47,37	35,89	0,4180	468,98	10,17
LB <sup>1</sup>	(EQ)	Scharf	34,5	42,97	31,88	0,3420	315,74	10,37
AB	SB	Stumpf	30	47,7	34,13	0,5047	574,17	11,5
LB <sup>2</sup>	MB	Stumpf	31	45,43	31,99	0,6167	636,40	13
LB <sup>3</sup>	(ND)	Spitz	37	42,30	33,04	0,3860	345,33	14,33
CB	J3	Scharf	40	66,27	87,82	0,5226	1147,55	17,83
CB	SB	Stumpf	39	67,33	88,43	0,6561	1487,16	22,33

Tabelle 3. - 12 Penetration in Seife (Durchschnittswerte, sortiert nach Penetrationstiefe Pd)

## 3.2.2. Penetration in Gelatine

### 3.2.2.1. Langbogen

Die in diesem Versuch benutzten Pfeile wogen zwischen 31 und 39 Gramm und hatten eine Querschnittsbelastung zwischen 0,2647 und 0,6167 g/mm<sup>2</sup>.  $V_{\max}$  wurde zwischen 40,8 und 46,0 m/s gemessen,  $E_0$  zwischen 29,28 und 34,44 J und E' zwischen 271,51 und 652,47 J/mm<sup>2</sup> errechnet. Die erzielten Penetrationstiefen lagen zwischen 17 und 25 cm.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	$V_{max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
141 <sup>1</sup>	8	ED	34	41,5	29,28	0,3153	271,51	17
136 <sup>1</sup>	8	EQ	34	44,2	33,21	0,2647	258,56	19
139 <sup>2</sup>	8	SD	38	42,8	34,80	0,4388	401,91	23
140 <sup>2</sup>	8	BD	33	43,1	30,65	0,3745	347,84	23
137 <sup>2</sup>	8	NB	36	43,4	33,90	0,4238	399,13	24
138 <sup>2</sup>	8	ND	39	40,8	32,46	0,4040	336,26	24
135 <sup>3</sup>	8	MB	31	46,0	32,80	0,6167	652,47	25

Tabelle 3. - 13 Penetration in Gelatine mit Langbogen (Werte)

Die Pfeile geringer (141,136), mittlerer (137,138,139,140) und hoher (135) Penetranz wurden - analog zu 3-6 und 3-7 - zu den Gruppen Lb<sup>1-3</sup> zusammengefasst. Tabelle 3-13 listet die jeweiligen Mittelwerte auf.

Spitze	Form	Masse (g)	$V_{max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
Lb <sup>1</sup>	scharf	34	42,85	31,25	0,29	265,04	18,0
Lb <sup>2</sup>	scharf/spitz	36,5	42,52	32,95	0,4102	371,29	23,5
Lb <sup>3</sup>	stumpf	31	46,0	32,80	0,6167	652,47	25,0

Tabelle 3. - 14 Penetration in Gelatine mit Langbogen (Durchschnittswerte)

### 3.2.2.2. Compoundbogen

Pfeilmasse und Querschnittsbelastung S betragen 39 g bzw. 0,6561 g/mm<sup>2</sup> für die Scheibenpfeile (SB) und 40 g bzw. 0,5226 g/mm<sup>2</sup> für die dreiflügeligen Jagdpfeile (J3).  $V_{max}$  wurde zwischen 63,5 und 68,6 m/s gemessen.  $E_0$  wurde zwischen 80,64 und 93,10 J berechnet. Die Querschnittsbelastung S betrug 0,5226 g/mm<sup>2</sup> für die Jagdspitze und 0,6561 g/mm<sup>2</sup> für die Feldspitze. Die Energiedichte  $E'$  wurde zwischen 1053,63 und 1566,38 J/mm<sup>2</sup> errechnet. Die maximale Penetrationstiefe in Gelatine betrug 32,5 cm für die Jagdspitze (J3) und 46,5 cm (inkl. Ausschussstrecke) für die Scheibenspitze (SB).

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	$V_{max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
111	8	J3	40	64,9	84,24	0,5226	1100,60	28,5
113	8	J3	40	63,5	80,64	0,5226	1053,63	29,5
112	8	J3	40	65,1	84,76	0,5226	1107,39	29,5
117	8	J3	40	64,7	83,72	0,5226	1093,83	31,0
110	8	J3	40	65,2	85,02	0,5226	1110,80	32,5
116	8	J3	40	65,7	86,33	0,5226	1127,90	32,5
109	8	SB	39	65,1	82,64	0,6561	1390,28	38,5
107	8	SB	39	65,0	82,39	0,6561	1386,01	41,0
106	8	SB	39	65,6	83,91	0,6561	1411,72	41,0
103	8	SB	39	64,9	82,13	0,6561	1381,75	41,0 (+2,0)
120	8	SB	39	68,6	91,76	0,6561	1543,79	40,5 (+5,5)
119	8	SB	39	69,1	93,10	0,6561	1566,38	40,5 (+6,0)

Tabelle 3 - 14 Penetration in Gelatine mit Compound (Werte)

In Gelatine betrug die durchschnittliche Penetrationstiefe der dreiflügeligen Jagdspitzen (J3) 30,58 cm, die der Scheibenspitzen (SB) 34,67 cm (ohne Berücksichtigung der Durchschüsse (+x) 34,42 cm). Die relativ stumpfe Scheibenspitze SB drang immer tiefer in die Gelatineblöcke ein als die scharfe Jagdspitze J3. Mit der Scheibenspitze konnten zudem 3 Durchschüsse erzielt werden, was mit der Jagdspitze in keinem Fall gelang.

Spitze	Form	Masse (g)	$V_{max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
J3	scharf	40	64,85	84,12	0,5226	1098,90	30,58
SB	stumpf	39	66,38	85,99	0,6561	1445,48	42,67*

Tabelle 3. - 15 Penetration in Gelatine mit Compound (Durchschnittswerte; \*=incl. Ausschussstrecke)

### 3.2.2.3. Armbrust

Pfeilmasse und Querschnittsbelastung S betragen 30 g bzw. 0,5047 g/mm<sup>2</sup> für die Scheibenpfeile (SB) und 32 g bzw. 0,4180 g/mm<sup>2</sup> für die dreiflügeligen Jagdpfeile (J3).  $V_{max}$  wurde zwischen 47,0 und 47,5 m/s gemessen,  $E_0$  zwischen 33,70 und 35,64 J und  $E'$  zwischen 461,68 und 569,36 J/mm<sup>2</sup> berechnet. Die maximale Penetrationstiefe in Gelatine betrug 23,5 cm für die Jagdspitze (J3) und 28,0 cm für die Scheibenspitze (SB).

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	$V_{max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
128	8	J3	32	47,1	35,49	0,4180	463,65	20,0
129	8	J3	32	47,2	35,64	0,4180	465,62	21,0
127	8	J3	32	47,0	35,34	0,4180	461,68	23,0
126	8	J3	32	47,2	35,64	0,4180	465,62	23,5
125	8	SB	30	47,4	33,70	0,5047	566,97	26,0
123	8	SB	30	47,5	33,84	0,5047	569,36	26,5
124	8	SB	30	47,5	33,84	0,5047	569,36	28,0

Tabelle 3. - 16 Penetration in Gelatine mit Armbrust (Werte)

Bei konstantem Gewicht der beiden Pfeiltypen und relativ konstanter  $V_{max}$  und "Mündungsenergie" resultierten der Querschnittsbelastung entsprechende Werte für die Energiedichte und entsprechende Penetrationstiefen. Innerhalb der beiden Gruppen streut die Penetrationstiefe nur gering, zwischen den beiden Gruppen klafft aber eine Lücke von ca. 2,5 cm.

Spitze	Form	Masse (g)	$V_{max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
J3	scharf	32	47,1	35,53	0,4180	463,65	21,87
SB	stumpf	30	47,5	33,79	0,5047	569,36	26,83

Tabelle 3. - 17 Penetration in Gelatine mit Armbrust (Durchschnittswerte)

### 3.2.2.4. Zusammenfassung der Penetrationsergebnisse in Gelatine

Tabelle 3-18 zeigt eine Zusammenfassung der Beschussergebnisse in Gelatine:

Bogen	Spitze	Form	Masse (g)	$V_{\max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
Lb <sup>1</sup>	(ED)	scharf	34	42,85	31,25	0,29	265,04	18,0
AB	J3	scharf	32	47,1	35,53	0,4180	463,65	21,87
Lb <sup>2</sup>	(NB)	scharf/spitz	36,5	42,52	32,95	0,4102	371,29	23,5
Lb <sup>3</sup>	MB	stumpf	31	46,0	32,80	0,6167	652,47	25,0
AB	SB	stumpf	30	47,5	33,79	0,5047	569,36	26,83
CB	J3	scharf	40	64,85	84,12	0,5226	1098,90	30,58
CB	SB	stumpf	39	66,38	85,99	0,6561	1445,48	42,67*

Tabelle 3. - 18 Penetration in Gelatine (Durchschnittswerte; \*=incl. Ausschusstrecke)

### 3.2.3. Morphologie des Schusskanals

#### 3.2.3.1. Temporäre Höhle

Die Seifen- bzw. Gelatineblöcke wurden zum Teil nach dem Beschuss entlang des Schusskanals aufgeschnitten. Hierbei fand sich kein Anhalt für eine über den unmittelbaren Kontakt mit Pfeil und Pfeilspitze hinausgehende Destruktion im Sinne einer temporären Wundhöhle.

#### 3.2.3.2. "Bugwellenphänomen"

Beim Einsatz scharfer Pfeilspitzen konnte teilweise ein langsames Aufspalten der Gelatineblöcke beobachtet werden. In der senkrechten Betrachtung erinnerte dieser Prozess an die Bug-/Heckwelle eines Bootes, wobei die Pfeilspitze die Bugposition einnahm. Wir interpretierten dieses Phänomen als Folge des Druckes, den der Pfeilschaft auf die Gelatine ausübte: In diesem Medium wirkt der Schaft wie ein Keil und bewirkt so eine Vergrößerung des Schusskanals entlang des durch die Spitze vorgegebenen Schnittes. Im Gegensatz zum formal nicht unähnlichen Aspekt einer durch ein Feuerwaffengeschoss verursachten dreidimensionalen, kegelförmigen temporären Höhle (Abbildung 3-1) bildete sich dieses "Bugwellenphänomen" aber ausschliesslich in der Ebene der Pfeilklinge aus und nachdem der Pfeil zur Ruhe gekommen war. Bei nichtschneidenden Pfeilspitzen (MB, NB, SB...) sowie in Seife konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die Keilwirkung nur bei vorhandenem "Locus minoris resistentiae" in Form des durch die Klinge vorgegebenen Spaltes wirksam werden kann.



Abb. 3-1. Bugwellenphänomen (Feuerwaffengeschoss).<sup>166</sup>

### 3.2.3.3. Gelatine mit eingebetteten Kunstknochen

Mit dem Compound wurden auf eine Distanz von 4 Metern ohne zusätzliche Geschwindigkeitsmessungen in Gelatine eingebettete Kunstknochen (Kunststoffröhren mit 3 cm Durchmesser, 0,7 cm Wandstärke und 1,6 cm Gelatinekerne als Markhöhlenäquivalent) beschossen.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	S (g/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)
131	4	J3	0,6561	12,0
130	4	SB	0,6561	25,0
132	4	SB	0,6561	35,0
133	4	J3	0,5226	29,0
134	4	J3	0,5226	32,0

Tabelle 3. - 19 Beschuss von Kunstknochen mit dem Compound

Bei Nr.131 handelte es sich um einen Volltreffer mit einer Jagdspitze. Der glatte Bruch des Kunstknochens weist einen deutlichen Biegungskeil auf. Gerade dieser Biegungskeil verdeutlicht, dass die geringe Geschwindigkeit des Pfeils nicht die zerschmetternde Energie eines Feuerwaffenprojektils hat.



Abb. 3.-2. Kunstknochen: Schussbruch mit Biegungskeil durch Jagdspitze (Pfeil Nr. 131)

Ein vergleichbarer Treffer mit einer Feldspitze verursachte eine Radiärfraktur auf der Einschussseite und einen angedeuteten Biegungskeil auf der Ausschussseite.



Abb. 3.-3. Kunstknochen: Schussbruch mit Radiärfraktur und Biegungskeil durch Feldspitze  
(Pfeil Nr. 130)

Eine Jagdspitze sprengte ein 5 x 2,5 cm großes Fragment aus dem Kunstschaft und verursachte einen 2,5 x 1 cm großen Defekt der "Markhöhle". Am Grunde des Schaftdefektes ist als Kerbe deutlich der Abdruck der Klinge zu erkennen. Er markiert beinahe die Winkelhalbierende zwischen den beiden weggesprengten Schaftfragmenten. Die Bruchlinie des größeren Fragmentes verläuft zunächst parallel zum Schaft um ihn ca. 2,5 cm von der Kerbe entfernt dann im rechten Winkel zu verlassen. Die Bruchlinie des kleineren Fragmentes verlässt den Schaft beinahe im Winkel von 45°. Der Schaft weist in diesem Bereich schuppige Absplitterungen auf.





Abb. 3.-4. Kunstknochen: Tangentialer Treffer mit Fragmentaussprengung  
(Pfeil Nr. 133)

Die Versuche wurden abgebrochen, da gegenüber den zuvor beim Schwein gewonnenen Erkenntnissen keine zusätzlichen Informationen gewonnen werden konnten.

### 3.2.3.4. Schraubenförmiger Schusskanal

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Bogentyp	S (g/mm <sup>2</sup> )	Schusskanal
80	8	EQ	LB	0,2647	Seitlicher Austritt mit schraubenförmigem Schusskanal

Tabelle 3. - 20 Schraubenförmiger Schusskanal

Als Zufallsbefund ist der tangentielle Treffer eines Seifenblockes mit einer Halbmondspitze zu werten: Die Pfeilspitze vollführt vom horizontalen Einschuss in den Seifenblock bis zum Stop in vertikaler Position eine 90°-Rotation. Es dürfte das erste Mal sein, dass ein schraubenförmiger Schusskanal dokumentiert werden konnte. Ob dieser Schusskanal Folge der im Zielobjekt fortgesetzten Pfeilrotation während des Fluges oder Folge des Zusammenwirkens von Pfeilspitze und Zielobjekt (Einschusswinkel, Spitzenasymmetrie...) ist, kann nicht beurteilt werden.



Abb. 3.-5. Halbmond in Seife: Schraubenförmiger Schusskanal  
(Pfeil Nr. 80)

### 3.2.4. Synopse der Experimente in Simulantien zur Penetration/Morphologie

In den Versuchen zur Penetration konnte eine gute Korrelation zwischen Energiedichte und Penetrationstiefe nachgewiesen werden. Gelatine wurde deutlich tiefer penetriert als Seife, ähnliche oder gleiche Pfeilspitzen drangen in die unterschiedlichen Medien ähnlich gut ein.

Bogen	Spitze	Form	Masse (g)	$V_{\max}$ (m/s)	$E_0$ (J)	S (g/mm <sup>2</sup> )	$E'$ (J/mm <sup>2</sup> )	Pd <sub>S</sub> (cm)	Pd <sub>G</sub> (cm)
LB <sup>1</sup>	(EQ)	scharf	34,5	42,97	31,88	0,3420	315,74	10,37	
LB <sup>1</sup>	(EQ)	scharf	34	42,85	31,25	0,29	265,04		18,0
LB <sup>2</sup>	MB	stumpf	31	45,43	31,99	0,6167	636,40	13,0	
LB <sup>2</sup>	(NB)	scharf/spitz	36,5	42,52	32,95	0,4102	371,29		23,5
LB <sup>3</sup>	(ND)	spitz	37	42,30	33,04	0,3860	345,33	14,33	
LB <sup>3</sup>	MB	stumpf	31	46,0	32,80	0,6167	652,47		25,0
AB	J3	scharf	32	47,37	35,89	0,4180	468,98	10,17	
AB	J3	scharf	32	47,1	35,53	0,4180	463,65		21,87
AB	SB	stumpf	30	47,7	34,13	0,5047	574,17	11,5	
AB	SB	stumpf	30	47,5	33,79	0,5047	569,36		26,83
CB	J3	scharf	40	66,27	87,82	0,5226	1147,55	17,83	
CB	J3	scharf	40	64,85	84,12	0,5226	1098,90		30,58
CB	SB	stumpf	39	67,33	88,43	0,6561	1487,16	22,33	
CB	SB	stumpf	39	66,38	85,99	0,6561	1445,48		42,67*

Tabelle 3. - 21 Penetration in Seife Pd<sub>S</sub> und Gelatine Pd<sub>G</sub>

(Mittelwerte, sortiert nach Pd; \*=inkl. Ausschussstrecke)

### **3.3. Schussversuche an toten Schweinen**

Die Schweinekadaver wurden mit 72 Pfeilen (Nr. 1-72) beschossen. Die Pfeile Nr. 16, 17 und 18 (Langbogen, 30m, Feuersteinspitzen) waren Fehlschüsse und wurden deshalb nicht weiter berücksichtigt. Die Anzahl der Treffer reduziert sich daher auf n= 69.

Nr. 51 und 53 (Compound, 8 bzw. 30 m) waren zwar Treffer, die Umstände (Bogensehne wurde durch den Armschutz gebremst) erlaubten aber keine Auswertung bezüglich der Penetrationstiefe. Aus ähnlichem Grund wurde Nr. 27 (Durchschuss beider Vorderläufe) als Sonderfall (4 x Hautpenetration, 2 Wundkanäle) aus dieser Auswertung herausgenommen. Wegen lückenhafter Dokumentation musste Nr. 54 (Compound 8m) komplett aus der Auswertung genommen werden. Somit reduziert sich n auf 68 Fälle, davon 3 Sonderfälle.

Prinzipiell muss sowohl bezüglich der Penetration als auch bezüglich der Morphologie zwischen Weichteiltreffern (gerader Wundkanal, hohe Penetranz) und Knochentreffern (u.U. geknickter Wundkanal, u.U. niedrigere Penetranz) unterschieden werden. Aus praktischen Gründen werden Weichteil- und Knochentreffer daher getrennt behandelt.

### 3.3.1. Penetration bei Weichteiltreffern

Als Weichteiltreffer sind solche Treffer zu verstehen, bei denen der Pfeil nicht durch Knochenkontakt gestoppt, abgebremst oder abgefälscht wurde. Die Wundkanäle zeichnen sich durch Geradlinigkeit und relativ höhere Penetrationstiefen aus.

#### 3.3.1.1. Langbogen

Insgesamt 29 von den mit dem Langbogen verschossenen Pfeilen erfüllten das Kriterium "reiner Weichteiltreffer". Die Penetrationstiefe lag zwischen 0 und 60 Zentimetern, wobei 3 Abpraller (A), 26 Steckschüsse (S) und 2 Durchschüsse (D) zu beobachten waren.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	S (g/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)	Trefferregion	A*	S*	D*
4	8	0	19,5	0,3879	0	Abdomen	1	0	0
6	8	HB	46	0,106	0	Abdomen	1	0	0
38	30	SA	33	0,2918	0	Abdomen	1	0	0
10	15	KD	23	0,2141	3	Kopf	0	1	0
8	8	KB	30	0,2939	8	Abdomen	0	1	0
12	8	FD	25	0,153	15	Hinterlauf	0	1	0
68	8	MB	31	0,6167	17	Thorax	0	1	0
1	8	MB	30	0,5968	17,5	Keule	0	1	0
5	8	0	15,0	0,2984	17,5	Abdomen	0	1	0
60	8	KD	30	0,2126	18,5	Abdomen	0	1	0
62	8	EQ	35	0,2402	19,5	Rücken	0	1	0
23	8	EQ	34	0,2647	20	Abdomen	0	1	0
14	15	FD	27	0,1697	21	Hals	0	1	0
13	8	FQ	22	0,2409	21,5	Becken	0	1	0
9	8	KD	32	0,2206	25	Thorax	0	1	0
59	8	KD	24	0,2474	26	Abdomen	0	1	0
29	8	NB	39,5	0,4561	26,5	Thorax	0	1	0
64	8	SD	38	0,4388	28	Abdomen	0	1	0
19	30	FQ	20	0,2834	28,5	Abdomen	0	1	0
34	30	ND	43	0,484	30	Hinterlauf	0	1	0
24	15	EQ	33	0,2207	31	Thorax	0	1	0
22	30	ED	42	0,3858	31	Keule	0	1	0
61	8	BD	34	0,3764	31,5	Thorax/Abdomen	0	1	0
33	15	ND	43	0,4603	31,5	Abdomen	0	1	0
65	8	ND	41	0,4389	33	Thorax	0	1	0
66	8	NB	36	0,4238	34,7	Abdomen	0	1	0
32	8	ND	39	0,404	44	Abdomen	0	1	0
26	8	BB	34	0,354	58,5	Thorax	0	1	1
25	30	EQ	38	0,265	60	Abdomen	0	1	1

Tabelle 3. - 22 Penetration im Schweinekadaver mit Langbogen

A\* = Abpraller; S\* = Steckschuss; D\* = Durchschuss

Pfeil Nr. 4 in Tabelle 3-21 verfügte weder über eine Spitze noch über eine Befiederung (Rohschaft): Jeder Stabilisierung beraubt legte er sich unmittelbar nach dem Verlassen des Bogens quer, traf das Schwein mit seiner Breitseite und fiel zu Boden. Bei Pfeil Nr. 8 handelte es sich um den Nachbau einer steinzeitlichen Blunt-Spitze. Diese rohrkolbenartige Pfeilspitze hatte die mit Abstand niedrigste Querschnittsbelastung (~0,1 g/mm<sup>2</sup>) und nicht genügend Energie, den Hautwiderstand zu durchbrechen. Dieses Verhalten überraschte nicht, sollte doch diese Spitze bei der Jagd auf Kleinwild

eine Penetration und damit unnötige Beschädigung der Beute verhindern. Auch Nr. 38, der eigentlich als Signalpfeil benutzte "Singing Arrow", zeigte trotz relativ hoher Querschnittsbelastung dank der stumpfen Spitze das gleiche Blunt-Verhalten wie Nr.8.

Pfeil Nr. 10, ein Treffer ins Schweinsohr mit einer dreieckigen Knochenspitze, zeigt deutlich, wie zäh und derb die Schweinehaut ist: Bei lediglich 3 cm Penetrationstiefe kam es nicht zum Ausschuss. Hier mag aber auch die Konsistenz des Ohrknorpels sowie die nachgiebige Aufhängung des Schweineohres einen Beitrag zur reduzierten Penetration geleistet haben.

Eine Knochen-Bullet-Spitze (Nr. 8,  $S = 0,2939 \text{ g/mm}^2$ ) drang mit 8 cm nur wenig in das Abdomen ein, eine scharfe Flint-Spitze mit deutlich geringerer Querschnittsbelastung ( $S = 0,153 \text{ g/mm}^2$ ) mit 15 cm aber beträchtlich tief in die Muskulatur des Hinterlaufes.

Nr. 68 und Nr. 1, stumpfe Scheibenspitzen mit der mit Abstand höchsten Querschnittsbelastung, ( $S \sim 0,6 \text{ g/mm}^2$ ) penetrieren mit 17 bzw. 17,5 cm in Thorax und Hinterlauf und lagen damit im unteren Drittel der mit dem Langbogen erzielten Penetrationstiefen.

Nr. 5, ein befiederter Schaft ohne Spitze, zeigte im Gegensatz zum Rohschaft Nr.4 stabiles Flugverhalten und drang bei einer Querschnittsbelastung von lediglich  $0,2984 \text{ g/mm}^2$  erstaunliche 17,5 cm in das Abdomen ein. Ähnliche Pfeile, von Kindern mit leichteren Bögen benutzt, können Augenverletzungen und transorbitale Gehirnverletzungen verursachen (siehe 1.4. Kasuistik).

Die nun folgenden 20 Pfeile zeichnen sich entweder durch ihre Schärfe, ihre Spitzigkeit oder ihre relativ hohe Querschnittsbelastung aus. Unter den Pfeilspitzen dieser Gruppe finden sich keine stumpfen Bullet-Formen mehr, sie besteht ausschließlich aus schneidenden Jagd- und Kriegsspitzen und den spitzen, panzerbrechenden Bodkin-Spitzen.

Die Pfeile Nr. 60 bis 59 in Tabelle 3. - 22 waren mit schneidenden Spitzen ausgerüstet und erzielten bei einer Querschnittsbelastung zwischen  $0,1697$  und  $0,2474 \text{ g/mm}^2$  Penetrationstiefen zwischen 18,5 und 26 cm. Zwischen 26,5 und 31 cm penetrierten die Pfeile Nr. 29 bis 61, eine gemischte Gruppe von Jagd- und Bodkin-Spitzen mit einer Querschnittsbelastung von  $\sim 0,45 \text{ g/mm}^2$  für die Bodkins und  $0,22$  bis  $0,38 \text{ g/mm}^2$  für die Jagdspitzen. Die folgende reine Bodkin-Gruppe (Nr. 33-32) mit  $S$  zwischen  $0,4$  und  $0,6 \text{ g/mm}^2$  drangen zwischen 31,5 und 44,0 cm ein, wobei Querschnittsbelastung und Penetrationstiefe sich hier umgekehrt proportional verhielten.

Bei den beiden Spitzen mit der größten Eindringtiefe, Nr. 26 und 25, handelt es sich wieder um schneidende Jagdspitzen. Hier wurde sowohl der Thorax als auch das Abdomen komplett durchschossen, beide Pfeile drangen bis zur Befiederung ein.

Die unterschiedlichen Distanzen drückten sich nicht in entsprechend unterschiedlicher Penetration aus. Ein großer Teil der relativ geringen Penetrationstiefen wurde auf kurze Distanz erzielt, mittlere Penetrationsergebnisse wurden auf allen Distanzen erreicht, die mit Abstand größte Penetrationstiefe wurde auf maximaler Distanz erzielt.

### **3.3.1.2. Compound**

Mit dem Compound wurden, abgesehen von den aus der Wertung fallenden Nr. 51 und 53 (s.o.), 5 reine Weichteiltreffer erzeugt. Es gab keine Abpraller, dafür aber 4 Durchschüsse, davon 1 sog. "Pass-Through", ein kompletter Durchschuss, bei dem der Pfeil den Körper auf der Gegenseite wieder verließ.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	S (g/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)	Trefferregion	A*	S*	D*
58	30	SB	39	0,6561	34 (+22)	Thorax	0	1	1
57	8	SB	39	0,6561	37 (+3,5)	Thorax/Abdomen	0	1	1
52	8	SB	35	0,5888	40,5 (+8)	Thorax	0	1	1
70	8	J3	37	0,4834	43	Schulter	0	1	0
71	8	J3	37	0,4834	82+	Abdomen	0	0	1

Tabelle 3. - 23 Penetration im Schweinekadaver mit Compound

A\* = Abpraller; S\* = Steckschuss; D\* = Durchschuss

Die mit den Scheibenpfeilen erzielten Treffer (Durchschüsse) weisen eine Penetrationstiefe zwischen 34 und 40,5 cm auf. Addiert man jedoch - wie schon bei den Simulantien praktiziert - die Ausschusstrecken (+x) zur Penetrationstiefe resultieren 41,5 cm für Nr. 57, 48,5 cm für Nr. 52 und 56cm für Nr. 58.

Die Jagdspitzen drangen mit 43 und 82 cm tief und sehr tief ein, wobei die 82 cm für die komplette Pfeillänge stehen. Der "Pass-Through" steckte im Pfeilfang, einer 9 cm dicken Ethafoam®-Platte, hatte also noch genügend Energie, auch dieses Material zu penetrieren.

### 3.3.1.3. Armbrust

Nur 3 Pfeile erfüllten hier die erforderlichen Kriterien.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Masse (g)	S (g/mm <sup>2</sup> )	Pd (cm)	Trefferregion	A*	S*	D*
41	30	SB	30	0,5047	12	Abdomen	0	1	0
39	8	SB	30	0,5047	17	Thorax	0	1	0
44	30	J3	32	0,418	20	Wirbelsäule	0	1	0

Tabelle 3. - 23 Penetration im Schweinekadaver mit Armbrust

A\* = Abpraller; S\* = Steckschuss; D\* = Durchschuss

Es fällt aber auf, dass die aus 30 Metern geschossene Jagdspitze mit deutlich niedrigerer Querschnittsbelastung als die Scheibenspitze fast doppelt so tief penetrierte wie die auf gleiche Distanz (Nr. 41) geschossene und tiefer als die auf wesentlich kürzere Distanz geschossene SB-Scheibenspitze (Nr. 39). Hier besteht also zumindest kein Widerspruch zu den mit Langbogen und Compound gewonnenen Ergebnissen.

### 3.3.2. Penetration bei aufgesetzten Schüssen

Mit der Armbrust wurden einige aufgesetzte Schüsse abgegeben wie sie z.B. bei Suiziden oder Jagdunfällen, aber auch bei Tötungsdelikten vorkommen können. Hierbei wurde teilweise der Fußbügel der Armbrust zurückgeklappt, so dass die Pfeilspitze in unmittelbaren Hautkontakt kam.

Nr.	Distanz (m)	Spitze	Pd (cm)	S*	Trefferregion	Einschusswunde	Weichteilverletzungen
45	0,06 <sup>1</sup>	SB	19	1	Schinken	rund	Muskulatur
46	0,06	J3	30	1	Schinken	3-lappig	Muskulatur
47	0 <sup>2</sup>	SB	0	0	Schädel	punktförmig rund	Kopfschwarte
48	0	SB	2,5	1	Auge	rund	Auge
49	0	J3	34,5	1	Thorax	3-lappig	Lunge
50	0,06	J3	22,5	1	Thorax	3-lappig	Lunge

Tabelle 3. - 24 Aufgesetzter Schuss mit Armbrust

1: Fußbügel ausgeklappt; 2: Fußbügel zurückgeklappt; S\* =Steckschuss

Die laut Literatur typische Jagdverletzung, die beim Pirschen zugezogene Stich- bzw. Schussverletzung in den Oberschenkel, wurde mit zwei aufgesetzten Schüssen (Feld- und Jagdspitze) simuliert. Die jeweilige Penetrationstiefe war mit 19 und 30 cm beeindruckend, die Wundkanäle entsprachen bei reiner Weichteilverletzung der Stirnfläche der Pfeile. Die 30 cm lange, klaffende Verletzung der Muskulatur mit der dreiflügeligen Jagdspitze resp. die mit ihr verbundene massive Blutung würde auch bei sofortiger chirurgischer Behandlung ernsthafte Probleme aufwerfen; in ruraler Umgebung dürfte eine derartige Verletzung nur schwer zu überleben sein. Die deutlich weniger tiefe Verletzung mit der Scheibenspitze hingegen würde zwar dramatisch wirken, wäre aber als eher harmlose Pfählungsverletzung mit (Teil-) Tamponade durch den Pfeilschaft einzustufen. Auffällig ist aber auch hier, dass die Jagdspitze doppelt so tief eindringt wie die Scheibenspitze, und dies bei Ausschluss aller sonstigen Variablen!



Abb. 3.-6. Aufgesetzter Schuss: Ausführung mit aufgesetztem Fußbügel.

(Pfeil Nr. 45)

Aufgesetzte Schüsse auf den Thorax durchschnitten die Rippen, drangen tief in den Thorax ein (22,5 bzw. 34,5 cm) und verursachten der Pfeilspitze (J3) entsprechende Läsionen der Weichteile und der Lungen (siehe 3.4. Morphologie).





Abb. 3.-7. Aufgesetzter Schuss: Eindringen in den Thorax bis zur Befiederung.  
(Nr. 50)

### **3.3.3. Penetration bei Knochentreffern**

#### **3.3.3.1. Langbogen**

Bei den Treffern mit Knochenbeteiligung gibt es keine Abdominaltreffer, die Penetrationstiefen sind im Vergleich zu reinen Weichteiltreffern niedriger und werden vor allem durch massive Knochen (Oberschenkel, Schulterblatt, Wirbelsäule) limitiert. Schlanke Spitzen (FQ, ED) dringen über den Zwischenrippenraum auch nach Knochenkontakt tief in den Thorax ein oder werden erst auf der Gegenseite gestoppt (Nr.42, 30).



Nr.	Distanz (m)	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen:
36	15	MB	3	Thorax	Rippe
37	30	MB	4	Rücken	Wirbelsäule
31	30	NB	9	Hinterlauf	Femur
2	15	MB	11	Schulter	Schulterblatt
67	8	NB	11	Schulter	Schulterblatt
7	8	KB	11	Rücken	Wirbelsäule
35	8	MB	12	Rücken	Wirbelsäule
11	30	KD	12,5	Rücken	Wirbelsäule
3	30	MB	14	Rücken	Wirbelsäule
21	15	ED	14,5	Rücken	Wirbelsäule
28	30	BD	16,5	Hals	Wirbelsäule
15	15	FQ	21,5	Thorax	Rippe
20	8	ED	32,5	Thorax	Rippe
63	8	ED	42	Thorax	Rippe (Gegenseite)

Tabelle 3. - 25 Schwein: Weichteiltreffer mit Knochenbeteiligung mit Langbogen

Als Sonderfälle imponieren hier Nr. 30, ein Bodgkin, der den Thorax passierte und von einer Rippe auf der Gegenseite gestoppt wurde: Leider haben wir hier versäumt, die Penetrationstiefe festzuhalten, sie dürfte aber vergleichbar sein mit Nr. 63 (42 cm), die ebenfalls von einer Rippe auf der Gegenseite gestoppt wurde.

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen:
30	15	LB-LD*	NB	?	Thorax	Rippe Gegenseite
27	15	LB-SF*	BD	(41)	bd. Vorderläufe	

Tabelle 3. - 26 Schwein: Weichteiltreffer mit Langbogen, Sonderfälle

LD\* = lückenhafte Dokumentation; SF\* = Sonderfall

Nr. 27 durchschoss ohne Knochenbeteiligung beide Vorderläufe, drang somit bei einer Gesamtlänge von 75 cm auf einer Strecke von 41 cm in das Schwein ein. Die so entstehenden 2 Wundkanallängen waren natürlich bedeutend kürzer, wurden von uns aber nicht erfasst. Bemerkenswert an diesem Pfeil ist die Tatsache, dass die Schweineschwarte viermal durchbohrt wurde.

### 3.3.3.2. Compound

Auch beim Compound blieben die Penetrationstiefen nach Knochenkontakt deutlich hinter denen der reinen Weichteiltreffer zurück, solide Knochen stoppten den Pfeil. Nr. 56 spaltete den Hüftkopf und hatte danach noch genügend Energie, um die Haut auf der Gegenseite zu durchdringen. Drei Jagdklingen drangen tiefer ein als eine Scheibenspitze.

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen:
69	8	CB	SB	14	Hüfte	Hüfte
55	15	CB	J3	21	Thorax/Abdomen	Wirbelsäule
72	8	CB	J3	21	Hinterlauf	Femur
56	30	CB	J3	24 (+x)	Hüfte	Hüftkopf

Tabelle 3. - 27 Schwein: Weichteiltreffer mit Knochenbeteiligung mit Compound

### 3.3.3.3. Armbrust

Bei der Armbrust fällt zunächst auf, dass auch bei den Knochentreffern die Jagdspitze J3 immer tiefer eindringt als die Scheibenspitze. Rippen stellen im Gegensatz zu massiven Knochen (Schädel, Schulterblatt, Wirbelsäule) kein wesentliches Penetrationshindernis dar.

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen:
48	0	AB	SB	2,5	Auge	Schädel
40	15	AB	SB	14,5	Schulter	Schulterblatt
43	15	AB	J3	19	Wirbelsäule	Wirbelsäule
50	0,02	AB	J3	22,5	Thorax	Rippe
42	8	AB	J3	29	Thorax	Rippe
49	0	AB	J3	34,5	Thorax	Rippe

Tabelle 3. - 28 Schwein: Weichteiltreffer mit Knochenbeteiligung mit Armbrust

### 3.3.4. Zusammenfassung Penetration Schweine

Die Ergebnisse der Penetrationsversuche am Schwein zeigten aufgrund der Inhomogenität der Zielobjekte im Vergleich zu Simulantien eine größere Varianz. Im Gegensatz zu den Simulantien konnte aber festgestellt werden, dass scharfe und spitze Jagd- und Kriegsspitzen im Gewebe eines Lebewesens tiefer penetrieren als "stumpfe" Scheibenspitzen. Knochen stellten in Abhängigkeit von Form und Stärke ein Penetrationshindernis dar.

### 3.3.5. Wundmorphologie

Es konnten 66 Einschusswunden und 9 Ausschusswunden erzeugt werden, wobei Nr.27 (LB-SF = Sonderfall) durch beidseitige Perforation der Vorderläufe jeweils 2 Wunden zu jeder Gruppe beisteuerte. Die Form der Ein- und Ausschusswunden wurde rein deskriptiv festgehalten und teilweise fotografisch dokumentiert. Eine Ausmessung der Defekte fand nicht statt.

### 3.3.5.1. Einschusswunden

Der Vollständigkeit halber wurden auch die nicht penetrierenden Pfeile (Nr. 4 - Rohschaft, Nr. 6 und 38 - Blunt) in Tabelle 3-29. aufgenommen: Rohschaft Nr.4 richtete zwar keinen Schaden an, die Anbringung einer Befiederung (Nr.5) reichte aber aus, um eine tiefe Penetration zu bewirken. Zwar war an den toten Schweinen keine vitale Reaktion mehr wahrzunehmen, auf Kleintiere hätten die Blunt-Treffer Nr. 6 und 38 aber auch ohne Penetration tödlich gewirkt, ein Mensch hätte vermutlich eine schwere Prellung erlitten, bei unglücklichem Verlauf auch ernsthaftere Schäden (Contusio cordis, transorbitale Gehirnverletzung).

Nr.	Bogen	Spitze	Einschusswunde	Nr.	Bogen	Spitze	Einschusswunde
4	LB	0	0	1	LB	MB	rund
6	LB	HB	0	2	LB	MB	rund
38	LB	SA	0	3	LB	MB	rund
				5	LB	0 <sup>1</sup>	rund
42	AB	J3	3-lappig	7	LB	KB	rund
43	AB	J3	3-lappig	8	LB	KB	rund
44	AB	J3	3-lappig	10	LB	KD	rund
46	AB	J3	3-lappig	11	LB	KD	rund
49	AB	J3	3-lappig	19	LB	FQ	rund
50	AB	J3	3-lappig	29	LB	NB	rund
55	CB	J3	3-lappig	30	LB	NB	rund
56	CB	J3	3-lappig	31	LB	NB	rund
70	CB	J3	3-lappig	32	LB	ND	rund
71	CB	J3	3-lappig	34	LB	ND	rund
72	CB	J3	3-lappig	35	LB	MB	rund
				36	LB	MB	rund
9	LB	KD	länglich kurz	37	LB	MB	rund
13	LB	FQ	länglich kurz	39	AB	SB	rund
15	LB	FQ	länglich kurz	40	AB	SB	rund
20	LB	ED	länglich kurz	41	AB	SB	rund
21	LB	ED	länglich kurz	45	AB	SB	rund
22	LB	ED	länglich kurz	48	AB	SB	rund
33	LB	ND	länglich kurz	51	CB	SB	rund
59	LB	KD	länglich	52	CB	SB	rund
60	LB	KD	länglich	53	CB	SB	rund
61	LB	BD	länglich	57	CB	SB	rund
62	LB	EQ	länglich	58	CB	SB	rund
63	LB	ED	länglich	64	LB	SD	rund
12	LB	FD	länglich lang	65	LB	ND	rund
14	LB	FD	länglich lang	66	LB	NB	rund
23	LB	EQ	länglich lang	67	LB	NB	rund
24	LB	EQ	länglich lang	68	LB	MB	rund
26	LB	BB	länglich lang	69	CB	SB	rund
27	LB-SF	BD	länglich lang	47	AB	SB	rund punktförmig
28	LB	BD	länglich lang	<sup>1</sup> Nr.5 = befiederter Rohschaft ("Kinderpfeil")			
25	LB	EQ	länglich ultralang				

Tabelle 3. - 29 Morphologie der Einschusswunden

Bei den Einschusswunden waren im Wesentlichen 3 Formen zu unterscheiden: 3-lappige, längliche und rundliche. Die dreiflügeligen Jagdspitzen produzierten immer 3-lappige Einschusswunden. Keine andere Pfeilspitze erzeugte ähnliche Verletzungen. Gewebebrücken in der Tiefe der Haut wie bei Platzwunden konnten nicht nachgewiesen werden, es handelte sich immer um klar definierte und scharf begrenzte mehrstrahlige Stichverletzungen, bei denen Pfeilspitze und Größe der Hautläsion nahezu exakt korrespondierten. Eine über die Größe der Pfeilspitze wesentlich hinausgehende Verletzung war nicht zu beobachten.



Abb. 3.-8. Dreilappiger Einschuss mit dreiflügeliger Jagdspitze

Bei den länglichen Einschusswunden war eine gewisse Variabilität bezüglich der Größe festzustellen, die aber mit der Größe der jeweiligen Spitzen gut in Einklang zu bringen war.



Abb. 3.-9. Länglicher Einschuss mit schneidender Spitze

Die gesamte Gruppe bestand aus Pfeilen mit schneidender Spitze bis auf eine Ausnahme: Nr. 33, ein norddeutscher Bodkin. Der weidenblattartigen Spitze dieses Pfeils können aber neben der primär spießenden Funktion durchaus auch schneidende Eigenschaften zugesprochen werden. Die Schneiden der von uns benutzten ND-Bodkins waren jedoch, im Gegensatz zu den Spitzen, nicht geschliffen sondern "ambossstumpf". Aus dem Rahmen fiel der durch Nr. 25 (Halbmond) hervorgerufene Treffer: Ein klaffender, ultralanger, die Größe der Spitze deutlich überschreitender Einstich. Hier mag - wie auch bei Pfeil Nr. 33 - der Verlauf der Hautspaltlinien eine Rolle gespielt haben. Bemerkenswert ist hier auch, dass die Schweineborsten glatt abrasiert wurden und ein wenig über den Wundrand ragten.

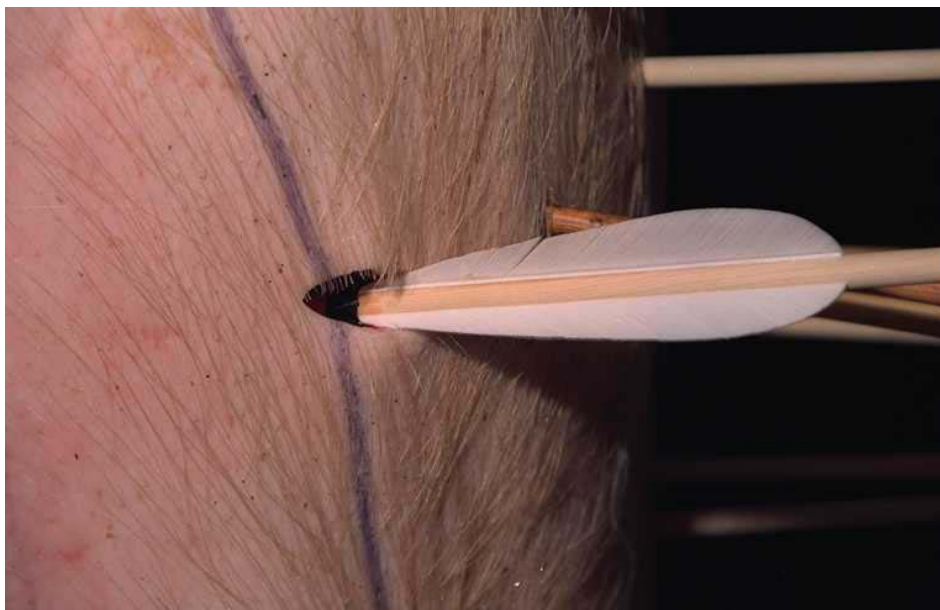


Abb. 3.-10. Ultralange Einschusswunde mit Halbmond  
(Pfeil Nr. 25)

Bei den runden Einschusswunden, bei denen sich das Gewebe regelrecht an den Schaft anschmiegte, handelte es sich entweder um Feldspitzen (Bullet-Points) oder um Bodkins, deren Stirnfläche durch die mächtige Hülse sowieso den Schaft überragte.



Abb. 3.-11. Runde Einschusswunde  
(Bei 2 Uhr J3-Einschuß)

Allerdings produzierten auch der "Kinderpfeil" (Nr. 5) ohne Spitze, zwei dreieckige Knochenspitzen (Nr. 10 und 11), ein Flint-Querschneider (Nr. 19) und eine dreieckige, mittelalterliche Jagdspitze mit ausgeprägten Klingen (Nr. 64) rundliche Einschusslöcher. Bis auf die Jagdspitze Nr. 64 fällt es bei Betrachtung der entsprechenden Stirnflächen nicht schwer, eine runde Form der Einschusslöcher zu erklären: Die Schneiden, wenn vorhanden, überragen kaum das Niveau des Schaftes.

### 3.3.5.2. Ausschusswunden

Ausschusswunden konnten beim Langbogen und beim Compound beobachtet werden, nicht aber bei der Armbrust.

Nr.	Bogen	Spitze	Einschusswunde	Ausschusswunde
56	CB	J3	3-lappig	3-lappig
71	CB	J3	3-lappig	3-lappig
26	LB	BB	länglich lang	länglich lang
27	LB-SF	BD	länglich lang	länglich lang
25	LB	EQ	länglich ultralang	länglich lang
52	CB	SB	Rund	rund
57	CB	SB	Rund	rund
58	CB	SB	Rund	rund

Tabelle 3. - 30 Morphologie der Ausschusswunden

Tabelle 3-30 zeigt, dass Ein- und Ausschusswunden sich in Form und Größe in der Regel nicht unterscheiden. Als Ausnahme imponiert hier Nr. 25, die schon im vorhergehenden Abschnitt durch die exzessive Einschusswunde auffiel. Nr. 27 steuerte auch hier jeweils 2 Ergebnisse bei, wobei Ein- und Ausschusswunden nahezu identisch imponierten.

### 3.3.5.3. Weichteil- und Knochenverletzungen

Bei der Auswertung der Weichteiltreffer wurden zusätzlich auch die Abpraller Nr. 4, 6 und 38 ausgesondert, da hier Gewebeveränderungen nicht nachgewiesen werden konnten. Nr. 47, ein aufgesetzter Armbrustschuss mit Scheibenspitze, wurde als Abpraller nicht ausgeschlossen, da eine punktförmige Läsion der Kopfschwarte vorlag. Es resultierten 65 Fälle von Weichteiltreffern, wobei in 25 dieser Fälle auch Knochenbeteiligung vorlag. Im Folgenden werden die Ergebnisse knapp in tabellarischer Form dargestellt, anschließend folgt die exemplarische Darstellung und Bewertung einiger Befunde auf der Basis von in-situ- und Präparat-Fotografien

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Weichteile
27	15	LB-SF	BD	(41)	bd. Vorderläufe	Muskulatur
10	15	LB	KD	3	Kopf	Ohrknorpel
8	08	LB	KB	8	Abdomen	Bauchdecke
12	08	LB	FD	15	Hinterlauf	Muskulatur
68	08	LB	MB	17	Thorax	Lunge
5	08	LB	0	17,5	Abdomen	Bauch
60	08	LB	KD	18,5	Abdomen	Leber
62	08	LB	EQ	19,5	Rücken	Muskulatur
23	08	LB	EQ	20	Abdomen	Dünndarm, Dickdarm
14	15	LB	FD	21	Hals	Muskulatur
13	08	LB	FQ	21,5	Becken	Muskulatur
9	08	LB	KD	25	Thorax	Lunge
59	08	LB	KD	26	Abdomen	Dickdarm
29	08	LB	NB	26,5	Thorax	Lunge
64	08	LB	SD	28	Abdomen	Dünndarm
19	30	LB	FQ	28,5	Abdomen	Bauch
34	30	LB	ND	30	Hinterlauf	Muskulatur
22	30	LB	ED	31	Keule	Muskulatur
24	15	LB	EQ	31	Thorax	Muskulatur
33	15	LB	ND	31,5	Abdomen	Dünndarm, Dickdarm
61	08	LB	BD	31,5	Thorax/Abdomen	Leber, Lunge
65	08	LB	ND	33	Thorax	Leber, Magen
66	08	LB	NB	34,7	Abdomen	Leber, Dickdarm
32	08	LB	ND	44	Abdomen	Dünndarm, Dickdarm
26	08	LB	BB	58,5	Thorax	Lunge
25	30	LB	EQ	60	Abdomen	Leber

Tabelle 3. - 31 Weichteilverletzungen Langbogen

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Weichteile
51	08	CB	SB	20,5	Thorax	Lunge
53	30	CB	SB	24	Rücken	Muskulatur
58	30	CB	SB	34 (+22)	Thorax	Muskulatur
57	08	CB	SB	37	Thorax/Abdomen	Dickdarm
52	08	CB	SB	40,5 (+8)	Thorax	Magen
70	08	CB	J3	43	Schulter	Mediastinum
71	08	CB	J3	82+	Abdomen	Dünndarm, Dickdarm

Tabelle 3. - 32 Weichteilverletzungen Compound

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Weichteile
41	30	AB	SB	12	Abdomen	Bauchdecke
39	08	AB	SB	17	Thorax	Lunge
45	0,06	AB	SB	19	Schinken	Muskulatur
44	30	AB	J3	20	Rücken	Muskulatur
46	0,06	AB	J3	30	Schinken	Muskulatur

Tabelle 3. - 33. Weichteilverletzungen Armbrust



Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen	Weichteile
36	15	LB	MB	3	Thorax	Rippe	Thoraxwand
37	30	LB	MB	4	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
31	30	LB	NB	9	Oberschenkel	Femur	Muskulatur
2	15	LB	MB	11	Schulter	li. Schulterblatt	Muskulatur
7	08	LB	KB	11	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
67	08	LB	NB	11	Schulter	Schulterblatt	Muskulatur
35	08	LB	MB	12	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
11	30	LB	KD	12,5	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
3	30	LB	MB	14	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
21	15	LB	ED	14,5	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
28	30	LB	BD	16,5	Hals	Halswirbelsäule	Muskulatur
15	15	LB	FQ	21,5	Thorax	Rippe	Lunge, Muskulatur
20	08	LB	ED	32,5	Thorax	Rippe	Lunge, Muskulatur
63	08	LB	ED	42	Thorax	Rippe – G!	Lunge (re.+ li.)
30	15	LB-LD	NB	?*	Thorax	Rippe - G!	Lunge

Tabelle 3. - 34 Weichteil- und Knochenverletzungen Langbogen

?\* = lückenhafte Dokumentation; G! = Gegenseite

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen	Weichteile
69	08	CB	SB	14	Hüfte	Hüfte	Muskulatur
55	15	CB	J3	21	Thorax/Abdomen	Wirbelsäule	Dünndarm, Dickdarm
72	08	CB	J3	21	Hinterlauf	Femur (Fraktur)	Muskulatur
56	30	CB	J3	24 (+)	Hüfte	Hüftkopf	Muskulatur

Tabelle 3. - 35 Weichteil- und Knochenverletzungen Compound

Nr.	Distanz (m)	Bogen	Spitze	Pd (cm)	Trefferregion	Knochen	Weichteile
47	0	AB	SB	0	Kopf	Schädel	Kopfschwarte
48	0	AB	SB	2,5	Kopf (Auge)	Schädel	Auge
40	15	AB	SB	14,5	Schulter	Schulterblatt	Muskulatur
43	15	AB	J3	19	Rücken	Wirbelsäule	Muskulatur
50	0,02	AB	J3	22,5	Thorax	Rippe	Lunge
42	08	AB	J3	29	Thorax	Rippe	Lunge
49	0	AB	J3	34,5	Thorax	Rippe	Lunge

Tabelle 3. - 36 Weichteil- und Knochenverletzungen Armbrust

Bei der Sektion der Schweinekadaver interessierten uns neben der Form der Wundkanäle natürlich auch die jeweils hervorgerufenen Organtraumata. Die Wundkanäle wurden daher, insbesondere in den mächtigen Muskelpaketen der Hinterhand und des Rückens, aufgeschnitten. Hierbei konnten keine über den direkten Kontakt mit der Pfeilspitze hinausreichenden Defekte beobachtet werden. Die Wundkanäle entsprachen denen von Stichverletzungen.

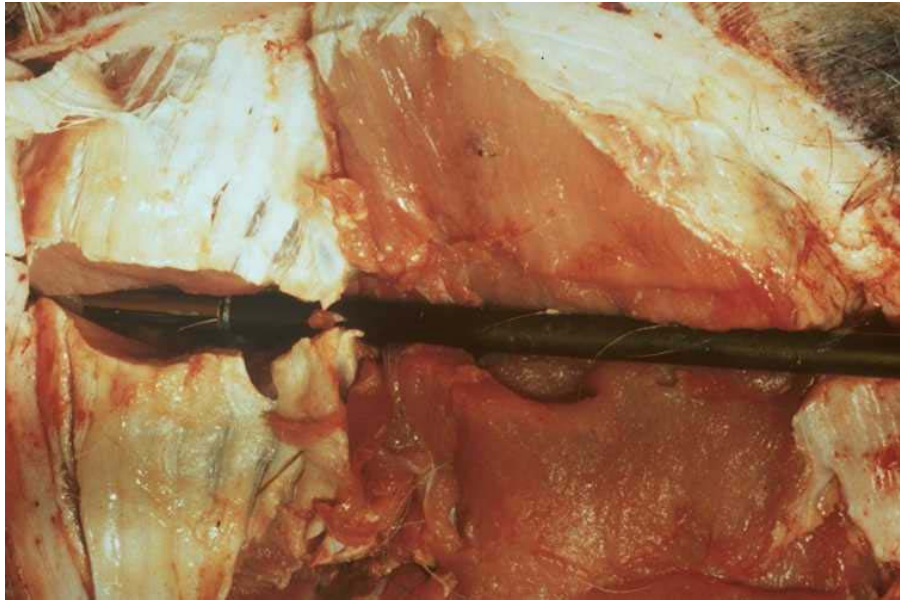


Abb. 3.-12 Wundkanal einer Jagdspitze in der Oberschenkelmuskulatur eines Schweines.  
(Pfeil Nr. 72, J3)

Nach der Eröffnung des Abdomens wurden zunächst die Ausschussverletzungen im Peritoneum untersucht.

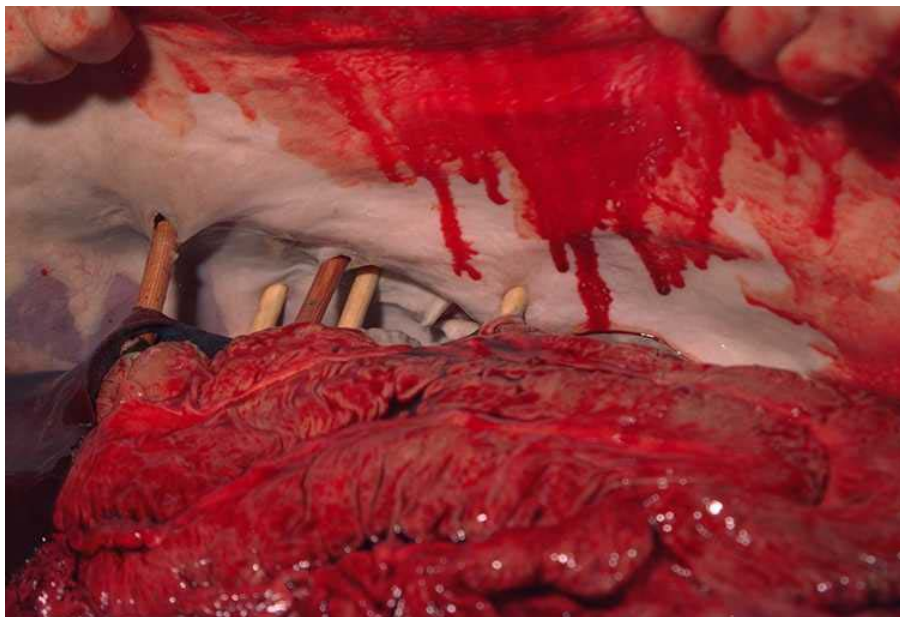


Abb. 3.-13. Ausschusswunden im Peritoneum.

Die im Peritoneum verursachten Defekte glichen den Einschusswunden in der Schwarte weitgehend. Auch die Verletzungen der inneren Organe zeigten weitestgehend diese auf der Spitzenform beruhende Konkordanz. An den Hohlorganen konnten wir so von Scheibenspitzen verursachte runde neben von Jagdspitzen verursachten längliche Verletzungen sehen, wobei sich z.B. die Magenwand eng an den perforierenden Schaft anschmiegte, der Schaft so den Defekt tamponierte. Aus den klaffenden länglichen Verletzungen trat entsprechend Darminhalt aus.

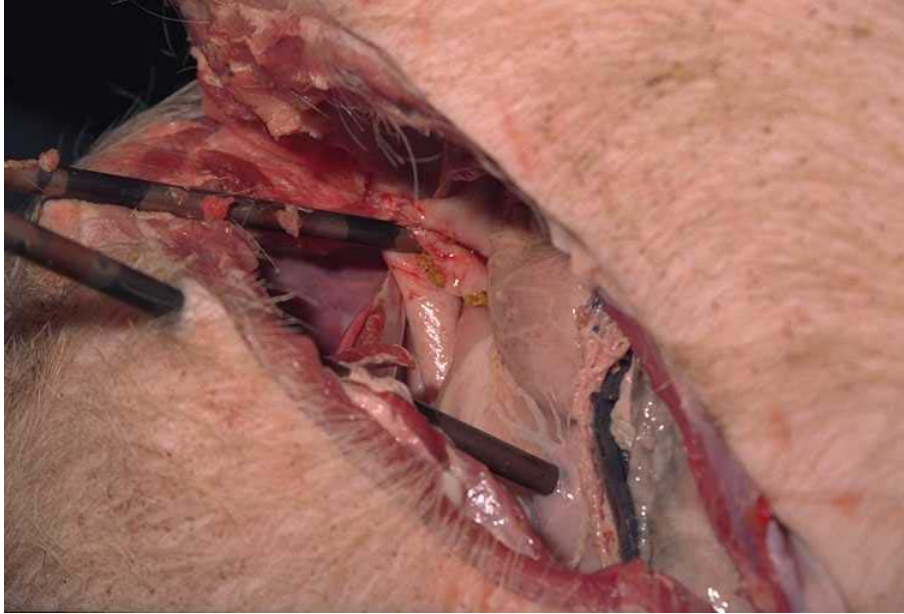


Abb. 3.-14. Magen- und Darmperforation mit Scheiben- und Jagdspitze.  
(Pfeile Nr. 52, SB + 55, J3)

Periphere Treffer des Darmes führten nicht zu dessen Verdrängung sondern zu teilweise weit klaffenden Läsionen der Darmwand bei Erhalt der Darmkontinuität.

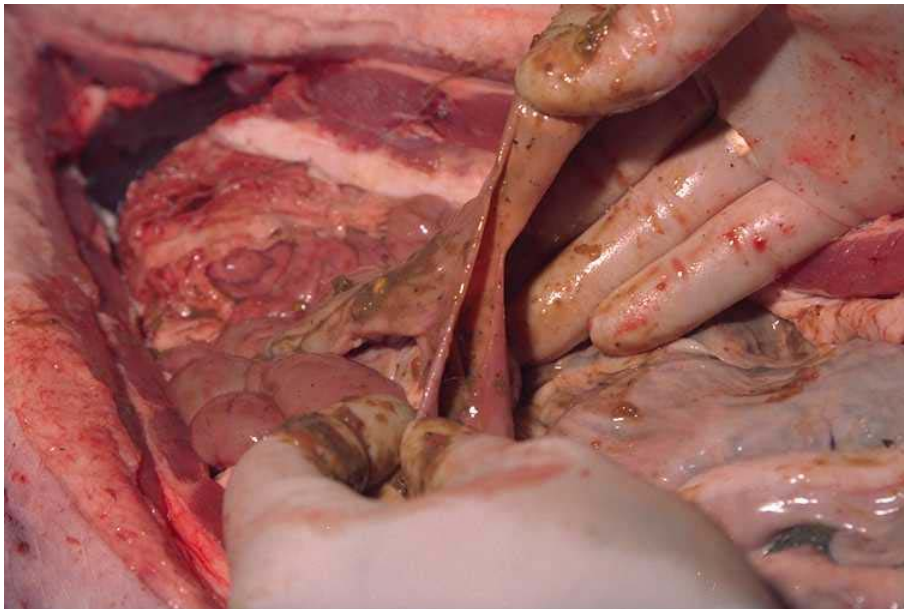


Abb. 3.-15. Fischmaulartiger Defekt der Darmwand nach Treffer mit schneidender Spitze

Auch die parenchymatösen Bauchorgane zeigten typische, von der Form der Pfeilspitze abhängige Defekte - von der Pfählung über den Schnitt bis hin zur Keilexzision.



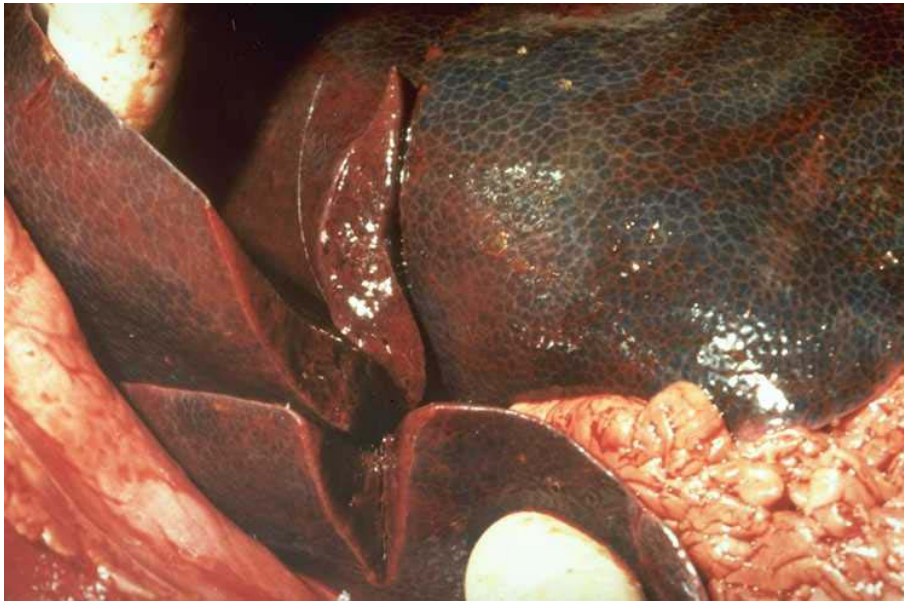


Abb. 3.-16. Keilförmig klaffender Defekt eines Leberlappens und Teilabtrennung eines anderen.  
(Pfeil Nr. 25 – EQ - Halbmond)

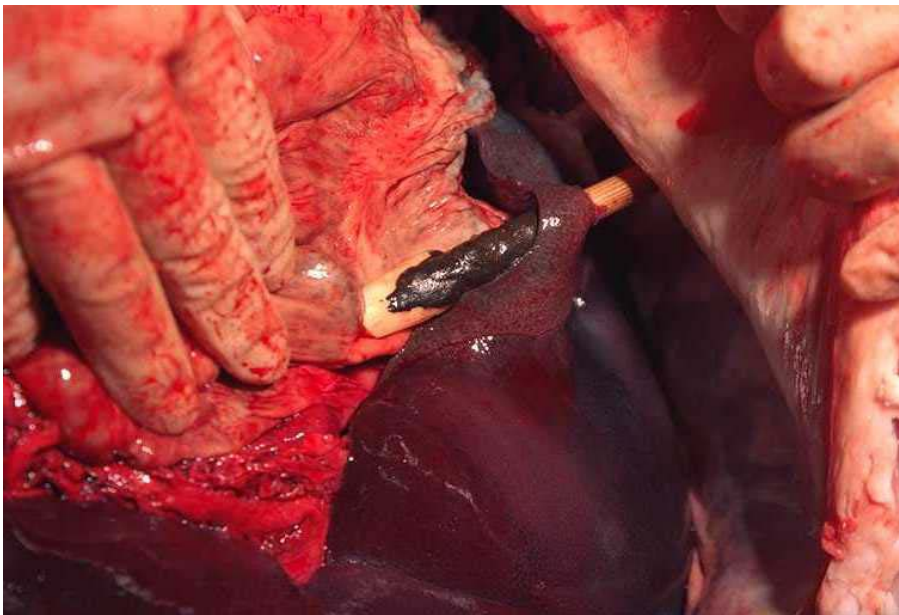


Abb. 3.-17. Perforation von Leberrand und Dickdarm mit steinzeitlicher Knochenspitze  
(Pfeil Nr. 60, KD)

Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Inspektion des Thorax: Der Stirnfläche der Pfeile weitestgehend entsprechende Läsionen.

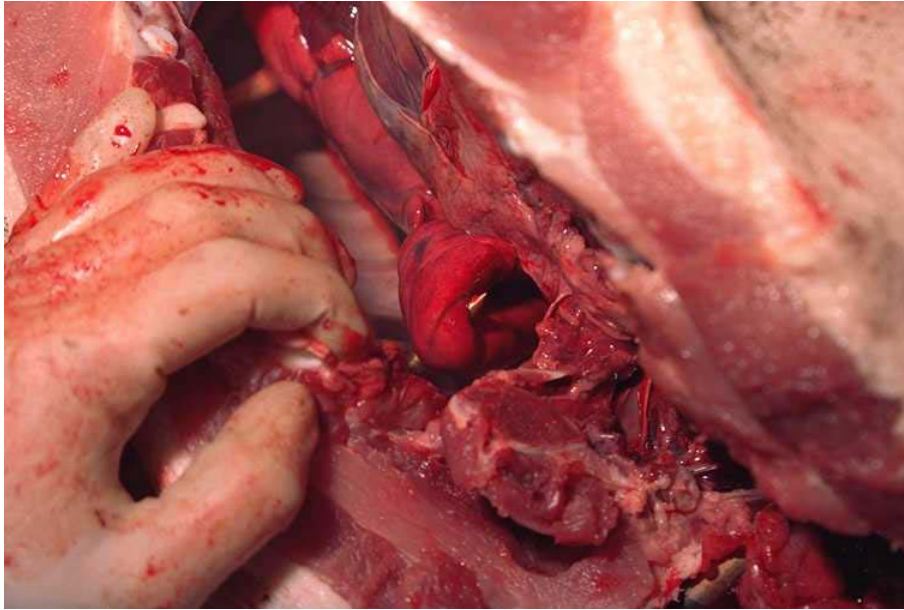


Abb. 3.-18. Perforation der Lunge mit Scheibenpfeil.  
(Pfeil Nr. 39, SB)

Rippenknorpel wurde wie sonstiges Gewebe durchbohrt bzw. durchschnitten, Rippen bei der Passage des Zwischenrippenraumes eingekerbt, massive Knochen (Schädel) stoppten die Pfeile. Es wurden aber auch Femurperforationen (Pfeil Nr. 72) bzw. die Spaltung eines Hüftkopfes (Pfeil Nr. 56) mit anschließendem Ausschuss beobachtet. Teilweise konnte ein Mitreißen von Organen in den getroffenen Knochen beobachtet werden.

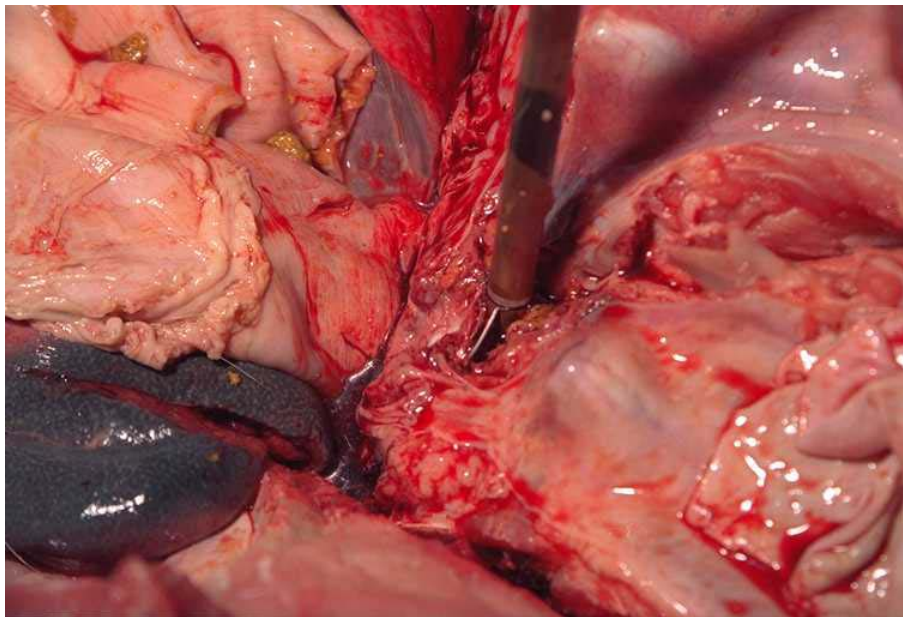


Abb. 3.-19: Jagdspitzentreffer eines Wirbelkörpers mit Fixierung des Darmes  
Bei 11 Uhr sind schlitzförmige Darmdefekte mit Austritt von Darminhalt zu erkennen.  
(Pfeil Nr. 55, J3)

Der eindrucksvolle in-situ-Befund wurde dokumentiert, das entsprechende Wirbelsäulensegment asserviert. Eine Extraktion der Pfeilspitze war auch unter Anwendung verschiedener chirurgischer Zangen nicht möglich, wobei die ursprünglich für diesen Zweck erfundene Rabenschnabelzange leider nicht zur Verfügung stand. Nach Mazeration des Wirbelpaketes zeigte sich ein fast komplettes Eindringen der Pfeilspitze in den Wirbelkörper, wobei es zu Ausbildung von sekundären Radiärfrakturen gekommen war

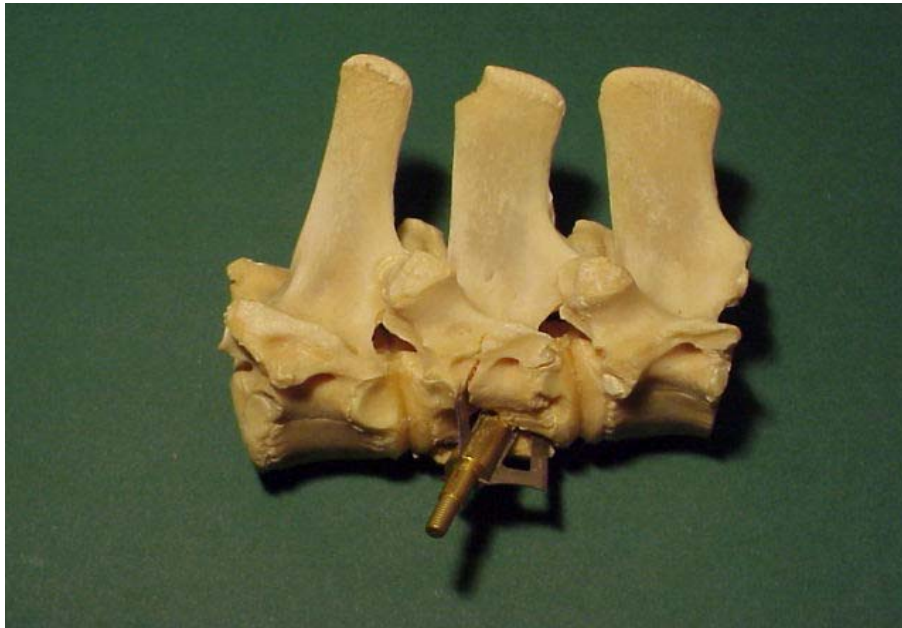


Abb. 3.-20.: Jagdspitzentreffer eines Wirbelkörpers (Abb. 3-19) Sekundäre Radiärfaktur im Klingerverlauf.  
(Pfeil Nr. 55, J3)

Die seitliche Aufnahme zeigt einen Wiederaustritt der Spitze aus dem Wirbelkörper mit Aussprengung eines großen frontalen Knochenfragmentes.



Abb. 3.-21. Jagdspitzentreffer eines Wirbelkörpers (Abb. 3-19): Aussprengung eines großen Knochenfragmentes.  
(Pfeil Nr. 55; J3)



Ein Treffer des Oberschenkelknochens im oberen Schaftdrittel bewirkte einen Schussbruch. Auch hier war die Extraktion der Pfeilspitze nicht möglich, der Knochen war deutlich instabil, Knochenfragmente waren tastbar.



Abb. 3.-22. Femur mit steckender Jagdspitze  
(Pfeil Nr. 72, J3)

Die Präparation des Knochens ergab einen großen Substanzverlust durch Aussprengung mehrerer Knochensplitter sowie die Ausbildung von sekundären Radiärfrakturen. Die zugehörige Pfeilspitze wies Verbiegungen der Klingen und Klingenbrüche auf. Man beachte die Tatsache, dass der Ausschuss - im Sinne eines Biegungskeiles - deutlich größer ist als der Einschuss.



Abb. 3.-23. Präparierter Femur mit ausgesprengten Knochenfragmenten.  
(Pfeil Nr. 72, J3)

Bei einem anderen Femurtreffer wurde ein dreieckiger Keil aus dem Hüftkopf herausgeschnitten. Das zugehörige Knochenfragment wurde eben noch durch die Gelenkkapsel gehalten.

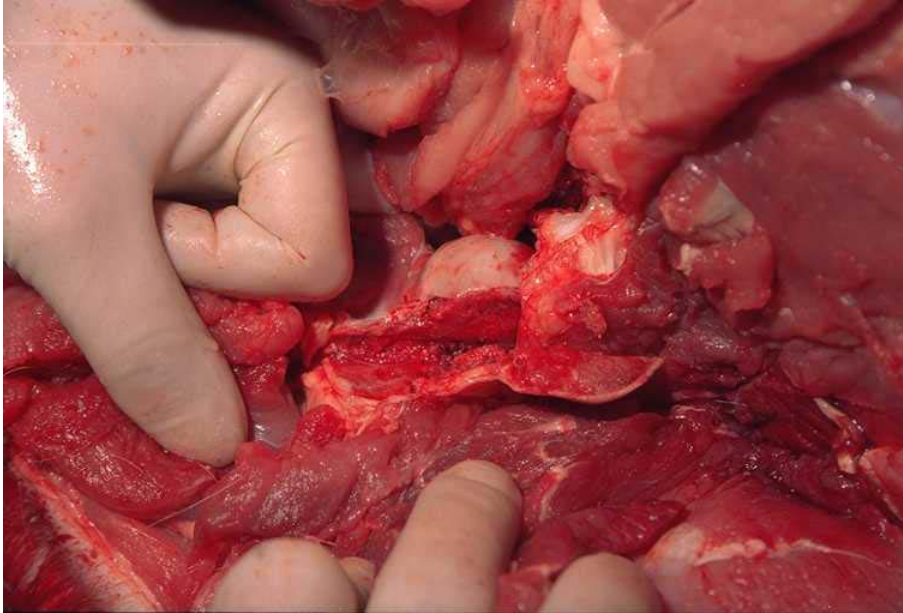


Abb. 3.-24. Keilexzision aus dem Femurkopf durch Jagdklinge in situ.  
(Pfeil Nr.56, J3)

Das Resektat zeigt die Läsion in vollem Umfang, am zugehörigen Pfeil ist eine Klinge größtenteils abgebrochen.



Abb. 3.-25. Keilexzision aus dem Femurkopf (Abb. 3-24): Resektat und zugehöriger Pfeil.  
(Pfeil Nr. 56, J3)



Die Präparation des Knochens zeigt neben den glatten Schnittflächen die zerschnittene Epiphysenfuge mit Abkippung der Epiphyse.



Abb. 3.-26. Keilexzision aus dem Femurkopf (Abb. 3-24): Präparat  
(Pfeil Nr. 56, J3)

In einem anderen Fall wurde lediglich der Hüftkopf durch einen sauberen Schnitt gespalten, wobei die Wachstumsfuge nicht überschritten wurde. Im Bereich des Schnittrandes sind kleine schuppige Knochenaussprengungen zu erkennen.



Abb. 3.-27. Spaltung des Femurkopfes durch J3-Jagd Klinge: Präparat.  
(Pfeil Nr. 56, J3)

Nach einem Knietreffer konnte eine keilförmige Aussprengung aus der Gelenkfläche beobachtet werden. Nach Präparation imponierte eine auffällige Ähnlichkeit mit dem Befund nach tangentialem Treffer eines Kunstknochens (Abb. 3-4).



Abb. 3.-28. Keilförmige Aussprengung aus dem Kniegelenk durch Jagdklinge: Präparat.

(Pfeil Nr. 54, J3) vgl. Abb. 3-4 !

Rippen wurden in Abhängigkeit von Trefferlage und Schärfe der Pfeilspitze entweder - unter Ausbildung eines Biegungskeiles - durchschossen oder unterschiedlich stark eingekerbt.

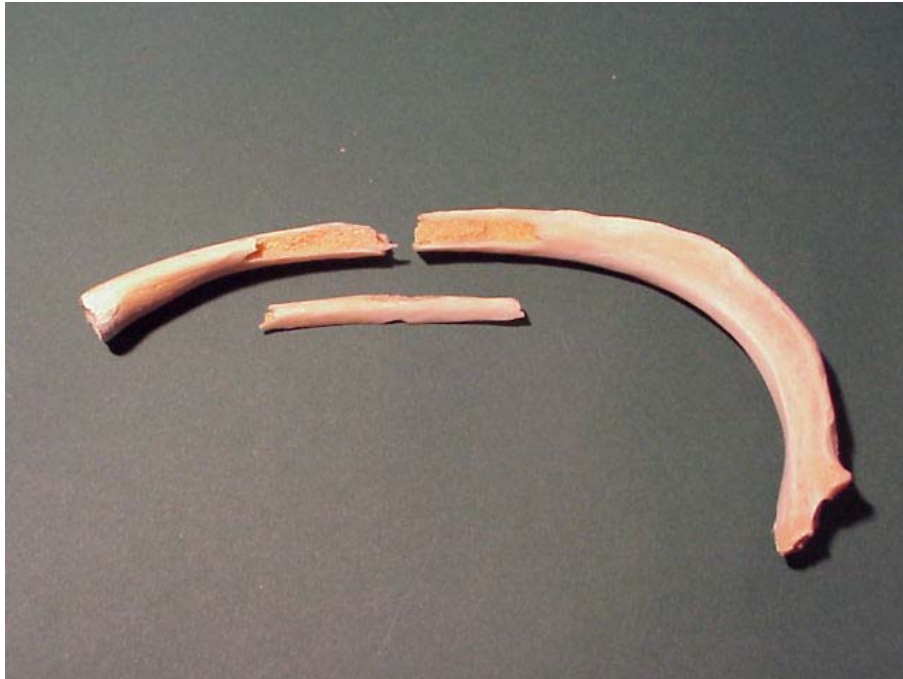


Abb. 3.-29. Rippendurchschuss mit Biegungskeil: Präparat.

(Pfeil Nr. 20, ED)

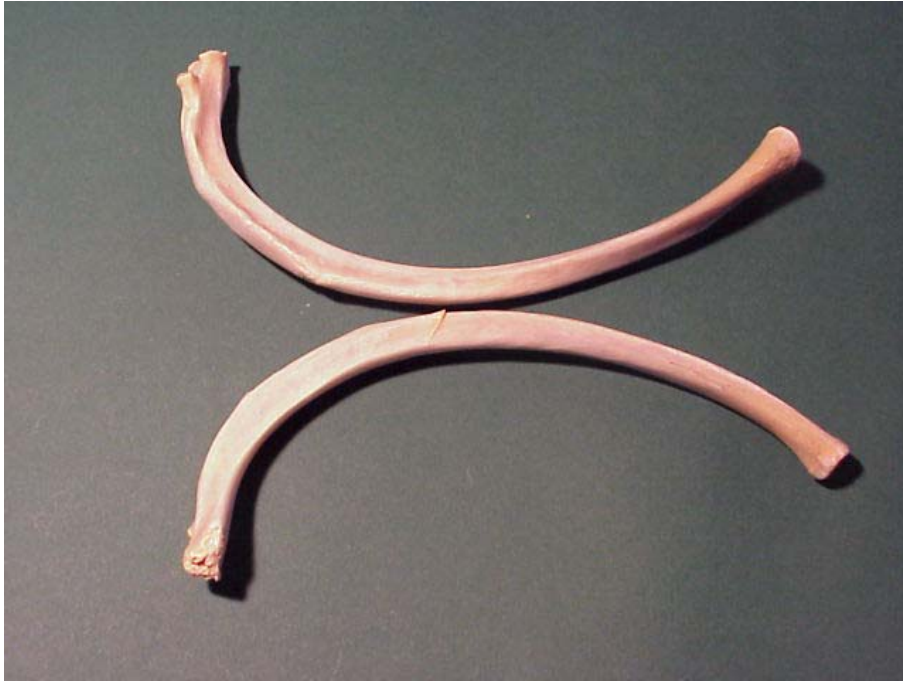


Abb. 3.-30. Rippentreffer mit moderner Jagdklinge: Präparat.  
Rippenpaar mit ausgeprägter scharfer Kerbe an der unteren und nur diskreter Kerbe an der oberen Rippe (Pfeil Nr. 42, J3).



Abb. 3.-31 Rippentreffer mit Feuersteinquerschneider: Präparat.  
Rippenpaar mit diskreter Einkerbung in der oberen und grober Kerbe in der unteren Rippe (Pfeil Nr. 15, FQ).

### 3.4. Veränderungen an Pfeilen und Pfeilspitzen

Neben der Untersuchung der Wundmorphologie war es natürlich auch von Interesse, die Veränderungen an Pfeilen und Pfeilspitzen zu beobachten.

#### 3.4.1. Veränderungen nach Simulans- oder Weichteiltreffern

Nach Simulans- oder Weichteiltreffern konnten prinzipiell keine Veränderungen an den Pfeilspitzen festgestellt werden. Allerdings konnte im Rahmen der Schweineexperimente wiederholt Bill's Beobachtung<sup>23</sup> reproduziert werden, nach der die Körpersäfte Sehnenwicklungen auflösen, mit denen Pfeilspitzen am oder im Schaft fixiert wurden.



Abb. 3.-32.: Lösung der Pfeilspitze nach Treffer in die Halsweichteile.  
(Pfeil Nr.14, FD)

#### 3.4.2. Veränderungen nach Knochentreffern

Die Bandbreite der Pfeilspitzenveränderungen nach Knochentreffern reichte vom minimalen, eher fühl- als sichtbaren Kantendefekt bis zur völligen Zerlegung der Spitze. Die Materialeigenschaften der verwendeten Pfeilspitzen bestimmten die Form der Beschädigungen, Wucht und Winkel des Auftreffens sowie Form und Massivität des getroffenen Knochen bestimmten das Ausmaß der Deformierung, wobei hier allerdings kein strenger Zusammenhang bestand: Vereinzelt fanden sich Spitzen, die nach Treffern "schwerer" Knochen im Wesentlichen unbeschädigt waren. Die spröden Steinspitzen brachen und splitterten, ebenso neigten die modernen J3-Jagdspitzen aus Stahl zum Klingbruch, wohingegen sich die übrigen Metallspitzen verbogen und aufrollten. Einen Bruch des Pfeilschafts konnten wir lediglich in einem Fall feststellen: Die Spitze des Heulpfeiles (Pfeil Nr. 38, SA, Abpraller) brach unmittelbar am Übergang zum Schaft ab, eine typische Bruchstelle auch beim üblichen Gebrauch von Scheibenpfeilen. Bei den mit Sehne eingebundenen Feuersteinspitzen konnte wiederholt ein Lösen der Sehnenwicklung im Körper beobachtet werden. Außerdem neigten diese



Pfeile dazu, sich nach Knochentreffern im Schaft zu verkannten. Im Folgenden werden die wesentlichen Veränderungen der Spitzen im Bild wiedergegeben.



Abb. 3.-33. Flint-Querschneider nach Rippentreffer: Minimaler Kantendefekt, diskrete Kippung im Schaft, Lösung der Sehnenwicklung.  
(Pfeil Nr. 15, FQ, vgl. Abb. 3.-31)



Abb. 3.-34. Oben: Feuersteinspitze mit Spitzendefekt und diskreter Kippung im Schaft nach Rippentreffer.  
(Pfeil Nr. 15, FD)

Darunter bei ähnlichen Spitzen durch Fehlschüsse hervorgerufene, unterschiedlich ausgeprägte Pfeilspitzendefekte (Pfeile Nr. 16, FD und 18, FD)

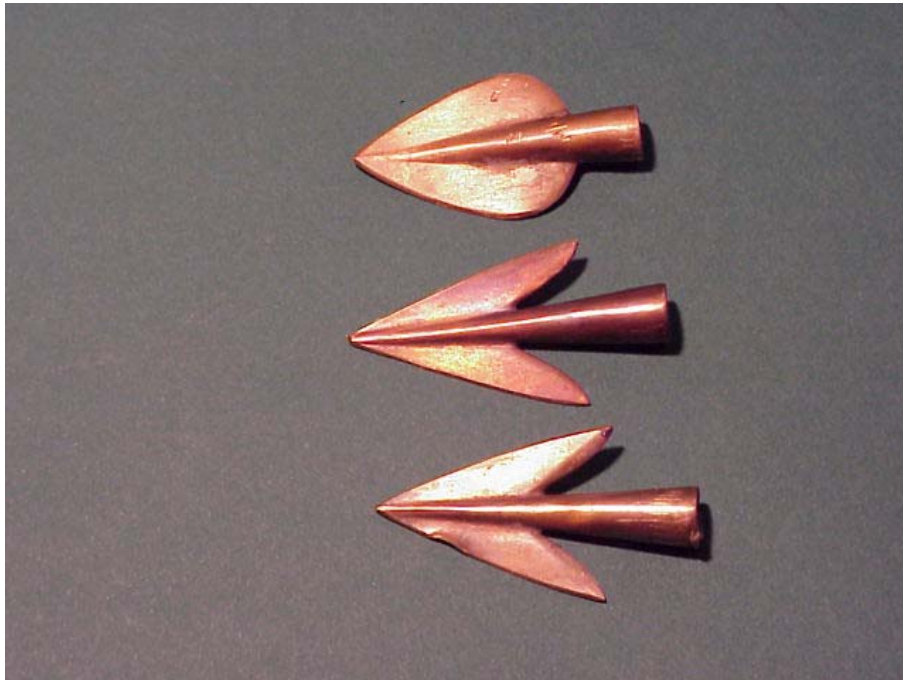


Abb. 3.-35. Beschädigte Bronzespitzen

Diskreter Kantendefekt nach Treffer der Halswirbelsäule (unten, Nr. 28, BD) und minimaler Aufrollung der Spitze. (Mitte, Nr. 27, BD) nach zweifachem Durchschuss der Vorderläufe mit makroskopisch nicht nachweisbarem Knochenkontakt. - Darüber eine blattförmige Spitze (BB) mit Verbiegung im vorderen Drittel (Holztreffer im Rahmen der Geschwindigkeitsmessungen).



Abb. 3.-36 Mittelalterliche Jagdspitzen (ED) mit unterschiedlich ausgeprägten Spitzendefekten.

Die obere Spitze ist nach einem Treffer der Wirbelsäule (Pfeil Nr. 21, ED) deutlich aufgerollt (vgl. Abb.3.-37), die beiden unteren Spitzen (Pfeile Nr. 20 und 63, ED) nach Rippentreffern nur diskret.



Abb. 3.-37 Mittelalterliche Jagdspitze (Pfeil Nr. 21, ED) aus Abb. 3-36 in der seitlichen Ansicht.



Abb. 3.-38 Verbiegung mittelalterlicher Bodkin-Spitzen

Der englische Needle-Bodgkin (Pfeil Nr. 67, NB, oben) zeigte nach einem Schuss in die Schulter einen deutlichen Knick im Spitzenbereich. - Die beiden norddeutschen Bodgkins (ND) darunter mussten nach Holztreffern im Rahmen der Geschwindigkeitsmessungen mit der Kneifzange gezogen werden. Beide Pfeile weisen zudem den bei plötzlichem Stopp typischen Schaftbruch am Schaftansatz auf.



Abb. 3.-39. Verbiegungen und Klingenbrüche bei Jagdspitze nach Oberschenkelzertrümmerung (Pfeil Nr. 72). vgl. Abb. 3.-22 und 3.-23.



## 4. Diskussion

### 4.1. Allgemeines

Abgesehen von Saxton Popes Pfeilschussexperimenten in den 20-er Jahren<sup>142, 143, 144</sup> und den forensischen Versuchen von Misliwetz<sup>122</sup> und Randal<sup>148</sup> wurden bisher derartige Experimente ausschließlich von experimentalarchäologischer Seite durchgeführt. Im Gegensatz zu Pope<sup>142, 143</sup>, dessen Untersuchungen durch das zu seiner Zeit doch deutlich eingeschränkte Untersuchungswerkzeug begrenzt wurde, steuert J. Misliwetz<sup>122</sup> nur wenige unsystematische Beobachtungen bei. Randalls Interesse gilt lediglich den Hautveränderungen im Bereich der Einschusswunde. Die experimentalarchäologischen Studien<sup>z.B. 7, 19, 57, 71, 89, 91, 111, 130, 139, 152, 177, 178</sup> verfolgen häufig eine für den forensischen Bereich uninteressante Zielrichtung: Es geht z.B. bei Schussexperimenten darum, experimentell erzeugte Schaft- und Spitzenbrüche mit Ausgrabungsfunden zu vergleichen. Trotzdem können zumindest Teilresultate dieser Arbeiten zum Vergleich herangezogen werden.

### 4.2. Geschwindigkeitsmessungen

Die für die drei Waffen gemessenen Geschwindigkeiten ( $v_3$ ) stimmen mit vorhergehenden Messungen überein<sup>122</sup>, wobei die verwendete Armbrust eine leichte Version darstellt. Die Geschwindigkeit der Pfeile war verblüffend konstant - nicht nur bei der Armbrust, die mechanisch gespannt und gelöst wird, sondern auch bei den beiden Bogentypen. Die stärksten Abweichungen fanden sich beim Langbogen. Die Kombination mit späteren Geschwindigkeitsaufzeichnungen ( $v_{16}$ ) zeigte, dass der Geschwindigkeitsverlust in der frühen Phase des Fluges gering ist. Daher ist der Geschwindigkeitsverlust für die üblichen jagdlichen Distanzen (<50m) oder das Scheibenschießen von beschränkter praktischer Bedeutung.

### 4.3. Penetration in Simulanzien

Die Penetrationstiefe variierte beträchtlich zwischen den verschiedenen Medien, war aber in den einzelnen Simulanzmedien reproduzierbar. Die Ursache muss in der konkreten Wechselbeziehung zwischen Pfeil und Zielmedium begründet sein. Dabei spielen insbesondere die Form der Pfeilspitze und die Materialeigenschaften des Zielmediums eine große Rolle. In den beiden Simulanzien drangen stumpfe Pfeilspitzen am weitesten ein, gefolgt von spitz zulaufenden und zuletzt von scharfen Spitzen. Interessanterweise änderte die Form der Pfeilspitze das Verhalten in den verschiedenen Medien systematisch. So drang die Feldspitze tiefer in Gelatine als in knochenfreiem Gewebe ein, wohingegen die Broadheads ein entgegengesetztes Verhalten zeigten. Aufgrund allgemeiner physikalischer Überlegungen war zu erwarten, dass hohe Querschnittsbelastung oder hohe Energiedichte mit tiefer Penetration vergesellschaftet sein würde. Dieser Zusammenhang konnte bestätigt werden.

Der Einfluss der Materialeigenschaften der Zielmedien kommt zum Ausdruck durch die regelmäßig geringste Penetrationstiefe in Seife. Vermutlich ist neben der Dichte der Materialien auch deren

Viskosität von Bedeutung. Die geringe Penetrationstiefe in Seife mag zusätzlich auf die höhere Bremswirkung dieses Mediums auf Spitze und Schaft zurückzuführen sein.

Die Penetrationstiefe in Gelatine und besonders in Seife erreicht jedoch nicht einmal annähernd die in knochenfreiem Gewebe. Deshalb sind diese beiden Medien, im Gegensatz zu Schussverletzungen, ungeeignet für die experimentelle Simulation von Pfeilwunden. Ein wichtiger Grund hierfür ist der unterschiedliche Penetrationsmechanismus von Pfeilen und Projektilen: ein scharf-spaltender steht einem stumpf-rasanten Penetrationsmechanismus gegenüber.

Die größten Abweichungen in der Penetrationstiefe ließen sich innerhalb der Langbogenpfeile feststellen. Die Ursache für diese große Varianz ist sicherlich im Unikatcharakter der Spitzen und Pfeile zu suchen. Im Gegensatz zu den auf hohem Standard und in großer Stückzahl industriell produzierten und mit einem Standardgewinde im Standardschaft fixierten SB- und J3- Spitzen handelt es sich bei den mit dem Langbogen produzierten Pfeilspitzen fast ausnahmslos um handwerklich in kleiner Stückzahl oder gar als Einzelstücke hergestellte Spitzen mit den jeweils zu erwartenden Asymmetrien und Gewichtsschwankungen; die Fixierung der Spitzen erfolgte teilweise bündig mit dem Schaft (MB, BB, BD), teilweise resultierte durch die stärkere Spitzenhülse ein mehr (Bodkin) oder weniger (ED, EQ) deutlicher Kalibersprung. Die Zugabe von Sehnenmaterial (K- und F-Spitzen) veränderte Durchmesser und Oberflächenstruktur des Schaftes im Spitzenbereich.

#### 4.4. Penetration in Weichteilen

Die Anzahl von Wundkanälen ohne Knochenkontakt in Schweinen mit derselben Pfeilspitze und Waffe war relativ klein. Beträchtliche Unterschiede im Bezug auf die Penetrationstiefe traten bei einigen antiken Pfeilen auf. Möglicherweise haben biologische Inhomogenitäten und unterschiedliche Eintrittswinkel einen stärkeren Einfluss auf das Verhalten von Pfeilen als auf das von Projektilen. Die Bedeutung der miteinander assoziierten Parameter Form und Größe der Pfeilspitze, Querschnittsbelastung und Energiedichte wird bestätigt durch die tiefe Penetration von Broadheads, Bodkins und halbmondförmigen Pfeilspitzen in weichem Gewebe. Die Auftreffgeschwindigkeit allein, wenn auch sicherlich nicht ohne Einfluss, kann sich gegenüber diesen Faktoren nicht durchsetzen. So penetrierten die antiken Pfeile mit punktförmig-spitzen Pfeilspitzen viel tiefer als die mit gleicher Geschwindigkeit verschossenen Feldspitzen.

Form und Größe der Pfeilspitze sind von großer Bedeutung für die Penetrationstiefe.<sup>61</sup> Eine über den direkten Kontakt mit Pfeil und Pfeilspitze hinausgehende Destruktion wurde nicht beobachtet (siehe 3.2.3. und 4.6.). Folglich wird der Pfeil vom Simulanzmedium umströmt. Die Verzögerung ist deshalb neben Dichte und Viskosität des Mediums auch abhängig von der Oberflächengröße des jeweiligen Pfeils. Vergleicht man exemplarisch die mit Compound und Armbrust verschossenen Pfeile SB und J3, so gilt für die ersten 5 cm (Länge der Jagdspitze) folgendes:

Die annähernd kegelförmige Spitze des Scheibenpfeils erreicht nach 1,2 cm den Durchmesser des Pfeilschaftes von 0,88 cm. Die Mantelfläche dieses Kegels beträgt somit nach

$$M = \pi r s \qquad M = \pi \times 0,44 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} = 1,66 \text{ cm}^2$$

Der Pfeilschaft hat bis zum Nock, so auch auf den folgenden 3,8 Zentimetern, einen gleichmäßigen Durchmesser von 0,88 cm. Die Mantelfläche beträgt somit nach

$$M = 2 r \pi h \qquad M = 0,88 \text{ cm} \pi \times 3,8 \text{ cm} = 10,5 \text{ cm}^2$$

Die Mantelfläche der Scheibenpfeils beträgt auf den ersten 5 Zentimetern somit ca. 12,2 cm<sup>2</sup>.

Die annähernd kegelförmige Spitze des Jagdpfeils hat eine Höhe von 5 cm, der Durchmesser an der Basis beträgt 0,88 cm. Die Mantelfläche dieses Kegels beträgt somit nach

$$M = \pi r s \qquad M = \pi \times 0,44 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 6,9 \text{ cm}^2$$

Die dreieckigen Klingen der Jagdspitze haben eine Grundlinie  $g_K$  von 4,2 cm bei einer Höhe  $h_K$  von 1,1 cm; sie weisen die Oberfläche reduzierende dreieckige Perforationen mit einer Grundlinie  $g_P$  von 1,6 cm bei einer Höhe  $h_P$  von 0,4 cm auf. Die 6 Flächen der 3 Schneiden berechnen sich daher nach  $F = 0,5gh$   $6 \times (0,5 \times (4,2 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm}) - 0,5 \times (1,6 \text{ cm} \times 0,4 \text{ cm})) = 11,94 \text{ cm}^2$ .

Die Mantelfläche der Jagdpfeils beträgt somit auf den ersten 5 Zentimetern ca. 18,84 cm<sup>2</sup>, ist also 6,64 cm<sup>2</sup> oder 1/3 größer als die des Scheibenpfeils. Diese unterschiedlich große Oberfläche trägt vermutlich zu dem unterschiedlichen Eindringverhalten der Pfeile bei.

Die ausgezeichneten Penetrationstiefen in knochenfreiem Gewebe und auch die Penetrationskapazität flacher Knochen werden beim Menschen sicherlich übertroffen, da die Haut und die Rippen eines erwachsenen Schweins dicker und widerstandsfähiger sind. Das Eindringvermögen von Pfeilen beim Menschen reicht somit aus, um tief in die großen Körperhöhlen einzudringen und vitale Organe wie Herz oder große Gefäße zu verletzen. Dies wird erhärtet durch experimentelle Schüsse in fleischgefüllte Kisten <sup>z.B. 142, 143</sup> und durch Fallberichte über Brustperforationen <sup>z.B. 23, 24, 41, 69, 153</sup> oder eine Thoraxpassage von einer Seite zur anderen nach Perforation des Oberarmes<sup>72</sup>. Das Eindringen in den Schweineschädel gelang nicht, der Schädelknochen eines erwachsenen Schweines ist jedoch beträchtlich dicker als der eines Menschen. Über penetrierende<sup>127, 133</sup> und sogar perforierende<sup>41, 122</sup> craniocerebrale Pfeil-/Bolzenwunden beim Menschen wurde deshalb wiederholt berichtet.

## 4.5. Penetration in Knochen

Knochenkontakt reduzierte die Penetrationstiefe eines Pfeiles deutlich. Die hohe Dichte von Knochen macht diese im Vergleich zur zermalmenden Gewalt von Projektilen resistenter gegenüber der scharfen Gewalteinwirkung von Pfeilen. Bodkin-Spitzen und Broadheads zeigten wegen der hohen Querschnittsdichte die beste Penetrationskapazität im Knochen.

Die Pfeile durchschnitten flache Knochen wie Rippen und drangen oft so tief in dicke Knochen ein, dass die Extraktion sehr schwierig war. Bill<sup>24</sup>, der ebenso wie moderne Autoren <sup>z.B. 123, 131</sup> dieselben Probleme erlebte, konstruierte sogar eine spezielle Zange für die Extraktion von Indianerpfeilen. Im Knochen festsitzende Pfeilspitzen oder Fragmente stellten vor Einführung einer suffizienten chirurgischen Routinebehandlung eine ernsthafte Bedrohung für die Opfer dar.<sup>23, 24, 35, 199</sup> Die Extraktion von zwei Broadheads aus einem Wirbelkörper und einer Femurmetaphyse war unter Benutzung verschiedener chirurgischer Instrumente einschließlich einer starken Kocher-Klemme praktisch unmöglich. Die beiden Pfeilspitzen konnten nur über einen weiten und unter klinischen Bedingungen unrealistischen Weichteilzugang sowie nach Entfernung angrenzender Knochensubstanz entfernt werden. Aber auch unter diesen Bedingungen fragmentierte eine Klinge. Das Fragment war so fest im Knochen eingebettet, dass ein Fassen und Extrahieren unmöglich war bis eine beträchtliche Menge an Knochen mit einem Hohlmeißel entfernt wurde. Dieses Vorgehen führte zu einem Kontinuitätsverlust, der eine externe Fixierung notwendig gemacht hätte.

Vor dem Versuch, Pfeile durch drehende Bewegungen oder Zug am Schaft aus dem Knochen oder auch aus Weichteilen zu extrahieren, muss dringend gewarnt werden: Jagdspitzen besitzen vorspringende Teile und eine Rotation (insbesondere gegen den Uhrzeigersinn!) kann zur Trennung von Pfeilspitze und Schaft durch Lösung der Verschraubung führen. Aber auch Scheibenspitzen können sich bei bestimmungsgemäßem Gebrauch im Gewinde lockern und bei obigem Manöver verloren gehen. Auch sei darauf hingewiesen, dass moderne Jagdspitzen aus Gründen der Gewichtersparnis aus Materialkompositionen, in der Regel Aluminium und Stahl, bestehen, wobei sowohl das Aluminium als auch der Stahl sehr spröde sind und sowohl beim Knochentreffer als auch bei der Extraktion zur Fragmentierung neigen.

Für Bogensport und Bogenjagd wurde zur Entfernung von Pfeilspitzen nach Fehlschüssen z.B. in Holz ein „arrowhead puller“ wiederentdeckt, ein T-förmiges Instrument, das auf das Gewinde oder – bei weiblicher Spitze – in die Tülle der Pfeilspitze geschraubt werden kann und so eine solide Handhabe bietet und den Einsatz auch brachialer Gewalt ermöglicht <sup>1</sup> (siehe auch Abb. 1.2.–10: „terebrum torculatum solidum“). Das adäquate Werkzeug für die Extraktion einer Pfeilspitze aus dem Knochen scheint aber unverändert der Rabenschnabel oder jede „beliebige kräftige Zange“ (dalla Croce<sup>70</sup>) zu sein. Bei allen Extraktionsmanövern ist sorgfältig auf ausreichenden Selbstschutz zu achten: Neben der angelsächsischen Bezeichnungen „broadhead“ für Jagdspitzen wird auch der Begriff „razorhead“ benutzt, wobei das „broad“ wohl für die klaffenden Wunden, die hervorgerufen werden und das „razor“ für die Rasierklingenschärfe dieser Spitzen steht.

## 4.6. Wundmorphologie und Verletzungsmechanismus

Der Penetrations- und Verwundungsmechanismus in den drei Zielmedien war eine Kombination von zwei scharfen Gewalteinwirkungen. Die Gewebe und die Simulanzmedien wurden vergleichbar einem Dolchstich und einem Messerschnitt gespalten, Quetschung und Zerreißung des Gewebes traten dabei praktisch nicht auf. Der Penetrationsmechanismus eines Pfeiles unterscheidet sich somit deutlich von dem eines Feuerwaffenprojektils. Folglich ist für die Gewebepenetration von Pfeilen im Vergleich zu Geschossen weniger Impuls, kinetische Energie oder Kraft erforderlich. Obwohl wegen der turbulenten Strömung die Reibung an Schaft und Federn höher ist, dringen Pfeile ungefähr so tief in knochenfreies Gewebe ein wie Pistolengeschosse, besitzen aber nur einen kleinen Teil der kinetischen Energie (vgl. Tabelle 3.-5).

Aufgrund der scharfen Gewalteinwirkung der Pfeile ist die Verletzung auf das Gewebe beschränkt, das direkten Kontakt zur Klinge der Pfeilspitze hat. Obwohl die Schüsse postmortal ausgeführt worden waren konnten beträchtliche Blutungen vor Pfeilextraktion bei den durch Broadheads verursachten klaffenden Wunden beobachtet werden. Ebenfalls traten stärkere Blutungen auf, wenn große Blutgefäße verletzt worden waren. Bei allen anderen Wunden wurde der Wundkanal durch die Gewebeelastizität verengt oder sogar geschlossen und der Pfeilschaft in situ schien Druck auf die Wunde auszuüben i.S. einer inkompletten Tamponade. Außerdem hatte die saubere Schnittwunde ein kleineres Wundgebiet als irregulär geformte Wundhöhlen mit zusätzlicher Gewebsquetschung und -zerreißung. Daher sind das Ausmaß der Gewebsverletzung und die Blutungsgeschwindigkeit schlecht vergleichbar mit Schusswunden. Dies wird gestützt durch längere Überlebenszeiten und längere Latenzperioden bis zum Eintritt der Handlungsunfähigkeit beim Vergleich von Stichwunden und

Schusswunden<sup>109, 172</sup>. Ferner ist die Mortalitätsrate von Patienten mit penetrierenden Herzwunden durch scharfe Gewalt höher als bei den durch Feuerwaffenprojektilen hervorgerufenen.<sup>9, 38, 114</sup>

Es sollte aber betont werden, dass der Kontakt mit einer Pfeilspitze immer zu einer Verletzung führte. Ein Anhalt für stumpfe Gewalteinwirkung, z.B. die Verlagerung beweglicher Strukturen, wurde nicht gefunden. Wenn ein Pfeil an einer Stelle in das Abdomen eindrang, an der sich Darm befand, so wurde der Darm in jedem Fall perforiert. Ohne chirurgische Therapie würde in solchen Fällen eine Peritonitis folgen. Dieses Wissen veranlasste die amerikanischen Indianer und die japanischen Samurai dazu, den Bauch des Feindes als bevorzugtes Ziel zu wählen.<sup>23, 24</sup>

Da bei einer Pfeilwunde über den direkten Kontakt mit dem Pfeil oder der Pfeilspitze hinaus kein Gewebe zerstört wird, können die Ausmaße einer Pfeilwunde annähernd exakt berechnet werden. Die Wundfläche  $WF_T$ , hervorgerufen durch einen Scheibenpfeil (Target-Point, z.B. SB, MB), kann - in Verbindung mit der Penetrationstiefe  $Pd$  - der Mantelfläche des Pfeilschaftes, mithin einem Zylinder, gleichgesetzt werden. Die Pfeilspitze, deren Mantelfläche nur unwesentlichen Anteil an der gesamten Wundfläche hat, kann dabei vernachlässigt werden:

$$WF_T = (2r\pi \times Pd)$$

Ein Scheibenpfeil mit 0,88 cm Schaftdurchmesser würde also bei einer Penetrationstiefe von 26 cm eine Wundfläche  $WF_T$  von ca. 72 cm<sup>2</sup> produzieren.

Ein Jagdpfeil ist dagegen mit Klingen bestückt, die über den Pfeilschaft hinausragen. Der Schnitt einer derartigen Klinge hinterlässt zwei Schnittflächen. Bei der Berechnung der mit einem Jagdpfeil erzeugten Wundfläche  $WF_J$ , wobei erneut die Spitzenform vernachlässigt werden soll, muss daher zusätzlich zur Mantelfläche des Pfeilschaftes (analog  $WF_T$ ) die Anzahl der Schneiden  $n_S$ , die daraus resultierende Anzahl der Schnittflächen  $2n_S$ , die maximale Schneidenhöhe über Schaftniveau  $H_S$  sowie die Schnittlänge ( $Pd$ ) berücksichtigt werden.

$$WF_J = (2r\pi \times Pd) + (2n_S \times H_S \times Pd)$$

Ein Jagdpfeil mit 0,88 cm Schaftdurchmesser, bestückt mit 3 Klingen, die 1,1 cm über Schaftniveau vorspringen, würde bei einer Penetrationstiefe von 26 cm eine Wundfläche  $WF_J$  von ca. 243 cm<sup>2</sup> hervorrufen. Diese unterschiedlich großen Wundflächen sind vermutlich für die abweichenden Blutungsneigungen der beiden Typen von Pfeilwunden verantwortlich. Modifiziert wird das Ausmaß der Blutung durch die Form des Wundkanals: Beim Scheibenpfeil imponiert eine Pfählungsverletzung, die im wesentlichen durch den Schaft tamponiert wird, beim Jagdpfeil hingegen eine klaffende Stichwunde, die durch den Schaft nicht mehr tamponiert werden kann.

Im Sinne einer Flüssigfilmschmierung<sup>205</sup> spielen die Körperflüssigkeiten sicherlich eine nicht unwesentliche Rolle bei der Penetration - auf ihnen gleitet der Pfeil mit reduzierter Reibung in das Gewebe. Auch im Bogensport wird bei regnerischem Wetter, d.h. wenn die Pfeile und die Oberflächen der Ziele nass sind, ein tieferes Eindringen in die Scheibe beobachtet als bei trockenem Wetter.<sup>33</sup> Die panzerbrechenden Bodkin-Spitzen des Mittelalters waren zum Schutz gegen feuchte Witterung mit einem dünnen Wachsüberzug versehen<sup>86</sup>; es kann postuliert werden, dass dieser Wachsüberzug beim Durchschlagen einer Rüstung wegen der hierbei entstehenden Reibungshitze schmolz und so einen Gleitfilm produzierte, der die Passage der Rüstung erleichterte und förderte.

Unterschiedliche Pfeilspitzen verursachten natürlich auch unterschiedliche Hautwunden. Das Spektrum reichte von der punktförmigen, dolchartigen Stichwunde bis zur weit klaffenden Stich-

/Schnittwunde (z.B. "Halbmond"). Die Form der Einschusswunde stellte in der Regel einen Abdruck der Stirnfläche des jeweils verwendeten Pfeiles dar. Dabei war dieser Positiv-Negativ-Effekt bei den J3-Jagdklingen am ausgeprägtesten. Lediglich in zwei von 66 Fällen gab es Abweichungen von dieser Regel: Eine deutlich größere und eine unverhältnismäßig kleine Wunde. Auch die Ausschusswunden zeigten eine entsprechende, spitzenabhängige Morphologie. Die Größe der Ausschusswunden entsprach der der zugehörigen Einschussverletzungen. Der Querschnitt einer Pfeilwunde korrespondiert somit im Wesentlichen mit der Stirnfläche des Pfeils. Die Wundmorphologie kann jedoch durch elastische Retraktionsphänomene, insbesondere entlang der Spaltbarkeitslinien der Haut nach Langer, modifiziert werden.

## 4.7. Praktische Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Zusammengefasst haben moderne wie antike Pfeile ein beträchtliches Penetrationsvermögen in Weichteilen und flachen Knochen. Dieses reicht aus, um tief in die großen Körperhöhlen einzudringen und das Herz, die großen Blutgefäße oder das Gehirn zu verletzen. Der Hauptverwundungsmechanismus ist eine Kombination von Schnitt und Stich. Die Verletzung ist auf das Gewebe begrenzt, das in unmittelbarem Kontakt mit der Pfeilspitze kommt. Die Penetrationskapazität von dicken Knochen ist begrenzt, die Extraktion der Pfeilspitze aus solchen Knochen kann jedoch sehr schwierig sein und erfordert kräftiges Werkzeug. Rotationsbewegungen von Pfeilspitze oder Schaft um die Längsachse sollten dabei unbedingt vermieden werden. Sowohl aus chirurgischer als auch aus forensischer Sicht sollte der Pfeil in situ belassen und stabilisiert / fixiert werden, um zusätzliche Verletzungen während des Transportes zur chirurgischen Therapie oder Autopsie zu verhindern.<sup>23, 24, 35, 41, 56, 72, 127, 153, 190, 199</sup>

Der Erwerb eines Bogens oder einer Armbrust unterliegt in den meisten Ländern einschließlich Deutschland keinen gesetzlichen Beschränkungen außer einer Altersgrenze. Angesichts der berichteten ballistischen Ergebnisse dieser geräuschlosen Waffen und angesichts der kasuistisch dargestellten Verwendung als tödliche Waffe könnten Beschränkungen im Verkauf von Armbrüsten angezeigt sein. Im Gegensatz zum Bogen bedarf zuverlässiges Treffen mit der Armbrust keines Trainings und keiner Geschicklichkeit. Die Armbrust kann in geladenem und gespanntem Zustand abgelegt und aufgenommen werden. Daher wurden Armbrüste in den meisten Fällen von Fremdtötung (vgl. 1.4 Kasuistiken, Tabelle 1.4.–10 Mord / Mordversuch<sup>30, 31, 41, 72, 153, 185</sup>) und bei fast allen Suiziden (vgl. 1.4. Kasuistiken, Tabelle 1.4.–9 Suizid / Suizidversuch<sup>2, 22, 29, 41, 50, 72, 133, 160</sup>) verwendet, die publiziert wurden. Es wird deshalb vorgeschlagen, die Waffenkartenpflicht oder eine ähnliche restriktive Regelung für Armbrüste einzuführen.

---

Unter dem Titel "Experimental Arrow Wounds: Ballistics and Traumatology" wurden wesentliche Teile dieser Arbeit im Journal of Trauma veröffentlicht.<sup>93</sup>

## 5. Zusammenfassung

Die Geschichte des Bogenschießens wird einleitend dargestellt. Medizingeschichtlich-chirurgische Entwicklungen der Therapie von Pfeilschussverletzungen, die theoretischen Grundlagen des Bogenschiessens wie Hysterese oder „Archer`s Paradox“ und medizinische Kasuistiken über Pfeilschussverletzungen werden ausführlich erläutert. Im experimentellen Teil wurden ein klassischer Langbogen, ein moderner Compound-Bogen und eine Armbrust verwendet. Es kamen sowohl moderne Scheibenspitzen und jagdliche Broadheads, als auch eine Reihe von Repliken mittelalterlicher, antiker und prähistorischer Pfeile zur Anwendung. Neben Geschwindigkeitsmessungen wurden ballistische Weichteilsimulanzen (Gelatine, Seife; n=54) sowie 4 verendete Schlachtschweine (n=72) beschossen. Die Anfangsgeschwindigkeit der Langbogenpfeile betrug ca. 44 m/s, die der Armbrustbolzen ca. 45 m/s und die der Compoundpfeile ca. 67 m/s. Der Geschwindigkeitsverlust in der frühen Flugphase auf jagdliche oder sportliche Distanzen ist zu vernachlässigen. Es zeigte sich, dass die für Schusswaffen etablierten Weichteilsimulanzen Gelatine und Seife für die Reproduktion von Pfeilschussverletzungen ungeeignet sind. So wichen bereits die Penetrationstiefen in den Medien deutlich voneinander und vor allem von denen in Gewebe ab. In Weichgewebe drangen moderne und antike Pfeile in Abhängigkeit von Form und Größe der Pfeilspitze sowie der Querschnittsbelastung und der Energiedichte in etwa so tief ein wie Pistolengeschosse. Eindringtiefen über 40 cm waren keine Seltenheit. Flache Knochen wurden meist durchschlagen, die Penetrationskapazität von dicken Knochen ist dagegen begrenzt. In der Regel reicht das Penetrationsvermögen aus, um tief in die großen Körperhöhlen einzudringen und das Herz, die großen Blutgefäße oder das Gehirn zu verletzen. Der Hauptverwundungsmechanismus ist eine Kombination von Stich und Schnitt. Es resultiert ein glatter Wundkanal und die Verletzung ist begrenzt auf das Gewebe, welches in unmittelbarem Kontakt mit der Pfeilspitze kommt. Deshalb benötigen Pfeile im Vergleich zu Pistolengeschossen bei gleicher Eindringtiefe nur einen Bruchteil der kinetischen Energie. Die chirurgische Extraktion von Pfeilspitzen aus kompaktem Knochen erwies sich als schwierig und teilweise fast unmöglich. Auch Trümmerbrüche konnten erzeugt werden. Die Hautwunden am Ein- und Ausschuss reflektierten im Wesentlichen die Form der Pfeilspitze. Im Vergleich zum Bogen kann die Armbrust „geladen“ abgelegt werden und erfordert kein Training. Daher überwiegen die bei Tötungen oder Verletzungen durch fremde oder eigene Hand verwendeten Armbrüste gegenüber Bögen deutlich. Aus diesem Grund wird eine Waffenkartenpflicht o.ä. für Armbrüste vorgeschlagen.

## 6. Literatur

Neben den in der Arbeit verwendeten Quellen sind am Ende die benutzten Spezialbibliographien und -enzyklopädien dem Literaturverzeichnis gesondert angefügt.

### 6.1 Quellen

1. Adams Chuck (1990) Shooting Aids & Accessoires. The good ones can help your game-taking; the poor ones may hinder! In: Adams Chuck (1990) Bowhunter's Digest. All New 3<sup>rd</sup> Edition. DBI Books, Northbrook, IL 58 - 75
2. Alessi FJ, David J (1976) Self-inflicted crossbow arrow injury of the abdomen. J Louisiana State Med Soc. 128 (8):231-232
3. Al Zahrani, H. (1997) The successful management of a non-atherosclerotic ilio-femoropopliteal aneurysm. Case report. J Cardiovasc Surg (Torino) 38(2):157-159
4. Amberger-Lahrmann M., Schmähl D -Hrsg.- (1993) Gifte. Geschichte der Toxikologie. Fourier, Wiesbaden
5. Augstein R -Hrsg.- (1993) Sieg der Schwachen. Spiegel 32:171-172
6. Augstein R -Hrsg.- (1998) "Operation Rückenwind". Spiegel 25:136-138
7. Barton RNE, Bergman CA (1982) Hunters at Hengistbury: some evidence from experimental archaeology. World Archaeology 14(2):237-248
8. Baumann G -Hrsg.- (1998) Neue Weltrekorde im Weitschießen. Bogensport Magazin 4(1):40-41
9. Beall AC, Patrick TA, Okies JE, et al. (1972) Penetrating wounds of the heart: Changing patterns of surgical management. J Trauma. 12(6):468-473
10. Beckhoff, Klaus (1963<sup>1</sup>) Die Eibenholz-Bogen vom Ochsenmoor am Dümmer. Ein Nachtrag zur Veröffentlichung von Prof. K.H. Jacob-Friesen (1950). Die Kunde. N.F. 14:63-81
11. Beckhoff, Klaus (1963<sup>2</sup>) Die eisenzeitlichen Kriegsbogen von Nydam. Offa (Neumünster) 20:39-48
12. Beckhoff, Klaus (1964) Der Eibenbogen von Vrees. Die Kunde. N.F. 15:113-125
13. Beckhoff, Klaus (1965) Eignung und Verwendung einheimischer Holzarten für prähistorische Pfeilschäfte. Die Kunde. N.F. 16:51-61
14. Beckhoff, Klaus (1966) Zur Morphogenese der steinzeitlichen Pfeilspitze. Die Kunde. N.F. 17:33-65
15. Beckhoff, Klaus (1968) Eignung und Verwendung einheimischer Holzarten für prähistorische Pfeilbogen. Die Kunde. N.F. 19:85-101
16. Beiter W (1989) Der Weg ins Zentrum. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen vom Bogensport. Beiter, Dauchingen (VHS-Videofilm)
17. Berg Steffen, Rolle Renate, Seemann Henning (1981) Der Archäologe und der Tod. Archäologie und Gerichtsmedizin. C.J. Bucher, München, Luzern



18. Bergman CA, McEwen E, Miller R (1982) Experimental archery: projectile velocities and comparison of bow performances. *Antiquity* 62:658-670
19. Bergman CA, Newcomer MH (1983) Flint Arrowhead Breakage: Examples from Ksar Akil, Lebanon. *Journal of Field Archaeology* 10:238-243
20. Berning HP (1955) Eine durch Indianer-Pfeile hervorgerufene Thoraxverletzung. *Dtsch Med Wochenschr.* 80:1147
21. Bersing Otis (1973) *Bow and Arrow Big Game Hunting in Wisconsin*. Quality Printing Company, Neenah
22. Besler K, Kleiber M, Zerkowski HR, Trübner K (1998) Non-lethal penetrating cardiac injury from a crossbow bolt. *Int J Legal Med.* 111:88-90
23. Bill JH (1862) Notes on Arrow Wounds. *Am J Med Sci.* 44:365-387
24. Bill JH (1882) Sabre and Bajonet Wounds; Arrow Wounds. In: *The International Encyclopaedia of Surgery*. Ashhurst, New York, NY Vol. II:101-118
25. Bisset NG (1989) Arrow and Dart Poisons. *Journal of Ethnopharmacology* 12:1-41
26. Bulanda E (1913) *Bogen und Pfeil bei den Völkern des Altertums*. Alfred Hölder, Wien, Leipzig
27. Burns RI (1972) The Medieval Crossbow as Surgical Instrument: An Illustrated Case History. *Bull NY Acad Med* 48(8):983-989
28. Callahan E (1994) The Holmegaard Bow: Fact and Fiction. *Bulletin of primitive Technology.* 8:52-58
29. Cina SJ, Radentz SS, Smialek JE (1998) Suicide using a compound bow and arrow. *Am J Forensic Med Pathol.* 19(1):102-105.
30. Clark JR (1994) *The Use and Misuse of Crossbows in Australia*. A Research Report. Archery Australia Incorporated, Bundoora
31. Claydon SM (1993) A Bolt from the Blue. *Med Sci Law.* 33(4):349-350
32. Clem KJ, Green SM (1996) Emergency medicine expeditions to the developing world: the Loma Linda University experience in Papua New Guinea. *Acad Emerg Med.* 3(6):624-633
33. Combs Roger (1991) Arrow Speed and Penetration. Which is Best – Heavy, Slow or Light, Fast? In: Combs Roger -Hrsg.- (1991) *Archer's Digest*. DBI Books, Northbrook, IL 148-151
34. Cordier G (1990) Blessures préhistoriques animales et humaines avec armes ou projectiles conservés. *Bulletin de la Société Préhistorique Française.* Tome 87, 10-12:462-481
35. Coues E (1866) Some notes on arrow-wounds. *The Medical and Surgical Reporter* 14(17):321-324
36. Daly JW, Garraffo HM, Spande TF, Jaramillo C, Rand AS (1994) Dietary source for skin alkaloids of poison frogs (Dendrobatidae)? *J Chemical Ecology* 20(4):943-955
37. Dasgupta S, Mukherjee R, Ladi BS, Gandhi VH (1990) Pediatric Ocular Trauma - A Clinical Presentation. *J Postgrad Med.* 36(1):20-22

38. Demetriades D, van der Veen BW (1983) Penetrating injuries of the heart: experience over two years in South Africa. *J Trauma*. 23(12):1034-1041
39. Deutscher Schützenbund -Hrsg.- (1994) DSB Sportordnung. Teil 6. Ergänzung zur DSB-Sportordnung vom 1.10.1994. Deutscher Schützenbund e.V., Wiesbaden
40. Deutscher Schützenbund -Hrsg.- (1995) Sportschießen im Deutschen Schützenbund. Deutscher Schützenbund e.V., Wiesbaden
41. Downs JCU, Nichols CA, Scala-Barnett D, Lifschultz BD (1994) Handling and Interpretation of Crossbow Injuries. *J Forensic Sci*. 39(2):428-445.
42. Dutour O (1986) Enthesiopathies (Lesions of Muscular Insertions) as Indicators of the Activities of Neolithic Saharan Populations. *Am J Physical Anthropology*. 71:221-224
43. Eagle RCJr., Shields JA, Canny CL, Thompson RL (1977) Intraocular wooden foreign body clinically resembling a pearl cyst. *Arch Ophthalmol*. 95(5):835-836
44. Eckhard, Holger (1991) Der schwirrende Tod - die Bogenwaffe der Skythen. In: Renate Rolle et.al. -Hrsg.- Gold der Steppe. Archäologie der Ukraine. Wachholz, Neumünster 143 – 149
45. Eckhard, Holger (1996) Pfeil und Bogen. Eine archäologisch-technologische Untersuchung zu urnenfelder- und hallstattzeitlichen Befunden. Leidorf, Espelkamp
46. Egg, Markus (1992) Zur Ausrüstung des Toten vom Hauslabjoch, Gem. Schnals (Südtirol). In: Höpfel, F., Platzer, W., Spindler, K. -Hrsg.- Der Mann im Eis. Band 1. Bericht über das Internationale Symposion 1992 in Innsbruck. Eigenverlag der Universität Innsbruck, Innsbruck
47. Ehrenreich Barbara (1997) Blutrituale. Ursprung und Geschichte der Lust am Krieg. Kunstmann, München
48. Emsley, John (1992) Potent painkiller from poisonous frog. *New Scientist* 1823:14
49. Ervin-Mulvey LD, Nelson LB, Freeley DA (1983) Pediatric Eye Trauma. *Pediatric Clinics of North America*.. 30(6):1167-1183
50. Faber RG (1974) Ureteric injury caused by penetrating arrow wound. *J R Coll Surg Edinb*. 19(4):241-243
51. Fackler ML, Malinowski JA (1985) The wound profile: a visual method for quantifying gunshot wound components. *J Trauma*. 25(6):522-529
52. Fazzioli, Edoardo (1988) Gemalte Wörter. 214 chinesische Schriftzeichen - Vom Bild zum Begriff. Ein Schlüssel zum Verständnis Chinas, seiner Menschen und seiner Kultur. Lübbe, Bergisch Gladbach 135-137
53. Feldhaus FM (1914) Die Technik der Vorzeit, der Geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. Ein Handbuch für Archäologen und Historiker, Museen und Sammler, Kunsthändler und Antiquare. Engelmann, Leipzig, Berlin
54. Feustel, Rudolf (1985) Technik der Steinzeit. Archäolithikum-Mesolithikum. Böhlau, Weimar
55. Finck P A (1965) Ballistic and Forensic Pathologic Aspects of Missile Wounds - Conversion between Anglo-American and Metric-System Units. *Military Medicine* 130(5):545-569

56. Fingleton LJ (1987) Arrow wounds to the heart and mediastinum. *Br J Surg.* 74:126-128
57. Fischer Anders, Vemming Hansen Peter, Rasmussen Peter (1984) Macro and Micro Wear Traces on Lithic Projectile Points. Experimental Results and Prehistoric Examples. *Journal of Danish Archaeology* 3:19-46
58. Flewett, W E (1994) The Compound Bow. Twenty-five years after Allen's patent of December 1969. *Journal of the Society of Archer-Antiquaries* 37:48-55
59. Foley V, Palmer G, Soedel W (1985) The Crossbow. *Sci Am.* 252:80-86
60. Fradet G, Nelems B, Müller NL (1988) Penetrating Injury of the Torso with Impalement of the Thoracic Aorta: Preoperative Value of the Computed Tomographic Scan. *Ann Thorac Surg.* 45(6):680-681
61. Friis-Hansen J (1990) Mesolithic cutting arrows: functional Analysis of arrows used in the hunting of large game. *Antiquity.* 64:494-504
62. Garnerus K (1979) "Antiker Schrott". Ein römisches Instrument zur Extraktion von Pfeilen. *Deutsches Ärzteblatt.* 35:2213-2214
63. Garnerus K (1980) Die Versorgung von Schußverletzungen bei den Römern. In: *Römisches Österreich. Jahresschrift der österreichischen Gesellschaft für Archäologie.* 8:55-64
64. Garrison, Fielding H. (1970) *Notes on the History of Military Medicine.* Olms, Hildesheim, New York
65. Germanisches Nationalmuseum Nürnberg -Hrsg.- (1987) *Germanen, Hunnen und Awaren. Schätze der Völkerwanderungszeit.* Verlag GNM, Nürnberg
66. Gersdorff, Hans von (1976) *Feldbuch der wundartzney 1517.* Antiqua-Verlag, Lindau (Faksimile der Ausgabe von 1517)
67. Gordon YJ, Mokete M (1982) Pediatric ocular injuries in Lesotho. *Doc Ophthalmol.* 53(3):283-289
68. Greenland, Hilary (1998) *Praktisches Handbuch für Traditionelle Bogenschützen.* Verlag Angelika Hörnig, Ludwigshafen
69. Gresham GA (1977) Arrows of outrageous fortune. *Med. Sci. Law* 17(4) 239-240
70. Gurlt, Ernst (1964) *Geschichte der Chirurgie und ihrer Ausübung. Volkschirurgie - Altertum - Mittelalter - Renaissance.* Georg Olms Verlagsbuchhandlung, Hildesheim
71. Guthrie, Dale R. (1983) Osseous Projectile Points: Biological Considerations Affecting Raw Material Selection And Design Among Paleolithic and Paleoindian Peoples. In: Clutton-Brock, J. u.a. -Hrsg.- *Animals and archaeology. 1. Hunters and their prey.* BAR International Series, Oxford 163:273-294
72. Hain, JR (1989) Fatal Arrow Wounds. *J Forensic Sci.* 34(3)691-693
73. Haines JD (1994) Treatment of Arrow Wounds in the American Indian-Fighting Army: The Technique of Brevet Lt. Col. Joseph H. Bill. *J Okla State Med Assoc.* 87:64-68
74. Hamm, J -Hrsg.- (1992) *The Traditional Bowyer's Bible.* Bois d'Arc Press, New York Vol. 1
75. Hamm, J -Hrsg.- (1993) *The Traditional Bowyer's Bible.* Bois d'Arc Press, New York Vol. 2
76. Hamm, J -Hrsg.- (1994) *The Traditional Bowyer's Bible.* Bois d'Arc Press, New York Vol. 3

77. Hansmann Liselotte, Kriss-Rettenbeck Lenz (1977) Amulett und Talisman. Erscheinungsform und Geschichte. Verlag Georg D.W. Callwey, München
78. Hardy, Robert (1992) Longbow. A social and military history. Patrik Stephens Limited, Yeovil
79. Heath, E.G. (1971) The grey goose wing. A history of Archery. Osprey Publications Ltd., Reading
80. Heim, Katja, Wendlandt, KM (1995) Pfeil und Bogen. Bogenschießen als Sport und Hobby. Hugendubbel, München
81. Hein, Joachim (1925/1926) Bogenhandwerk und Bogensport bei den Osmanen nach dem "Auszug der Abhandlungen der Bogenschützen" (telhis resail er-rümat) des Mustafa Kani. Ein Beitrag zur Kenntnis des türkischen Handwerkes und Vereinswesens. Der Islam. Walter de Gruyter & Co., Berlin, Leipzig 14:289-360 / 15:1-78 u. 233-294.
82. Henderson, Al (1993) Bogenschießen verstehen heißt siegen. Robin Sport, Dorsten
83. Hoff, Feliks F. (1993) Kyudo. Die Kunst des japanischen Bogenschießens. Weinmann, Berlin
84. Höhn, Eckhard, Hörnig, Karl-Heinz (1998) Traditionell Tunen. Feinabstimmung von Langbogen und Recurve. Verlag Angelika Hörnig, Ludwigshafen
85. Huiras CM Cogbill TH Strutt PJ (1990) Hunting-related injuries. Wis Med J 89(10):573-576.
86. Hurley, Vic (1975) Arrows against Steel: The History of the Bow. Mason/Charter, New York
87. Hutchinson, David (1997) A pilot study on injuries to archers - an Internet survey. FITA, Lausanne
88. Jacob OJ (1995) Penetrating thoracoabdominal injuries with arrows: experience with 63 patients. Aust NZ J Surg 65(6):394-397
89. Jones Peter N. (1992) The Metallography and Relative Effectiveness of Arrowheads and Armor During the Middle Ages. Materials Characterization 29:111-117
90. Junkelmann, Marcus (1986) Blutige Verluste. In: Die Legionen des Augustus. Zabern, Philipp von, Mainz 249-254 (Taf. 78-79: Maiden Castle!)
91. Junkelmann, Marcus (1992) Die Angriffswaffen der Kavallerie. In: Die Reiter Roms. Teil III: Zubehör, Reitweise, Bewaffnung. Zabern, Philipp von, Mainz, 171-173
92. Junkmanns Jürgen (2001) Pfeil und Bogen. Herstellung und Gebrauch in der Jungsteinzeit. Verlag Museum Schwab, Biel
93. Karger B, Sudhues H, Kneubuehl BP, Brinkmann B (1998) Experimental Arrow Wounds: Ballistics and Traumatology. J Trauma. 45:495-501
94. Karger B, Sudhues H, Brinkmann B (2001) Arrow wounds: major stimulus in the history of surgery. World J Surg. 25(12):1550-5.
95. Karolevitz, Robert F. (1967) Doctors of The Old West. A Pictorial History of Medicine on the Frontier. Superior Publishing Company, Seattle
96. Kaschke KP (1997) Eisenachs Oberbürgermeister bestand Mutprobe für Eintrag ins Guinness-Buch. Thüringer Allgemeine, Eisenach 14.10.1997

97. Kelm, Heinz (1983) Gejagte Jäger. Teil 2. Die Mbía in Ostbolivien. Museum für Völkerkunde, Frankfurt am Main
98. Klopsteg Paul E (1943) Physics of Bows and Arrows. American Journal of Physics 11(4):175-192
99. Kluge, Friedrich (1989) Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. de Gruyter, Berlin, New York
100. Köhler G (1887) Die Entwicklung des Kriegswesens und der Kriegführung in der Ritterzeit von Mitte des 11. Jahrhunderts bis zu den Hussitenkriegen. Verlag von Wilhelm Koebner, Breslau
101. Korfmann, Manfred (1972) Schleuder und Bogen in Südwestasien. Von den frühesten Belegen bis zum Beginn der historischen Stadtstaaten. Rudolf Habelt Verlag, Bonn
102. Krishnamachary M Rathi V Gupta S (1997) Management of traumatic cataract in children. J Cataract Refract Surg. 23 Suppl.1:681-687
103. Krug Antje (1993) Heilkunst und Heilkult: Medizin in der Antike. C.H. Beck, München.
104. Künzl, Ernst (1991) Die Instrumente aus Ephesos und Kos. In: Zimmermann, Susanne, Künzl, Ernst: Die Antiken der Sammlung Meyer-Steineg in Jena. I. Sonderdruck aus: Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, 38. Jahrgang
105. Lake, Fred (1980) The Bow and Arrow. Arrows shot by trained archers from longbows were a deadly weapon capable of killing at 200 yards. War monthly 8(79):22-29
106. Läng Hans (1994) Kulturgeschichte der Indianer Nordamerikas. Gondrom, Bindlach
107. Lennox CE, Pust RE (1979) Surgical experience of tribal warfare in Papua New Guinea. Trop Doct. 9:184-188.
108. Lennox CE, Kia J (1982) Surgery and anaesthesia at Enga Provincial Hospital. P N G Med J. 25(2):100-103
109. Levy V, Rao VJ (1988) Survival time in gunshot and stab wound victims. Am J Forensic Med Pathol. 9:215-217
110. Lewin, L (1971) Die Pfeilgifte. Nach eigenen toxikologischen und ethnologischen Untersuchungen. Gerstenberg, Hildesheim (Reprographischer Nachdruck der Ausgabe Leipzig 1923 – Barth, Leipzig).
111. Lund, M, Schürmann C (1995) Schußversuche zur Wirkung und Schäftung steinzeitlicher Projektilspitzen. In: Fansa, Mamoun -Hrsg.- Experimentelle Archäologie. Bilanz 1994. Isensee, Oldenburg
112. Mann David L., Littke Nancy (1989) Shoulder Injuries in Archery. Can. J. Spt. Sci. 14:2 85-92
113. Marden, L (1980) Bamboo, the giant grass. National Geographic 158(4):502-528
114. Marshall WG, Bell JL, Kouchoukos NT (1984) Penetrating cardiac trauma. J Trauma. 24(2):147-149
115. Martin, Paul (1967) Die Schusswaffen: Bogen und Armbrust. In: Waffen und Rüstungen von Karl dem Großen bis zu Ludwig XIV. Umschau Verlag, Frankfurt/M. 247-252

116. Martinetz, Dieter (1994) Vom Giftpfeil zum Chemiewaffenverbot. Zur Geschichte der chemischen Kampfmittel. Verlag Harri Deutsch, Thun - Frankfurt/M.
117. Mays B, Parfitt A, Hershman MJ (1994) Treatment of arrow wounds by nineteenth century USA Army surgeons. *J R Soc Med* 87(2):102-103
118. McEwen E, Miller RL, Bergman CA (1991) Die Geschichte von Pfeil und Bogen. *Spektrum der Wissenschaft* 8:118-125
119. Mella B (1967) Meningitis resulting from an Arrow Wound. *Dis Nerv Syst* 28(11):743-744
120. Michaelis, Hans-Thorald (1985) Schützengilden. Ursprung - Tradition - Entwicklung. Keyser, München
121. Miller R, McEwen E, Bergman C (1986) Experimental approaches to ancient Near Eastern archery. *World Archaeology*. 18(2) (Weaponry and warfare):178-195
122. Missliwetz J, Wieser I (1985) Medizinische und technische Aspekte der Waffenwirkung. I. Bogen und Armbrust. *Beiträge zur gerichtlichen Medizin*. Wien. 43:437-444
123. Mono J, Hollenberg RD, Harvey JT (1986) Occult transorbital intracranial penetrating injuries. *Ann Emerg Med* 15(5):589-591
124. Mullan FJ, O'Kane OJ, Dasmahapatra HK, Fisher RB, Gibbons JRP (1991) Mediastinal transfixion with a crossbow bolt. *Br J Surg*. 78:972-973
125. Munkenbeck, Friedrich Alexander (1983) Sportverletzungen und Sportschäden beim Bogenschießen. Dissertation. Medizinische Fakultät, Bonn
126. Munkenbeck F A, Menge M (1985) Bogenschießen. In: Pförringer W. -Hrsg.- Sport - Trauma und Belastung. perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft, Erlangen
127. Neal G, Downing EF (1996) Clostridial meningitis as a result of craniocerebral arrow injury. *J Trauma*. 40(3):476-480
128. Newman, John (1989) Bushido. The way of the warrior. Magna Books, Wigston
129. Nickel, Helmut (1974) Die Fernwaffen. In: Ullstein Waffenbuch. Eine kulturhistorische Waffenkunde mit Markenverzeichnis. Ullstein, Berlin Frankfurt/M. Wien
130. Odell GH, Cowan F (1986) Experiments with Spears and Arrows on Animal Targets. *Journal of Field Archaeology* 13:195-212
131. O'Neill OR, Gilliland G, Delashaw JB, Purtzer TJ (1994) Transorbital penetrating head injury with a hunting arrow: case report. *Surg Neurol* 42(6):494-497
132. Onuma Hideharu, DeProspero Dan, Deprospero Jackie (1993) Kyudo. The Essence and Practice of Japanese Archery. Kodansha International, Tokyo New York London
133. Opeskin K, Burke M (1994) Suicide Using Multiple Crossbow Arrows. *Am J Forensic Med Pathol*. 15(1):14-17
134. Owegi N (1970) Retained arrowheads. *Radiography* 36(430):260
135. Pahor AL, Cole J (1995) The Birmingham mummy: the first torticollis in history. *The Journal of Laryngology and Otology* 109:273-276
136. Pandey S, Sinha SN, Jha B, Sahay LK, Tiwary RN (1972) An unusual arrow injury. *Int Surg* 57(7):589

137. Paucic-Kirincic E, Prpic I, Gazdik M, Kriz M, Vojnikovic B, Golubovic V (1997) Transorbital penetrating brain injury caused by a toy arrow: a case report. *Pediatr Rehabil* 1(3):191-193
138. Paulsen Harm (1990<sup>1</sup>) Die Herstellung von oberflächenretuschierten Dolchen und Pfeilspitzen. In: *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland. Beiheft. Oldenburg.* 4:279-282.
139. Paulsen, Harm (1990<sup>2</sup>) Schußversuche mit einem Nachbau des Bogens von Koldingen, Ldkr. Hannover. In: *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland. Beiheft. Oldenburg.* 4:298-305.
140. Paulsen, Harm (1994) Der querschneidige Pfeil vom Petersfelder Moor, Bad Zwischenahn, Landkreis Ammerland. *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland. Oldenburg.* 17:5-14.
141. Payne-Gallwey Ralph (1990) *The Crossbow. Mediaeval and Modern, Military and Sporting. Its Construction, History & Management.* The Holland Press, London
142. Pope Saxton T (1923) A study of bows and arrows. *Univ Calif Publ Am Archaeol Ethnol* 13(9):329-414, plates 45-64.
143. Pope, Saxton T. (1930) *Bows and Arrows. A Study of Bows and Arrows.* University of California Press, Berkeley
144. Pope Saxton T (1985) *Jagen mit Bogen und Pfeil.* RobinSport, Dorsten
145. Prag AJNW, Musgrave JH, Neave AH (1984) The Skull from Tomb II at Vergina: King Philip of Macedon. (Plates II-VII). *Journal of Hellenic Studies* CIV:60-78
146. Prag AJNW (1990) Reconstructing King Philip II: The "Nice" Version. *American Journal of Archaeology* 94:237-247
147. Rademacher, Cay (1999) Die Pest. Der rasende Tod. In: *GEO EPOCHE Nr.2: Das Mittelalter. Ein neuer Blick auf 1000 rätselhafte Jahre.* 56-71
148. Randall B, Newby P (1989) Comparison of Gunshot Wounds and Field-Tipped Arrow Wounds Using Morphologic Criteria and Chemical Spot Tests. *J Forensic Sci* 34(3):579-586
149. Rayan Ghazi M. (1992) Archery-Related Injuries of the Hand, Forearm, and Elbow. *Southern Medical Journal.* 85(10):961-964
150. Reedstrom EL (1990) Silent Death. *Old West, Fall* 20-25
151. Rees G (1993) The longbow's deadly secrets. *New Scientist.* June:24-25
152. Riesch Holger (1999) Untersuchungen zu Effizienz und Verwendung alamannischer Pfeilspitzen. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 29:567-582
153. Rogers C, Dowell BS, Choi JH, Sathyavaggiswaran L (1990) Crossbow Injuries. *J Forensic Sci* 35(4):486-890
154. Rolle, Renate (1980) *Die Welt der Skythen. Stutenmelker und Pferdeboegner: Ein antikes Reitervolk in neuer Sicht.* Bucher, Luzern Frankfurt/M. 72-99
155. Rolle, Renate (1995) Betrachtungen zur Heilkunde antiker Reiternomaden aus archäologischer Sicht. In: *Saternus KS, Bonte W: Forensische Osteologie; Anthropologie,*

- Biomechanik, Klinik, Archäologie; Festschrift für Steffen Berg. Schmidt-Römhild, Lübeck 185-211
156. Rousseau AP (1979) Ocular Trauma in Sports. In: MacKenzie Freeman H -Hrsg.- Ocular Trauma. Appleton-Century-Crofts, New York
  157. Salazar CF (1998) Getting the point: Paul of Aegina on arrow wounds. *Sudhoffs Arch Z Wissenschaftsgesch.* 82(2):170-87
  158. Salem AA, Eyres KS, Magides AD, Cleary J (1990) Penetrating brain stem injury from crossbow bolt: a case report and review of the literature. *Arch Emerg Med* 7(3):224-227
  159. Salvino CK, Origitano TC, Dries DJ, Shea JF, Springhorn M, Miller CJ (1991) Transoral crossbow injury to the cervical spine: an unusual case of penetrating cervical spine injury. *Neurosurgery* 28(6):904-907
  160. Saw EC, Arbegast NR, Comer TP (1973) Crossbow Arrow Injury of the Abdomen. *Arch Surg* 106(5):721
  161. Schmidt, Kurt -Hrsg.- (1989) Buddhas Reden. *Majihimanikaya: Die Sammlung der mittleren Texte des buddhistischen Pali-Kanons.* Kristkeiz, Leimen 192-194
  162. Schramm E (1904) Bemerkungen zu der Rekonstruktion griechisch-römischer Geschütze. *Jahrbuch der Gesellschaft für lothringische Geschichte und Altertumskunde* 16:142-160
  163. Schröter Harald (1983) Roger Ascham. *Toxophilus. The Schole of Shootinge.* London 1545. Richarz, Sankt Augustin
  164. Schroeter, Willy (1987) *Die Jagd- und Kriegswaffen der Indianer Nordamerikas.* Verlag für Amerikanistik, Wyk auf Foehr
  165. Schultz, Michael (1994) Leben, Krankheit und Tod - Skelettfunde als Spiegel der Lebensbedingungen. In: Jockenhövel A, Kubach W -Hrsg.- *Bronzezeit in Deutschland.* (Sonderheft der Zeitschrift "Archäologie in Deutschland", 1994) . Thiess : Stuttgart 15-17
  166. Sellier Karl, Kneubuehl Beat (1992) *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen.* Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest
  167. Sellier K, Kneubuehl BP (1994) *Wound Ballistics and the Scientific Background.* Amsterdam : Elsevier, 188-206
  168. Sharma T, Agarwal P, Gopal L, Badrinath SS, Murugesan R (1994) Penetrating ocular trauma in children by "broomstick bows and arrows". *Ophthalmic Surg* 25(3):175-179
  169. Sharp PT (1981) "Pierced by the arrows of this ghostly world" - a review of arrow wounds in Enga Province. *P N G Med J* 24(3):150-163
  170. Singh RJ, Singh NK (1985) Arrow Injury. *J Indian Med Assoc* 83(2):65-66
  171. Skinner, Henry Alan (1970) *The Origin of medical Terms.* Hafner, New York 361, 407
  172. Spitz WU, Petty CS, Fisher RS (1961) Physical activity until collapse following fatal injury by firearms and sharp pointed weapons. *J Forensic Sci* 6:290-300
  173. Stirland Ann (1988) Diagnosis of occupationally related paleopathology: Can it be done? *Zagreb Paleopathology Symp.* 40-47



174. Stirland A.J. (1993) Asymmetry and Activity-related Change in the Male Humerus. *International Journal of Osteoarchaeology*. 3:105-113
175. Stockel, H. Henrietta (1995) *The Lightning Stick: Arrows, Wounds, and Indian Legends*. University of Nevada Press, Reno Las Vegas London
176. Stockinger, Günther (2001) Mord im Similaun. *Spiegel* 31:171
177. Stodiek, Ulrich (1993) Zur Technologie der jungpaläolithischen Speerschleuder. Eine Studie auf der Basis archäologischer, ethnologischer und experimenteller Erkenntnisse. Inaugural-Dissertation. Verlag Archäologica Venatoria, Tübingen
178. Stodiek Ulrich, Paulsen Harm (1996) Mit dem Pfeil, dem Bogen... . Technik der steinzeitlichen Jagd. (Begleitschrift zu einer Ausstellung des Staatlichen Museums für Naturkunde und Vorgeschichte Oldenburg.) In: Fansa Mamoun -Hrsg.- *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Beiheft 16*. Isensee, Oldenburg
179. Sudhues, Hubert (2000) Der Bogen als Musikinstrument. *Traditionell Bogenschiessen* 18: 11-14
180. Sudhues, Hubert (2001<sup>1</sup>) Der Bogen als Werkzeug. Teil 1 - Der Bohrer. *Traditionell Bogenschiessen* 19:44-48
181. Sudhues, Hubert (2001<sup>2</sup>) Der Bogen als Werkzeug. Teil 2 - Die Drehbank. *Traditionell Bogenschiessen* 20:44-48
182. Sudhues, Hubert (2002) Archers Shoulder & Archers Brain. Anmerkungen zum Thema Schulterschmerz. *Traditionell Bogenschiessen* 24:16-17
183. Sunzi (1996) *Die Kunst des Krieges*. Knaur, München
184. Takvam JA, Midelfart A (1993) Survey of eye injuries in Norwegian children. *Acta Ophthalmol (Copenh.)* 71(4):500-505
185. Taupin JM (1998) Arrow damage to textiles - analysis of clothing and bedding in two cases of crossbow deaths. *J Forensic Sci* 43(1):205-207
186. Thordeman, Bengt (1939) *Armour from the Battle of Wisby 1361*. Vol. I (Text) + Vol. II (Plates) Kungl Vitterhets Historie och Antikvitets Akademien, Stockholm
187. Toellner, Richard -Hrsg.- (1986) *Illustrierte Geschichte der Medizin*. Andreas & Andreas, Salzburg
188. Ugwu BT, Yiltok SJ, Dakum NK, Ode GO, Ameh VY (1998) An unusual chest impalement. *West Afr J Med*. 17(1):55-57
189. Umarow, Makhmoud (1963) Die Psyche des Schützen. Besonderheiten der psychologischen Vorbereitung. Deutscher Schützenbund, Wiesbaden
190. van Gurp G, Hutchinson TJ, Alto WA (1990) Arrow Wound Management in Papua New Guinea. *J Trauma*. 30(2):183-188
191. Virgilio LA, Dujon E, Oz M (1972) Penetrating arrow wound of the chest. *Del Med J* 44(1):7
192. Visvanathan R (1988) Penetrating arrow injuries. *Br J Surg* 75(7):647-648

193. Weineck Jürgen (1986) Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft, Erlangen
194. Weineck Jürgen (1992) Sportbiologie. PERIMED-spitta Medizinische-Verlagsgesellschaft, Erlangen
195. Weineck Jürgen (1994) Sportanatomie. PERIMED-spitta Medizinische-Verlagsgesellschaft, Balingen
196. Wells, Calvin (1967) Diagnose 5000 Jahre später. Krankheit und Heilkunst in der Frühzeit des Menschen. Gustav Lübbe, Bergisch Gladbach 50-57
197. Wheeler Robert E.M. (1943) Maiden Castle, Dorset. Reports of the Research Committee of the Society of Antiquaries of London, No. XII. The Society of Antiquaries, Oxford
198. Williamson, Rick (2001) Waffe Zauber Medizin. Der Bogen im Leben der Ni-Vanuatu. Traditionell Bogenschiessen 20:30-35
199. Wilson, Thomas (1901) Arrow Wounds. Am Anthropol 3:512-531 (PLATES XVIII & XIX !)
200. Winkle, Stefan (1997) Geiseln der Menschheit. Kulturgeschichte der Seuchen. Artemis und Winkler, Düsseldorf Zürich
201. Zimmermann, S., Künzl, E. (1991) Die Antiken der Sammlung Meyer-Steineg in Jena. Sonderdruck aus: Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, 38. Jahrgang, Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz

## 6.2 Bibliographien

202. Devermann, Hermann; Fansa, Mamoun (1994) Bibliographie zur Experimentellen Archäologie. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Beiheft 7. Isensee Oldenburg
203. Lake, Fred; Wright, Hal (1974) Bibliography of Archery. The Simon Archery Foundation, Manchester

## 6.3 Enzyklopädien

204. Butler David F. (1968) The New Archery. A.S. Barnes Company, New York
205. Encyclopædia Britannica, Inc. -Hrsg.- (1999) Britannica CD, Version 99., Encyclopædia Britannica, Inc., Chicago
206. Daniel G (1996) Enzyklopädie der Archäologie. Nikol, Hamburg
207. Harding, David -Hrsg.- (1993) Waffen-Enzyklopädie. 7000 Jahre Waffengeschichte. Motorbuch-Verlag, Stuttgart
208. Hougham, Paul (1958) The Encyclopedia of Archery. A.S. Barnes Company, New York
209. Kinseher Richard (2002) Der Bogen in Kultur, Musik und Medizin, als Werkzeug und als Waffe. Books on Demand, Norderstedt
210. Paterson, W.F. (1984) Encyclopaedia of Archery. Robert Hale, London

# Abbildungsverzeichnis

( Die Hochzahlen beziehen sich auf die Quellen im Literaturverzeichnis)

Abb. 1.1.-1: Steinbock- oder Wildziegenjagd im Mesolithikum. Cueva de los Caballos, Spanien 178.....	1
Abb. 1.1.-2: Jagddistanzen 178 .....	2
Abb. 1.1.-3: Stellmoor-Pfeil 178 .....	3
Abb. 1.1.-4: Holmegaard-Bogen 178 .....	3
Abb. 1.1.-5: Mesolithische Darstellung einer Schlacht. Felsmalerei von 'les Dogues' 10.....	4
Abb. 1.1.-6: Todesursache eines archäologischen Jahrhundertfundes. 176.....	5
Abb. 1.1.-7: Maiden Castle - Schädelverletzung durch „arcuballista“ 197 .....	6
Abb. 1.2.–1: Von dorsal in einen Wirbel eingedrungene knöcherne Pfeilspitze 79 .....	9
Abb. 1.2.–2: Schädel aus Wisby mit fraglichen Bolzeneinschüssen und großem oktagonalem Defekt (Streitax?) 186 .....	10
Abb. 1.2.–3: Spitzen von Armbrustbolzen und Morgenstern-Nägel aus Wisby 186 .....	10
Abb. 1.2.–4: Leopoldau - Verletzungen durch Schwert und Pfeil 65, .....	11
Abb. 1.2.-5: Leopoldau - Rekonstruktion des Kampfes 65 .....	11
Abb. 1.2.–6: "Löffel des Diokles" 201.....	14
Abb. 1.2.–8: Mittelalterliche Pfeilextraktion in Schussrichtung 78 .....	17
Abb. 1.2.–9: „Chirurgische Homöopathie“: Extraktion mittels Armbrust 27 .....	18
Abb. 1.2.–10: von Gersdorff - Unmittelbare Wundversorgung 66.....	19
Abb. 1.2.–11: Gersdorff - Zeichen des Todes 66.....	20
Abb. 1.2.–12: Andrea Dalla Croce: Pfeilspitzen und chirurgische Instrumente 70 .....	21
Abb. 1.2.–13: Anschlingung einer im Knochen fixierten Pfeilspitze 24 .....	23
Abb. 1.2.–14: Bill's Extraktionszange 24.....	24
Abb. 1.2.–15: Sebastianspfeile 77 .....	25
Abb. 1.2.–16: Trepanation. a Bogen aus Kolophon, b , c Bogen und Trepan aus Bingen. 103.....	26
Abb. 1.3.-1: Langbogen 118 .....	28
Abb. 1.3.- 2: Kompositbogen 118 .....	30
Abb. 1.3.- 3: Moderner ("Olympischer") Recurvebogen 39.....	31
Abb. 1.3.- 4:Compound-Bogen 39 .....	32
Abb.1.3.- 5: Kraft-Zug-Kurve (Grafik auf der Basis eigener Daten) .....	33
Abb. 1.3.- 6: Hysterese 98 .....	33
Abb. 1.3.- 7: Mittelalterliche Armbrust 207 .....	35
Abb. 1.3.- 8: Bolzen 207.....	35
Abb. 1.3.- 9: Spannweisen 207 .....	36
Abb. 1.3.- 10: Moderne Feldarmbrust 40 .....	36
Abb. 1.3.- 11: Chinesische Repetierarmbrust 207 .....	37
Abb. 1.3.- 12: Pfeil 80.....	37
Abb. 1.3.- 13: Steinzeitliche Stein- und Feuerstein-Pfeilspitzen 78.....	39

Abb. 1.3.- 14: Mittelalterliche Pfeilspitzen 78 .....	39
Abb. 1.3.- 15: Kraft-Zug-Kurve (eigene Untersuchung) .....	41
Abb. 1.3.- 16: Archer's Paradox 59 .....	42
Abb. 1.3.- 17: Sehnenweg 101 .....	43
Abb. 1.3.- 18: Drallose Stabilisierung: Pfeil- (a) und Flügelstabilisierung (b) 166 .....	44
Abb. 1.3.- 19: Schraubenförmiger Schusskanal in Seife (eigene Untersuchung).....	45
Abb. 1.3.- 20: Leistungsbestimmende Muskulatur beim Gewehr- und Armbrustschießen 195.....	46
Abb. 1.3.- 21: Leistungsbestimmende Muskulatur beim Bogenschießen 195.....	47
Abb. 2.- 1. Englischer Langbogen.....	61
Abb. 2.- 2. Knochenspitzen: spitz-konisch, blattförmig und dreieckig.....	62
Abb. 2.- 3. Querschneider und Dreiecksspitze aus Feuerstein.....	63
Abb. 2.- 4. Bronzespitzen: bärtig und blattförmig.....	63
Abb. 2.- 5. Mittelalterliche Jagdspitze und Halbmond aus Stahl.....	64
Abb. 2.- 6. Bodkin-Spitzen: englisch vier- und dreikant, süd- und norddeutsch (v.l.n.r.).....	64
Abb. 2.- 7. Messing Bullet Point.....	65
Abb. 2.- 8. Heulspitze (Singing Arrow).....	65
Abb. 2.- 9 Querschnittsbelastung (g/mm <sup>2</sup> ).....	67
Abb. 2.- 10. Compoundbogen PSE FIRE FLITE EXPRESS.....	68
Abb. 2.- 11. Jagdspitze (Broadhead) PSE BRUTE LITE 3 VENTED und Feldspitze (Field-Tip).....	69
Abb. 2.- 12. Armbrust EAGLE (Frankonia Würzburg).....	70
Abb. 2.-13 Kraft-Zug-Kurve .....	72
Abb.2.-14 Gespeicherte Energie.....	73
Abb. 3-1. Bugwellenphänomen (Feuerwaffengeschoss).166 .....	85
Abb. 3.-2. Kunstknochen: Schussbruch mit Biegungskeil durch Jagdspitze .....	85
Abb. 3.-3. Kunstknochen: Schussbruch mit Radiärfraktur und Biegungskeil durch Feldspitze .....	86
Abb. 3.-4. Kunstknochen: Tangentialer Treffer mit Fragmentaussprengung.....	87
Abb. 3.-5. Halbmond in Seife: Schraubenförmiger Schusskanal.....	88
Abb. 3.-6. Aufgesetzter Schuss: Ausführung mit aufgesetztem Fußbügel .....	93
Abb. 3.-7. Aufgesetzter Schuss: Eindringen in den Thorax bis zur Befiederung .....	94
Abb. 3.-8. Dreilappiger Einschuss mit dreiflügeliger Jagdspitze .....	98
Abb. 3.-9. Länglicher Einschuss mit schneidender Spitze.....	99
Abb. 3.-10. Ultralange Einschusswunde mit Halbmond.....	99
Abb. 3.-11. Runde Einschusswunde.....	100
Abb. 3.-12 Wundkanal einer Jagdspitze in der Oberschenkelmuskulatur eines Schweines. ....	104
Abb. 3.-13. Ausschusswunden im Peritoneum.....	104
Abb. 3.-14. Magen- und Darmperforation mit Scheiben- und Jagdspitze.....	105
Abb. 3.-15. Fischmaulartiger Defekt der Darmwand nach Treffer mit schneidender Spitze.....	105
Abb. 3.-16. Keilförmig klaffender Defekt eines Leberlappens und Teilabtrennung eines anderen.....	106
Abb. 3.-17. Perforation von Leberrand und Dickdarm mit steinzeitlicher Knochenspitze.....	106

Abb. 3.-18. Perforation der Lunge mit Scheibenpfeil .....	107
Abb. 3.-19: Jagdspitzentreffer eines Wirbelkörpers mit Fixierung des Darmes.....	107
Bei 11 Uhr sind schlitzförmige Darmdefekte mit Austritt von Darminhalt zu erkennen. (Pfeil Nr. 55, J3).....	107
Abb. 3.-20.: Jagdspitzentreffer eines Wirbelkörpers (Abb. 3-19) Sekundäre Radiärfraktur im Klingerverlauf.....	108
Abb. 3.-21. Jagdspitzentreffer eines Wirbelkörpers (Abb. 3-19): Aussprengung eines großen Knochenfragmentes. ....	108
Abb. 3.-22. Femur mit steckender Jagdspitze .....	109
Abb. 3.-23. Präparierter Femur mit ausgesprengten Knochenfragmenten. ....	109
Abb. 3.-24. Keilexzision aus dem Femurkopf durch Jagdklinge in situ.....	110
Abb. 3.-25. Keilexzision aus dem Femurkopf (Abb. 3-24): Resektat und zugehöriger Pfeil. ....	110
Abb. 3.-26. Keilexzision aus dem Femurkopf (Abb. 3-24): Präparat.....	111
Abb. 3.-27. Spaltung des Femurkopfes durch J3-Jagdklinge: Präparat. ....	111
Abb. 3.-29. Rippendurchschuss mit Biegungskeil: Präparat.....	112
Abb. 3.-30. Rippentreffer mit moderner Jagdklinge: Präparat. ....	113
Abb. 3.-31 Rippentreffer mit Feuersteinquerschneider: Präparat. ....	113
Abb. 3.-32.: Lösung der Pfeilspitze nach Treffer in die Halsweichteile.....	114
Abb. 3.-33. Flint-Querschneider nach Rippentreffer: Minimaler Kantendefekt, diskrete Kippung im Schaft, Lösung der Sehnenwicklung.....	115
Abb. 3.-34. Oben: Feuersteinspitze mit Spitzendefekt und diskreter Kippung im Schaft nach Rippentreffer.....	115
Abb. 3.-35. Beschädigte Bronzespitzen.....	116
Abb. 3.-37 Mittelalterliche Jagdspitze (Pfeil Nr. 21, ED) aus Abb. 3-36 in der seitlichen Ansicht.....	117
Abb. 3.-38 Verbiegung mittelalterlicher Bodkin-Spitzen.....	117
Abb. 3.-39. Verbiegungen und Klingentrübe bei Jagdspitze nach Oberschenkelzertrümmerung .....	118

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.4. – 1 Spielunfälle .....	49
Tabelle 1.4. – 2 Flight Championships 1997, Austin/ Nevada <sup>8</sup> .....	51
Tabelle 1.4. – 3 Kyudo: Disziplinen <sup>83</sup> .....	52
Tabelle 1.4. – 4 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001 laut IHEA.....	54
Tabelle 1.4. – 5 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001: Armbrust (IHEA) .....	54
Tabelle 1.4. – 6 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001: Bogen (IHEA) .....	55
Tabelle 1.4. – 7 Jagdunfälle in Nordamerika 1994-2001: Unfallumstände (IHEA).....	55
Tabelle 1.4. – 8 Sonstige Unfälle .....	56
Tabelle 1.4. – 9 Suizid / Suizidversuch .....	57
Tabelle 1.4. – 10 Mord / Mordversuch .....	57
Tabelle 1.4. – 11 Krieg .....	59
Tabelle 1.4. – 12 Zusammenfassung Kasuistik.....	60
Tabelle 2. – 1 Synopsis der mit dem Langbogen verwendeten Pfeilspitzenformen und Materialien .....	65
Tabelle 2. – 2 Durchschnittliche Querschnittsbelastung (g/mm <sup>2</sup> ) .....	66
Tabelle 2. – 3 Kraft-Zug-Tabelle der verwendeten Bögen. ....	72
Tabelle 2. – 4. Synopse der verwendeten Pfeilspitzen .....	74
Tabelle 3. - 1 Experimentell ermittelte Pfeilgeschwindigkeiten und resultierende "Mündungsenergie".....	77
Tabelle 3. - 2 Durchschnittliche Pfeilgeschwindigkeit, Geschwindigkeitsverlust und "Mündungsenergie".....	77
Tabelle 3. - 3 Geschwindigkeitsverlust und gemessene/errechnete Geschwindigkeiten auf verschiedene Distanzen .....	78
Tabelle 3. - 4 Durchschnittliche "Mündungs-" und Zielenergie.....	78
Tabelle 3. - 5 Ballistische Daten von Patronen <sup>166</sup> und der experimentell verwendeten Bögen und Pfeile.....	79
Tabelle 3. - 6 Penetration in Seife mit Langbogen (Werte). ....	79
Tabelle 3. - 7 Penetration in Seife mit Langbogen (Durchschnittswerte).....	80
Tabelle 3. - 8 Penetrationstiefe in Seife mit Compound (Werte) .....	80
Tabelle 3. - 9 Penetration in Seife mit Compound (Durchschnittswerte) .....	80
Tabelle 3. - 10 Penetrationstiefe in Seife mit Armbrust (Werte) .....	81
Tabelle 3. - 11 Penetration in Seife mit Armbrust (Durchschnittswerte) .....	81
Tabelle 3. - 12 Penetration in Seife (Durchschnittswerte, sortiert nach Penetrationstiefe Pd)....	81
Tabelle 3. - 13 Penetration in Gelatine mit Langbogen (Werte) .....	82
Tabelle 3. - 14 Penetration in Gelatine mit Langbogen (Durchschnittswerte).....	82
Tabelle 3 - 14 Penetration in Gelatine mit Compound (Werte) .....	82

Tabelle 3. - 15 Penetration in Gelatine mit Compound (Durchschnittswerte; *=incl. Ausschussstrecke).....	83
Tabelle 3. - 16 Penetration in Gelatine mit Armbrust (Werte) .....	83
Tabelle 3. - 17 Penetration in Gelatine mit Armbrust (Durchschnittswerte) .....	83
Tabelle 3. - 18 Penetration in Gelatine (Durchschnittswerte; *=incl. Ausschussstrecke) .....	84
Tabelle 3. - 19 Beschuss von Kunstknochen mit dem Compound .....	85
Tabelle 3. - 20 Schraubenförmiger Schusskanal.....	87
Tabelle 3. - 21 Penetration in Seife Pd <sub>S</sub> und Gelatine Pd <sub>G</sub> .....	88
Tabelle 3. - 22 Penetration im Schweinekadaver mit Langbogen .....	90
Tabelle 3. - 23 Penetration im Schweinekadaver mit Compound.....	92
Tabelle 3. - 23 Penetration im Schweinekadaver mit Armbrust.....	92
Tabelle 3. - 24 Aufgesetzter Schuss mit Armbrust .....	93
Tabelle 3. - 25 Schwein: Weichteiltreffer mit Knochenbeteiligung mit Langbogen.....	95
Tabelle 3. - 26 Schwein: Weichteiltreffer mit Langbogen, Sonderfälle .....	95
Tabelle 3. - 27 Schwein: Weichteiltreffer mit Knochenbeteiligung mit Compound .....	96
Tabelle 3. - 28 Schwein: Weichteiltreffer mit Knochenbeteiligung mit Armbrust.....	96
Tabelle 3. - 29 Morphologie der Einschusswunden .....	97
Tabelle 3. - 30 Morphologie der Ausschusswunden .....	101
Tabelle 3. - 31 Weichteilverletzungen Langbogen.....	102
Tabelle 3. - 32 Weichteilverletzungen Compound .....	102
Tabelle 3. - 33. Weichteilverletzungen Armbrust .....	102
Tabelle 3. - 34 Weichteil- und Knochenverletzungen Langbogen .....	103
Tabelle 3. - 35 Weichteil- und Knochenverletzungen Compound .....	103
Tabelle 3. - 36 Weichteil- und Knochenverletzungen Armbrust .....	103

# Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Univ.-Prof. Dr. B. Brinkmann als Direktor des Rechtsmedizinischen Institutes der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster für die Vergabe des Dissertationsthemas und die wohlwollende Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit.

Herrn PD Dr. med. Bernd Karger vom Rechtsmedizinischen Institut der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, der mich besonders beim experimentellen Teil der Arbeit unterstützt und betreut hat.

Herrn Beat P. Kneubuehl vom Bundesamt für Waffensysteme und Munition (Fachabteilung 26 in Thun/Schweiz) für die großzügige Unterstützung bei der Durchführung der Schusseexperimente auf Seife und Gelatine sowie seine Anregungen zum Thema „Physik des Bogenschießens“.

Herrn Dr. med. vet. Reinelt vom Schlachthof in Moers für die unbürokratische Unterstützung, die den experimentellen Beschuss von transportverendeten Schweinen überhaupt ermöglichte.

Herrn Harm Paulsen vom archäologischen Museum Schleswig, der mir Mut gemacht hat, meine Idee zu realisieren und der mir, insbesondere was den archäologischen Teil der Arbeit angeht, entscheidende Tipps und Ratschläge gegeben hat.

Herrn Dipl. Bibl. Dieter Steuer von der Abteilung Fernleihe der Stadtbibliothek Bocholt für seinen unermüdlichen Einsatz bei der Literaturbeschaffung.

Schließlich möchte ich all denen danken, die mir durch Rat und Tat die Arbeit erleichtert und den Rücken gestärkt haben.



# Lebenslauf

Hubert Sudhues  
Im Jägeringshof 19  
D – 46399 Bocholt

## Persönliches

geb.: am 13. Februar 1957 in Hamm/Westfalen  
Vater: Friedrich Sudhues;  
Mutter: Mathilde Sudhues geb. Ostermann

## Schulausbildung

06-1978 Abitur am Kopernikus-Gymnasium, Neubeckum

## Zivildienst

1978 - 1979 St. Elisabeth-Hospital, Beckum

## Studium

1979 - 1987 Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Praktisches Jahr im Klinikum Minden  
(Wahlfach Anästhesie)

## Ärztliche Tätigkeit

10-1987 - 07-1988 Institut für Anaesthesiologie, Klinikum Minden  
08 1988 - 12-1989 Allgemeinchirurgische Abteilung,  
St.Agnes-Hospital, Bocholt  
01-1990 - 04-1991 Unfallchirurgische Abteilung,  
St.Agnes-Hospital, Bocholt  
05-1991 - 01-1992 Innere Abteilung Krankenhaus Maria-Hilf, Stadtlohn  
02-1992 - 12-1992 Fachklinik für Psychotherapie  
und Psychosomatik, Gelderland-Klinik, Geldern  
01-1993 - 03-1993 Allgemeinmedizinische Praxis,  
Dr. med. P. Blumentrath, Velen-Ramsdorf  
03-1993 Facharzt für Allgemeinmedizin  
05-1993 Aufgabe der ärztlichen Tätigkeit aus gesundheitlichen  
Gründen

## Privat

seit 1982 aktiver Bogenschütze  
seit 1984 Langbogenschütze  
1992 Gründungsvorsitzender Feldbogenschützen Rhede e.V.