



Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest

Die Geschichte der Armbrust und die Herstellung einer Armbrustreplik

Vorgelegt von:

Adam Thiele

Maschinenbauingenieur-Student

Fahrzeugherstellung und –Reparatur Lehrstuhl

Betreuer:

Edit Zsinka

Sprachlehrerin

Fremdsprache Zentrum

Budapest, 2010.

Inhalt

Einführung	6
I. Die Geschichte der Armbrust	7
1.1. Die antike Armbrust	7
1.2. Die römische und die frühmittelalterliche Armbrust	9
1.3. Die romanische Armbrust	9
1.4. Die gotische Armbrust	11
1.5. Die Armbrust in der Renaissance	16
1.6. Die Armbrust im Barock	18
1.7. Zusammenfassung	20
II. Die Herstellung eine zeitgetreue Renaissance Jagdarmbrustreplik	22
2.1. Die originale Armbrust aus dem Déri-Museum	22
2.2. Die Armbrustreplik und die Zubehöre	23
2.2.1. Die Armbrust	25
2.2.1.1. Die Herstellung der Säule	25
2.2.1.2. Die Herstellung des Stahlbogens	29
2.2.1.3. Die Herstellung des Einbundes	32
2.2.1.4. Die Herstellung der Bogensehne	32
2.2.1.5. Die Herstellung des dreiachsigen Nußschloßes	34
2.2.2. Die Zahnstangewinde	38
2.2.3. Der Stechstift	40
2.2.4. Die Bolzen	40
2.3. Zusammenfassung	41

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Die spätmittelalterliche Armbrust und die Zubehöre.	2.
Abb. 2a:	Chinesische Säule einer Armbrust aus dem Alterum.	3.
Abb. 2b:	Klinkenschloß.	3.
Abb. 3:	Gastraphetes.	3.
Abb. 4:	Römischen Armbrust.	4.
Abb. 5:	Nußteil und Handgriff einer frühmittelalterlichen Armbrust.	4.
Abb. 6a:	Romanischer Armbrustschütze.	5.
Abb. 6b:	Romanisches Nußschloß.	5.
Abb. 7a:	Armbrust-spannung mit den Händen in die früh-romanische Zeiten.	5.
Abb. 7b:	Armbrust-spannung mit den Beine und Rücken in die spät-romanische Zeiten.	5.
Abb. 8a:	Armbrustschütze spannt die Waffe stehend.	6.
Abb. 8b:	Armbrustschütze spannt die Waffe kniend.	6.
Abb. 9:	Gotischen Einfußarmbrust.	7.
Abb. 10a:	Nußschloß beim Schießen.	8.
Abb. 10b:	Nußschloß bei der Spannung.	8.
Abb. 11:	Mitteleuropäischen spätgotischen Windarmbrust.	8.
Abb. 12a:	Das mechanisches Modell der Nuß.	9.
Abb. 12b:	Nußschloß mit starrer Bolzenachse.	9.
Abb. 12c:	Nußschloß mit locker Fadenachse.	9.
Abb. 13:	Zweiachsiges Windarmbrustschloß der Endgotik.	10.
Abb. 14a:	Langschnitt und Durchschnitt des gotischen Hornschießbogen.	10.
Abb. 14b:	Durchschnitt ein Süddeutsches gotischen Hornschießbogen.	10.
Abb. 15:	Mitteleuropäische Armbrustsäule aus der Renaissance.	12.
Abb. 156a:	Dreiachsige Nußschloßkonstruktion, Renaissance.	13.
Abb. 165b:	Dreiachsige Nußschloßkonstruktion mit Schneller, Renaissance.	13.
Abb. 16c:	Klappenschloß.	14.

Abb. 17:	Statische Analysis des Klappenschloß.	14.
Abb. 18:	Säule einer Schiebarmbrust, Barock.	14.
Abb. 19:	Spannung mit Wippe.	15.
Abb. 20:	Originale Armbrust aus dem Déri-Museum.	17.
Abb. 21:	Montagebild der Armbrustreplik	19.
Abb. 22:	Zwei Kochprozesse der Knochen.	21.
Abb. 23:	Die Einklebung der Knocheneinlagen und mit Gummiband zueinander gedruckte Oberflächen.	22.
Abb. 24:	Seitenknocheneinlagenherstellung.	23.
Abb. 25:	Minuziös geritzte Knocheneinlage.	23.
Abb. 26b:	Finite Element Analysis über das Biegen eines Stahlbogenhalbarmes mit wechselndem Durchschnitt.	24.
Abb. 26a:	Finite Element Analysis über das Biegen eines Stahlbogenhalbarmes mit beständigem Durchschnitt.	24.
Abb. 27:	Stahlbogen von vorne und oben.	25.
Abb. 28:	Die quere Lage der Stahlbogen und der Bogendaumen.	25.
Abb. 29:	Der geschmiedete Bogendaumen.	25.
Abb. 30:	Rückenseite des rechten Bogenarmes des Stahlbogens.	26.
Abb. 31:	Einbund für den Stahlbogen.	26.
Abb. 32:	Typischer Schaden bei der ungeknoteten Sehne.	27.
Abb. 33b:	Geknotete Sehne.	28.
Abb. 33a:	Ungeknotete Sehne.	28.
Abb. 34:	Ursehneherstellung mit der Hilfe von zwei Eisenstiften.	28.
Abb. 35:	Knüpfen des Sehnenknotens (Erklärung mit einem Faden).	28.
Abb. 36:	Arbeitknoten und das Ende der Arbeitsehnen.	29.
Abb. 37:	Sehnenknoten.	29.
Abb. 38a:	Röntgenbild eines originalen dreiachsigen Nußschloß.	30.
Abb. 38b:	Ersatzteilen des dreiachsigen Nußschloßes.	30.
Abb. 39:	Der entsprechende Hirschhornteil zum Nuß.	30.
Abb. 40:	Die Nuß.	30.
Abb. 41b:	Der Zustand des Schnellern nachdem Schießen.	31.
Abb. 41a:	Der Aufbau des Schnellern und der Zustand des Schnellern bevor dem Schießen.	31.

Abb. 42a:	Das dreiachsige Nußschloß bevor dem Schießen und seine Ersatzteilen.	32.
Abb. 42b:	Das dreiachsige Nußschloß nachdem Schießen.	32.
Abb. 43:	Das dreiachsige Nußschloß in schießbereite Position bringen.	33.
Abb. 44:	Die Zahnstangewinde.	34.
Abb. 45:	Zahnherstellung.	34.
Abb. 46:	Stechkanäle für den Stechstift.	35.
Abb. 47:	Der Stechstift.	35.
Abb. 48:	Armbrustbolzen.	36.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Entwicklung der Armbrust, die Veränderung ihrer Eigenschaften als Funktion der Zeit	16.
---	------------

Einführung

Es ist ein zu begrüßender Vorgang heutzutage, dass die Forschung der alten Ereignisse, der ehemaligen Lebensart und der Werk- und Kraftzeuge der Vergangenheit sehr intensiv geworden ist. Damit beschäftigt sich die sog. Experimentelle Archäologie, die eine interdisziplinäre Wissenschaft, ein Spezialgebiet der Archäologie ist. Man kann die alten Techniken am besten kennen lernen, wenn man sie selbst macht und erlebt. In manchen west-europäischen Staaten wurde die Bedeutung der Experimentellen Archäologie seit Dekaden erkannt, als die Disziplin der Zukunft.

Die Studie versucht diese neue Denkweise vorzustellen, darin handelt es sich um eine Fernwaffe, die Jägern und Kriegern eineinhalb Jahrtausende hindurch gedient hat: um die Armbrust. Die Armbrust hat den kompliziertesten Aufbau von allen mittelalterlichen Waffen, sie ist sozusagen der Repräsentant der mittelalterlichen Spitzentechnologie. Bis zur Ausbreitung der Feuerwaffen waren die Armbrüste die Handwaffen mit der größten Stoßkraft und mit der besten Genauigkeit. Später wurden sie unabhömmlich Waffenzuge von der Jagd der Aristokratie – in Ungarn bis zum 18. Jahrhundert.

Deswegen eröffnet die Untersuchung der Konstruktion, des Betriebs und der Herstellung der Armbrust ein interessantes Kapitel von der europäischen Technikgeschichte und der ungarischen Kultur. Jetzt wird die Armbrust neulich entdeckt werden, aber aus einem ungewöhnlichen, sogar hochinteressanten Aspekt: aus der Sicht des Ingenieurs. Deshalb ist diese Studie so bedeutend als technische Fachliteratur über die Armbrust in Ungarn.

Die Hauptziele der Studie:

1. Die Vorstellung der zeitgetreuen Herstellung einer Armbrustreplik aus den Renaissancezeiten und ihre Zubehöre (die Zahnstangengewinden, der Bolzen, etc.);
2. Die Untersuchung des Betriebs der Armbrustreplik;
3. Die Untersuchung der Konstruktionen der mittelalterlichen Armbrustsorten (antike, römische, gotische, etc. Armbrüste) aus technischem Aspekt, und Beistehen der Geschichte durch die Ergebnisse.

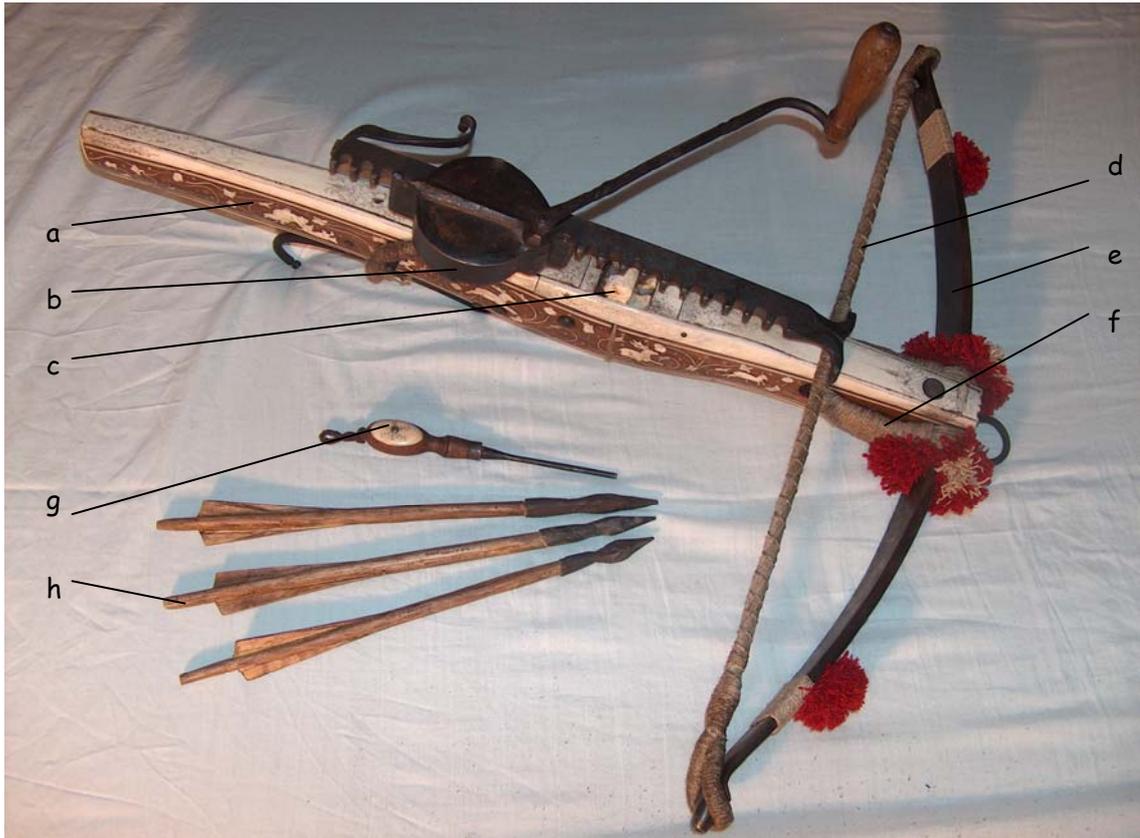


Abb. 1: Die spätmittelalterliche Armbrust und die Zubehöre. – a) Säule; b) Winde (zum Spannen); c) Nuß (gehört zum Schloß); d) Bogensehne; e) Stahlbogen; f) Einbund; g) Stechstift; h) Bolzen;

1. Die Geschichte der Armbrust

Die Geschichte der Armbrust ist die Geschichte ihrer Schlösser. Das Schloß ist der komplizierteste Ersatzteil, das die gespannte Bogensehne vor dem Schießen hält. Während der Entwicklung der Armbrust ist die fließende Veränderung der Schlösser bemerkbar. Darum wird in diesem Abschnitt vor allem die Entwicklung der Schlösser betont. Daneben wird noch die Säulenform, die Spannung und der Bogen der Armbrust vorgestellt.

1.1. Die antike Armbrust

Die Historiker wissen nicht genau, wer und wann die Armbrust erfand. Die Waffe war im 11. Jh. v. Chr. in China schon bekannt, früher als in Europa, wo sie nur im 4. Jh. v. Chr. erschien. In Europa machte Heron von Alexandrien die erste Notiz über die

Armbrust. Er nannte sie als „Gastraphetes“. Es lässt sich denken, dass Europa die Idee der Armbrust aus China bekam, aber beide Waffen waren in ihrer Konstruktion völlig verschieden (Abb. 2 und Abb. 3), also waren sie wahrscheinlich unabhängig voneinander herausgebildet (Harmuth, 1986, S. 12).

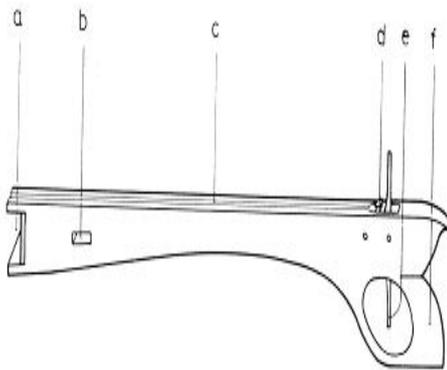


Abb. 2a: Chinesische Säule einer Armbrust aus dem Altertum. – a) Bogenlager; b) Spannloch; c) Bolzenrinne; d) Schloßzähne; e) Abzughebel; f) Pistolengriff

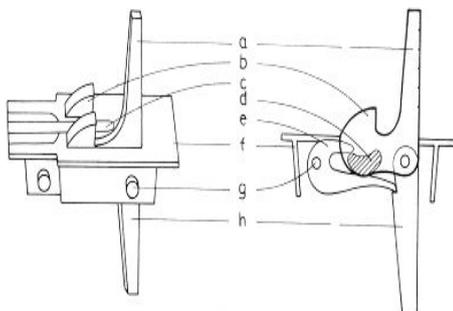


Abb. 2b: Klinkenschloß. – a) Visieraufsatz; b) Schloßfinger; c) Bolzenrinne und Ausnehmung für das Ende der Bolzen; d) Verbindung der Finger; e) U-förmiger hebel; f) Schloßgehäuse; g) Schloßachse; h) Abzughebel
Zielen ist durch das Visier und die Pfeilspitze ist möglich. Während dem Zielen behalten die Schloßfinger die Sehne bevor dem Schließen. Beim Schließen zieht man den Abzughebel.

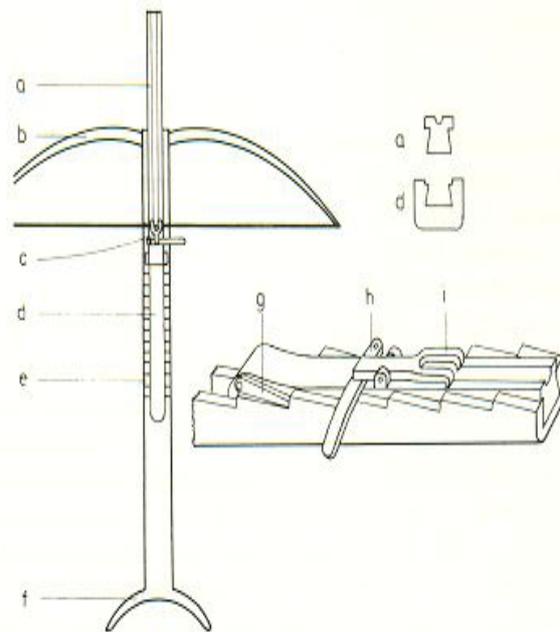


Abb. 3: Gastraphetes. – a) Läufer mit Pfeilrinne; b) Bogenarm; c) Schloß; d) Pfeife; e) Zahnstange; f) Bauchstütze; g) Riegel; h) Abzughebel; i) Klaue
Man lehnt sich zur Bauchstütze und schiebt den Läufer hinter. Die Riegel und die Zahnstange lässt nicht der Läufer zurückgehen. Die Klaue behält die Sehne. Beim Schließen zieht man den Abzughebel.

(Geringfügig verändert und entnommen aus Hatmuth, 1986.)

Die Bögen von beiden Armbrüsten waren Komposit-Reflexbögen, wozu Sehnenband, Horn und Holz verwendet wurden, aber in China waren die Bögen manchmal nur Bambus-Lamellenbögen.

1.2. Die römische und die frühmittelalterliche Armbrust

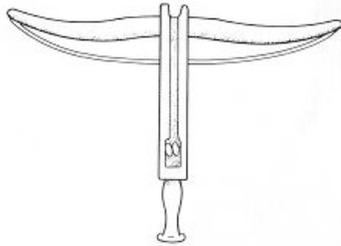


Abb. 4: Römischen Armbrust (Hatmuth, 1986).

Von jetzt an bleiben wir in Europa, und beschäftigen uns nicht mit den Armbrüsten aus Asien. In der römischen Kaiserzeit (1. Jh. v. Chr. – 5. Jh. n. Chr.) lebte die Armbrust in Europa weiter, entwickelte sich aber nicht so viel. Der Bogen war Holzbogen (manchmal verstärkt mit Sehnenband) und einen Handgriff gab es am Ende der Säule (Abb. 4), es gibt aber sehr wenige weitere Informationen über die Konstruktion. Man weiß es nicht, wie das Schloß genau aussah, aber die Nuß erschien

zuerst in diesen Zeiten als Hauptbestandteil des Schloßes (Wilson, 1994, S. 14). Die Nuß wurde im Allgemeinen aus Hirschhorn gemacht.

Die frühmittelalterliche Armbrust (5-11. Jh.) ist auch nicht gut dokumentiert. Deswegen dachten früher die Historiker, dass sie in dem Frühmittelalter nicht existierte. Es gibt

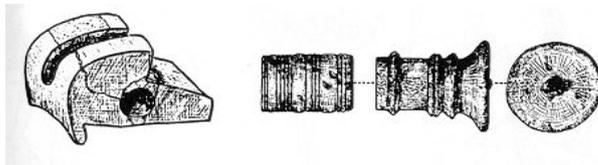


Abb. 5: Nußteil und Handgriff einer frühmittelalterlichen Armbrust (Hatmuth, 1986).

doch einen interessanten Bodenfund aus dem 9. Jh., der beweist, dass die Nuß und der Handgriff immer noch zu der Armbrust gehörte (Abb. 5). Beide Ersatzteile waren Drechselprodukte.

1.3. Die romanische Armbrust

Über die Konstruktion der romanischen Armbrust (11-13. Jh.) wissen wir auch nicht viel, denn nur sehr wenige blieben erhalten. Der Handgriff fehlte schon, aber die Nuß blieb noch weiter in dem Schloß. Die Abzugstange, die sich dem Hornnuss anschließt, war aus Holz gemacht, denn das Metall wäre zu hart für die Nuß gewesen. Eine mögliche Nußschloßkonstruktion zeigt die Abbildung 6.

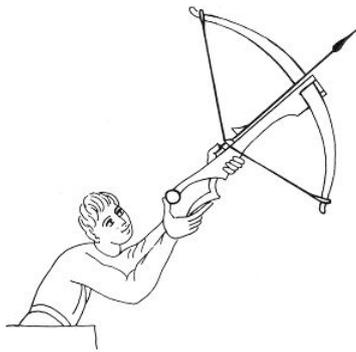


Abb. 6a: Romanischer Armbrustschütze (Hatmuth, 1986).

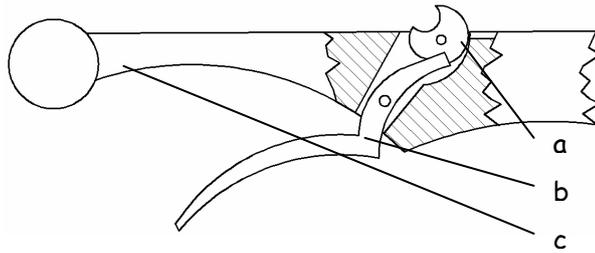


Abb. 6b: Romanisches Nußschloß. – a) Nuß; b) Abzugstange; c) Säule; Wenn die Abzugstange zum Säule gedrückt wird, dann kann die Nuß sich abdrehen.

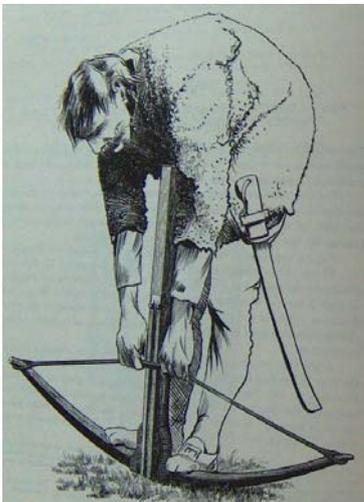


Abb. 7a: Armbrustspannung mit den Händen in die früh-romanische Zeiten.



Abb. 7b: Armbrustspannung mit den Beine und Rücken in die spät-romanische Zeiten.

(Geringfügig verändert und entnommen aus Ralph Payne-Gallwey, 1996.)

Der Bogen war ein mit Sehnenband verstärkter Holzbogen, der etwa 1m lang war. Diese große Länge bei den Holzbögen war wichtig, denn die mussten elastisch genug sein, um den langen Sehnenweg (Spannweg) tolerieren zu können. Der Schütze spannte die Armbrust mit den Händen, während er den Bogen nach unten trat (Abb. 7a).

Der Beginn des 13. Jh.s brachte große Entwicklung in der Konstruktion der Armbrust. Der Spanngürtel und der Steigbügel wurden eingeleitet, so wurde das

Spannen leichter. Von jetzt an wurde die Armbrust nicht mehr mit der Kraft der Hände gespannt, sondern mit der Kraft der Beinen und des Rückens (Abb. 7b), deshalb konnte die Waffe viel stärker sein. Während der Kreuzzüge wurden diese Armbrüsten auch verwendet:

„Als die Armbrustschützen des Königs den Fuß gegen den Bügel ihrer Armbrüste stemmten, flohen die Sarazenen.“ (Harmuth, 1986, S. 47)

Der Bogen entwickelte sich auch weiter. Der sarazenische Kompositbogen wurde von den Europäischen Kriegern in dem Heiligen Land kennen gelernt. Dieser Bogen besteht aus einem Holz- und Hornkern, der mit Sehnenband bedeckt wurde, deswegen konnte der Bogen noch kräftiger sein. Doch je kräftiger der Bogen wurde, umso langsamer wurde das Spannen. Während der Kreuzzüge erschien eine interessante Taktik: zwei Krieger bedienten zwei oder drei Armbrüste, einer von den Zweien spannte sie, einer zielte, dann schoss (Töll: 1992, S. 39).

1.4. Die gotische Armbrust

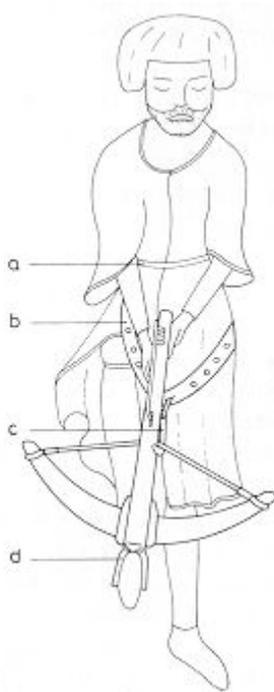


Abb. 8a:
Armbrustschütze spannt die Waffe stehend. – a) Leibriemen; b) Spanngürtel; c) Spanngürtelhaken; d) Steigbügel.



Abb. 8b: Armbrustschütze spannt die Waffe kniend.

(Geringfügig verändert und entnommen aus Hatmuth, 1986.)

In der Gotik (13-15. Jh.) war die Armbrust in Europa gut bekannt, und verbreitet. Sie wurde in fast jedem Krieg verwendet. In den meisten Ländern Europas war die Armbrust in der Gotik die wichtigste Handfernwaffe.

Die gotische Armbrust wurde zum Schießen nicht mehr frei gehalten, wie vorher, sondern an den Körper gelegt. Beim Fernschuss wurde das Säulenende unter dem rechten Arm gehalten, beim Direktschuss ruhte es auf der rechten Schulter. Gezielt wurde dem Bolzen

entlang, oder über Bolzenspitze und Daumen der rechten Hand (Harmuth, 1986, S. 54). In der Frühgotik gab es zwei unterschiedliche Armbrüste: die leichtere Einfußarmbrust und die schwerere Zweifußarmbrust. Die Namen stammen aus der Art und Weise des

Spannens. Bei der Einfußarmbrust gab es zwei Möglichkeiten, die Waffe zu spannen. Einmal konnte der Krieger beim Spannen eines der Beinen und den Spanngürtelhaken in stehender Position benutzen, (Abb. 8a) genauso wie in der spätrömischen Zeit (Abb. 7b). So drückte er den Steigbügel mit seinem Bein herunter und der Haken zog die Sehne zum Nußschloß. Zweimal konnte er knien (Abb. 8b). So zog der Haken die Sehne zum Nußschloß beim Aufstehen. Die dabei erreichbare Spannkraft war höchstens 1500N (ca. 330 Pfund).

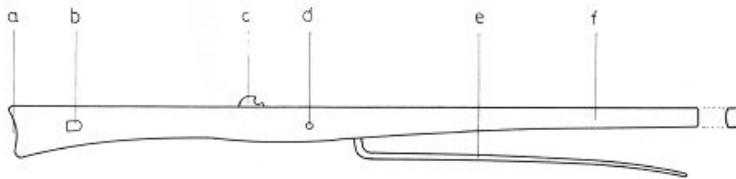


Abb. 9: Gotischen Einfußarmbrust. – a) Bogenlager; b) Spannloch für den Einbund; c) Nuß; d) Achse der Abzugstange; e) Abzugstange; f) Säule (Hatmuth, 1986.)

Bei der Zweifußarmbrust gab es nur eine Möglichkeit, die Waffe zu spannen. Diese Waffe hat einen bereiten Steigbügel. Der Schütze trat darin mit beiden Beinen ein, und

Abb. 10a: Nußschloß beim Schießen.

Abb. 10b: Nußschloß bei der Spannung.

Abb. 10a: Nußschloß beim Schießen. – a) Sehne; b) Nuß; c) Säule; d)

Einbauniete (um die Nuß zu verstärken); e)

Stahlfeder; f)

Abzugstange;

Wenn die Abzugstange zum Säule gedrückt wird, dann kann die Nuß abdrehen.

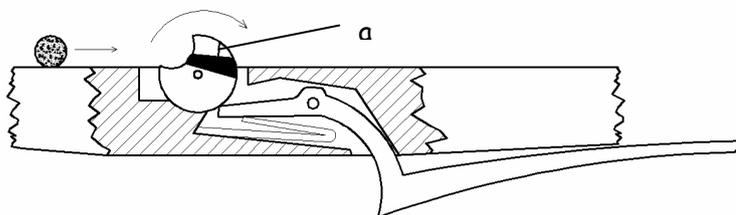
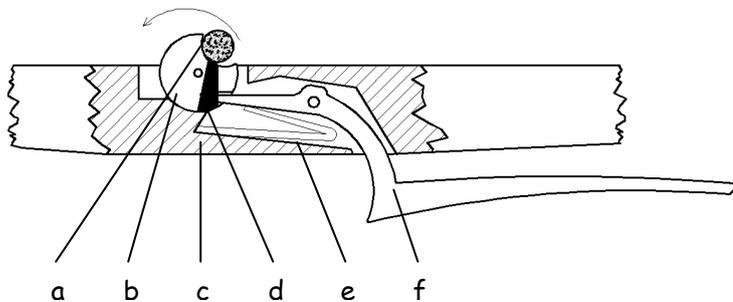


Abb. 10b: Nußschloß bei der Spannung. – a) Abzugstange; Bei der Spannung drehte die gezogene Sehne die Nuß zurück. Endlich sprang die Abzugstange in ihre Abzugraste. Der Schützer sieht die einrastende Abzugstange, und weißt, dass die Spannung fertig ist.

zog die Sehne zum Nußschloß mit dem Gürtelhaken. Die dabei erreichbare Spannkraft war höchstens 2100N (ca. 460 Pfund).

In der Gotik musste das Armbrustschloß weiter verstärkt werden, denn der Bogen wurde noch kräftiger. Bei der römischen Armbrust befand sich das Schloss noch am Ende der Säule (Abb. 4) und in der frühromanischen Zeit auch. Ab der Spätromanik wurde das Schloss allmählich mehr zur Mitte der Säule versetzt, und verlängerte die Säule hinter dem Schloß (Abb.7 und 8). In der Gotik war das Schloß in dem ersten Drittel der Säule, nicht weit von dem Bogen, weil der Bogen kürzer wurde, also verringert sich der Spannweg (Abb. 9). Die hochgotische lange, schlanke Waffe hatte in Mitteleuropa bereits keine Bolzenrinne, ihre Abzugstange war gerade und groß.

Und wie sah das Schloß einer gotischen Armbrust aus und wie funktionierte es? Es wird durch die Abbildungen 10a und 10b dargestellt und erklärt.

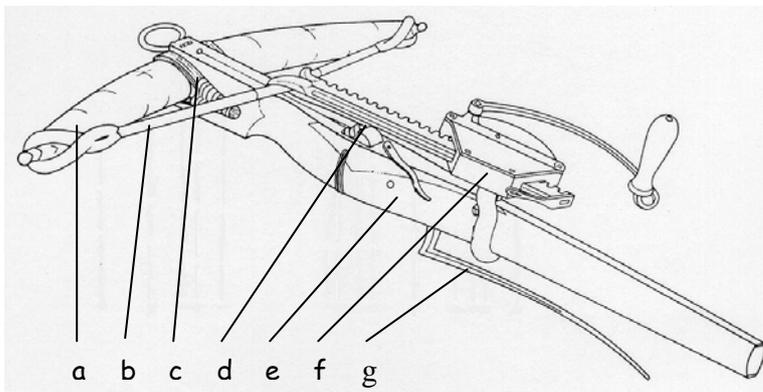


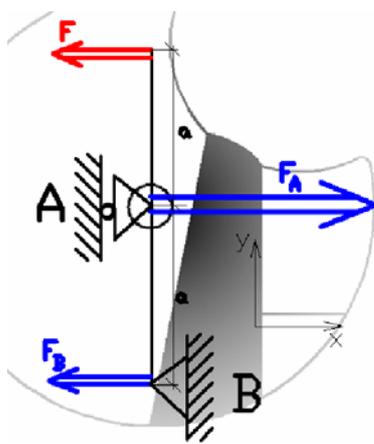
Abb. 11: Mitteleuropäischen spätgotischen Windarmbrust. – a) Horsichtbogen; b) Sehne; c) Einbund; d) Nuß; e) Säule; f) Winde; g) Abzugstange (Hatmuth, 1986.)

In der Hochgotik wurden die Kompositbögen der Armbrüste kräftiger, so kräftig, dass es unmöglich war, sie nur mit den Beinen und Rücken zu spannen. Also brauchte man ein Spanngerät zu entwickeln. Das war die Zahnstangenwinde. Nach dem Spanngerät nennen wir diese hochgotische Armbrust Windarmbrust (Abb. 11). Die Spannung mit der Winde und ihrem Betrieb wird später in dem Abschnitt 2 dargestellt und erklärt.

Der Steigbügel fehlt schon, und das Nußschloß verändert sich ein bisschen auch. Von jetzt dreht der Nuß nicht an einem starren Bolzen an, sondern an einem lockeren Faden. Das war eine sehr wichtige Entwicklung, denn bei dieser Lösung konnte die Nuss größere Belastung annehmen, die sich wegen des verstärkten Hornschichtbogens erhöhte.

Warum konnte die Nuß mit Faden größere Belastung annehmen, als mit Bolzen? Es wird durch ein einfaches mechanisches Modell erklärt (Abb. 12).

Warum konnte die Nuß mit Faden größere Belastung annehmen, als mit Bolzen? Es wird durch ein einfaches mechanisches Modell erklärt (Abb. 12).



$$\begin{aligned}
 I. \quad \Sigma M_A = 0 & & II. \quad \Sigma F_x = 0 \\
 aF + aF_B = 0 & & F + F_B = F_A \\
 F_B = F (\leftarrow) & & F + F = F_A \\
 & & F_A = 2F (\rightarrow)
 \end{aligned}$$

Abb. 12a: Das mechanisches Modell der Nuß.

Nußachse – A
 Abzugstange - B
 Sehnenkraft – F (rot)
 Abzugstangereaktionkraft – F_B (blau)
 Nußreaktionkraft – F_A (blau)

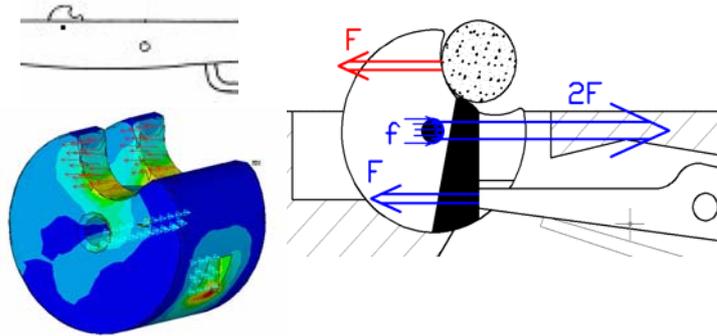


Abb. 12b: Nußschloß mit starrer Bolzenachse. Wie die Finite Element Analysis zeigt, bekommen die Finger der Nuß und die Bohrung der Nuß zu groß Belastung (gelb und rot).

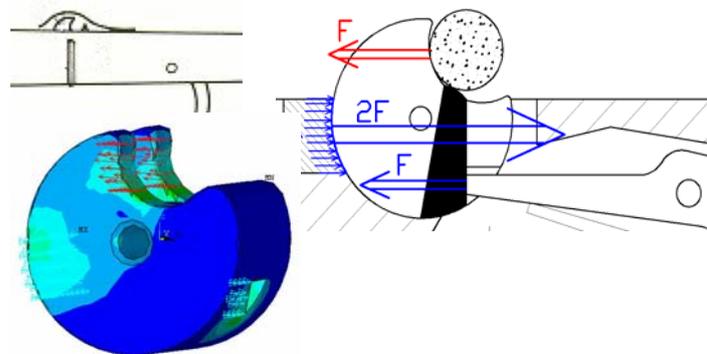


Abb. 12c: Nußschloß mit locker Fadenachse. Wie die Finite Element Analysis zeigt, bekommen die Finger der Nuß und der Vorderteil der Nuß nur kleine Belastung (grün).

(Die Finite Element Analysis wurde mit ANSYS gemacht.)

Also die Antwort ist, dass die Nuß bei der Fadenachse die Säule drückt, deshalb belastet die Nußreaktionkraft eine größere Oberfläche, als bei der Bolzenachse, wo die Nuß die schlanke Bolzenachse drückt, somit belastet die Nußreaktionkraft eine sehr kleine Oberfläche. Noch dazu verändert sich der Tensionzustand der Nuss auch, darum bekommen die Finger der Nuß weniger Belastung.

In der Endgotik wird wegen der zunehmenden Sehnenkraft (Bogenzugkraft) ein neuer Schloßtyp eingeleitet. Das war das zweiachsige Nußschloß (Abb.13). Ein neuer Ersatzteil, ein kurzer Hebel erschien: die Stollen. Wegen der Stollen bekommt die Abzugstange weniger Belastung, deshalb war es leichter, die Abzugstange beim Schießen zu ziehen. Wenn die Zugkraft beim Schießen zu groß wäre, dann würde sich die Waffe bewegen, somit wäre das Zielen schwerer.

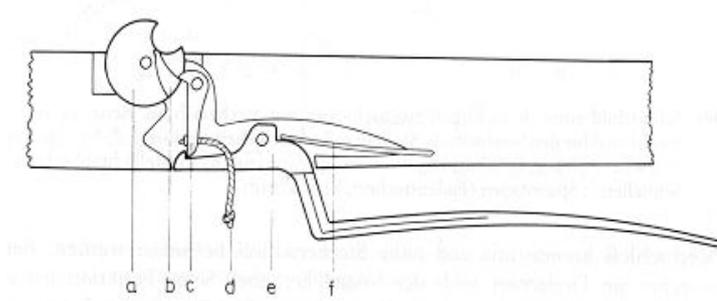


Abb. 13: Zweiachsiges Windarmbrustschloß der Endgotik. – a) Nuß (im Fadenlaufend); b) Einbauniete (um die Nuß zu verstärken) c) Stollen mit Drehachse; d)Spannfaden; e) Abzugstange mit Drehasche; f) Stangenfeder (Hatmuth, 1986.)

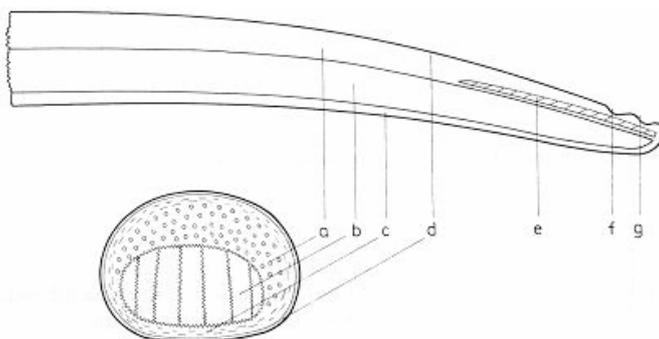


Abb. 14a: Langschnitt und Durchschnitt des gotischen Hornschichtbogen. – a) Sehnenlagen am Bogenrücken; b) Zusammengeleimter Hornkern; c) Sehnenlagen am Bogenbauch; d) Deckschichten; e) Lagerleiste aus Horn; f) Sehnenlager der Gebrauchsehne; g) Lager der Hilfssehne. (Rohde, 1993.)

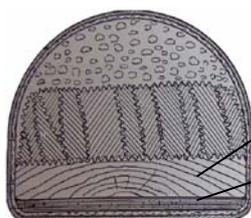


Abb. 14b: Durchschnitt ein Süddeutsches gotischen Hornschichtbogen. – a) Holzschicht am Bogenbauch; b) Lederdecken (Rohde, 1993.)

Über den Hornschichtbogen der gotischen Armbrust muss noch gesprochen werden. Als Bogen wurde im gotischen Europa hauptsächlich der Hornschichtbogen verwendet. Für die frühgotische Einfußarmbrust war der Hornbogen etwa 0,9m lang, und sein Durchschnitt war etwa 23x54mm. Bei der hochgotischen Windarmbrust war der Hornbogen etwa 0,75m lang, und sein Durchschnitt war etwa 50x80mm. Der spätgotische Hornschichtbogen besteht aus dem Hornkern und der umhüllenden Sehnenmasse. Der Kern war aus vielen aneinanderliegenden Streifen Rinderhorns zusammengesetzt (Abb. 14). Die Streifen wurden mit Leim zusammengeklebt. Dieser Streifen wurden so im Bogen aneinandergeleimt, dass sie beim Bogenspannen nicht ihre geringe Streifendichte, sondern ihre Breite sich bogen. Gelegentlich wurde noch an der Bogenbauchseite, aber auch an der Bogenrückenseite ein schmales Holzbrettchen aus Eibe oder Eiche angeleimt. Der Leim musste elastisch sein, auch nach Jahren musste er sich noch dehnen können. Fischleime wurden deswegen mit Haut- oder Sehnenleim gemischt.

1.5. Die Armbrust in der Renaissance

In der Renaissance (15-16. Jh.) fingen die Feuerwaffen an sich zu verbreiten, deshalb verschwanden die Armbrüste von den Kampfplätzen sehr schnell. Zum Beispiel hat Cortez 1524, am Anfang seines Kampfes in Südamerika ein Heer mit 100 Armbrustschützen, und 1532 am Ende seines Kampfes hatte er nur 12 Armbrustschützen (Töll, 1992, S. 34.). In der Hochrenaissance war die Armbrust noch nicht die Spitztechnologie der Schlachtfelder.

In der Gotik differenzierte sich allmählich die mitteleuropäische von der westeuropäischen Armbrust, und im 15. Jh. war die technische Spaltung abgeschlossen. Doch waren beide Armbrusttypen ab dem 16. Jh. nur mehr als Jagd- und Schiebenwaffen in Verwendung. Wir beschäftigen uns weiter nur mit der mitteleuropäischen Armbrust.

Doch am Anfang der Renaissance wurde die Armbrust in Kriegen schon sehr oft verwendet. Eine große Veränderung geschah beim Bogenmaterial und bei der Schloßkonstruktion. Gegen den damals erschienenen Plattenpanzer musste der Bogen noch verstärkt werden, deshalb wurde der geschmiedete Stahlbogen eingeleitet. Ein großer Nachteil des Hornschichtbogens war, dass der Leim sich im Wasser löst, also beim nassen Wetter war die Verwendung der Hornschichtbogen begrenzt. Dagegen war der Stahlbogen anspruchsloser. Noch dazu konnte die Sehnenkraft des Hornschichtbogens nicht zu groß sein, sie war etwa 3500N (770 Pfund) bei der Windarmbrust, und das war nicht genug, um die Plattenpanzer durchzuschlagen.

Doch der Stahlbogen hat auch einen Nachteil. Die Elastizität des Stahles ist kleiner, als die des Horn-Sehne Komposites, deswegen benötigt es einen Stahlbogen mit größerer Sehnenkraft (Bogenzugkraft) zur genauso großen Bolzenbewegungsenergie. So wurden die Bögen sehr schwer, ihr Gewicht war manchmal über 6kg und ihre Sehnenkraft etwa 5000N (1100 Pfund). Also der Hornschichtbogen ist schneller, aber er hat eine kleinere Sehnenkraft, als der Stahlbogen, denn der Hornschichtbogen kann weniger Belastung aufnehmen. Doch der gespannte Hornschichtbogen überträgt einen größeren Teil seiner elastischen Energie an den Bolzen (ca. 30%), als der Stahlbogen (ca. 15%). Das andere Teil der elastischen Energie des Bogens nimmt der Bogen selbst auf, während dem Schießen er beschleunigt (70% beim Hornschichtbogen, 85% beim Stahlbogen). Es lässt sich feststellen, dass der Wirkungsgrad des Hornschichtbogens besser als des Stahlbogens war. Es wäre eine interessante Übung, die zwei Bogenmaterialien besser

zu vergleichen, und ein dynamisches Modell über ihr Schießen aufzustellen, aber der Umfang dieser Schrift ermöglicht es leider nicht. Über den Stahlbogen wird in dem Abschnitt 2 mehr geschrieben.

Ein anderer Nachteil des Stahlbogens war, dass er unter -15°C zerstört werden konnte, deshalb bevorzugten die Jäger in den früheren Zeiten den bruchsichereren Hornbogen. Beispielsweise schießen die Bayern noch 1455 mit Hornbogenarmbüste, die stark genug sind und nie brechen, auch nicht, wenn sie gefroren sind, denn je kälter es ist, umso stärker sind sie. Warum konnte der Stahlbogen in kaltem Wetter brechen? Während des ganzen Mittelalters war die Eisengewinnungstechnologie direkte Eisengewinnung. Das bedeutet, dass er aus dem Eisenerz direkt entstand und während der Metallurgie schmolz er nie. Das so gewonnene Eisen war die sog. Eisenluppe. Dieses Material hat immer großer gelöster Sauerstoffgehalt. Deswegen hat es bei kleineren Temperaturen kleine Charpy-schlagzähigkeit, gegenüber den modernen Stählen.

Aus einer starken Stahlbogenarmbrust hinausschießender Bolzen konnte einen durchschnittlichen Plattenpanzer durchschlagen, aber es musste ein großer Preis dafür bezahlt werden. Der Betrieb der Armbrust wurde sehr langsam, zum Spannen brauchte man große Zahnstangenwinde. Es wurde nur ein Schuss pro Minute abgegeben. Die Armbrust wurde in den Kriegen nicht mehr praktisch.

Die Schloßkonstruktion der Stahlbogenarmbrust wurde wegen der großen Sehnenkraft weiterentwickelt, weiterkompliziert. Die Nuß fand sich etwa in dem zweiten Fünftel der

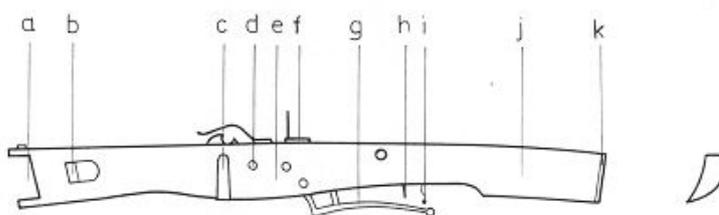


Abb. 15: Mitteleuropäische Armbrustsäule aus der Renaissance. – a) Bogenlage; b) Einbindungsloch; c) Nußfaden; d) Schloßachse; e) Säule; f) Visier; g) Schutzbügel; h) Abzugzünglein; i) Stecherfaden; j) Wangenstück; k) Kolbenplatte. (Harmuth, 1986.)

Säule, und die Säule wurde stämmiger und sie verdichtete sich am Schloß (Abb. 15). Die Säule war an

seinem Ende leicht nach unten abgewinkelt, und sie war mit einer Hornplatte am Ende bedeckt. Die Abzugstange wurde

unbeweglich und diente jetzt nur noch dem Schutz des neuen Schloßes und als Fingerhalter. Nach der neuen Funktion nennen wir sie von jetzt an Schutzbügel. Der Bogen wurde stets eingebunden, die Bolzenrinne fehlte.

Das komplizierte dreiachsige Nußschloß wurde eingeleitet. Bei der ersten dreiachsigen Nußschloßkonstruktion ging schon die Abzugstange in die Säule ein (Abb. 16a). An die Abzugstange knüpfte sich das Zwischenstück, und dazu das Abzugzünglein. Die Rolle des Zwischenstücks war die Verringerung der Belastung des Abzugzüngleins. So konnte der Schütze das Abzugzünglein leicht abziehen. Noch eine Neuigkeit ist der Sicherungsflügel, der das zufällige Losgehen der Waffe begrenzt.

Am Ende des 16 Jh. wurde der Schneller beim dreiachsigen Nußschloß eingeleitet (Abb. 16b). Der Schneller war ein neuer Bestandteil, damit musste der Schütze das Abzugzünglein beim Schießen nur berühren, so bewegte sich die Waffe gar nicht (Kalmár, 1971, S. 211.). Über den Betrieb des dreiachsigen Nußschloß und den Schneller wird in dem Abschnitt 2 mehr geschrieben werden.

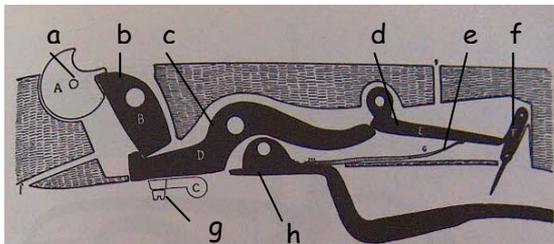


Abb. 16a: Dreiachsige Nußschloßkonstruktion, Renaissance. – a) Nuß; b) Stollen; c) Abzugstange; d) Zwischenstück; e) Stahlfeder; f) Abzugzünglein; g) Sicherungsflügel; h) Schutzbügel (starr).

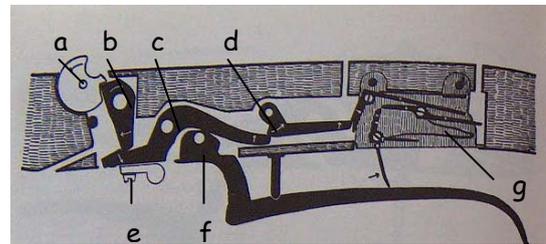


Abb. 16b: Dreiachsige Nußschloßkonstruktion mit Schneller, Renaissance. – a) Nuß; b) Stollen; c) Abzugstange; d) Zwischenstück; e) Sicherungsflügel; f) Schutzbügel (starr); g) Schneller;

(Geringfügig verändert und entnommen aus Kalmár, 1971)

1.6. Die Armbrust im Barock

Im Barock (17. Jh.) diente die Armbrust nur als Schützwanne der Burgen und Sportwanne des Gewehrschießens. Beim Jagen und in Kriegen wurden ausschließlich die Feuerwanne als Handfernwanne verwendet.

Doch entwickelte sich die Armbrust noch weiter. Am Ende des 16. Jh. entwickelte sich ein ganz neuer robuster Ersatz für das durch die zunehmende Sehnzugkraft überlastete alte Nußschloß, das war das Klappenschloß (Abb. 16c). Das war das

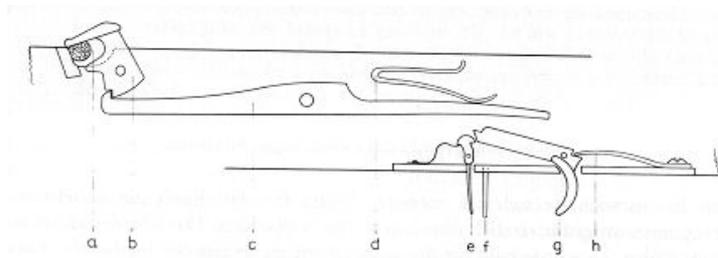


Abb. 16c: Klappenschloß. – a) Sehnenkerbe mit Beinfutter; b) Klappe; c) Abzugstange; d) Stangenfeder; e) Abzugzünlein; f) Schützstift für den Abzugzünlein; g) Vorstecher; h) Stangenfeder; Die Ersatzteile a, b, c und d gehört zum Zweiachsigen Schloßmechanismus, e, f, g, h gehört zum schneller. (Harmuth, 1986.)

charakteristische Schloss der Jagdarmbrüste in der Spätrenaissance, und bei den barocken Armbrüsten ist es fast ausschließlich anzutreffen. Beim

Klappenschloß gab es keine Nuss, sondern hielt die nunmehr kräftigere Säule die gespannte Sehne, da die Säule fast den gesamten

Sehnzug trug. Eine einfache statische Analyse zeigt die Abbildung 17.

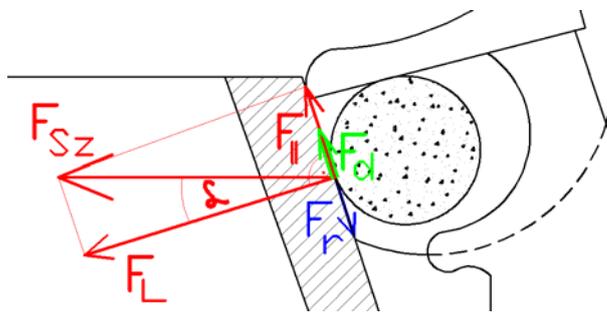


Abb. 17: Statische Analysis des Klappenschloß.

- F_{sz} – Sehnzugkraft
- α – Schiefheit des Beinfutters
- F_L – Winkelrechte Komponente der Sehnzugkraft
- $F_{||}$ – Parallele Komponente der Sehnzugkraft
- F_r – Reibungskraft
- F_d – Druckkraft die wirkt gegen der Klappe

$$F_{\perp} = F_{S_z} \cos \alpha \quad F_{\parallel} = F_{S_z} \sin \alpha \quad F_r = \mu F_{S_z} \cos \alpha \quad F_d = F_{\parallel} - F_r$$

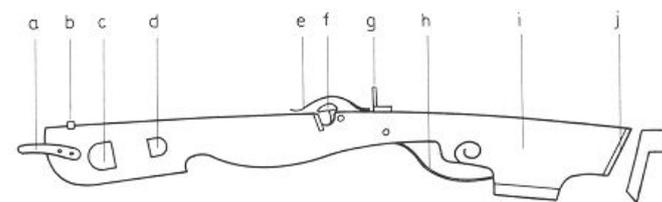


Abb. 18: Säule einer Schiebarmbrust, Barock. – a) Spannbügel; b) Bolzenauflage; c) Bogenloch; d) Einbundloch; e) Bolzenklammer; f) Klappe; g) Visier; h) Schutzbügel; i) Kolben; j) Kolbenplatte (Harmuth, 1986.)

Und wie funktioniert das Klappenschloß? Die Sehne kam in die Kerbe, die Klappe drehte sich, diese schnappte zu und verlegte ihr den Weg zurück. Die Klappe trug unten einen eingefeilten Rasten, in den die zweiarmige Abzugstange eingriff (siehe die Abb. 16).

Beim Schießen schlug der aufspringende Vorstecher gegen die Abzugstange, deswegen schnappte ihre Klaue aus dem Rast der Klappe. Die Druckkraft (F_d – siehe die Abb. 17)

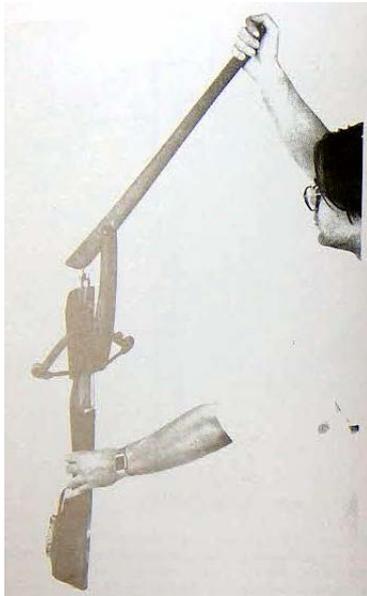


Abb. 19: Spannung mit Wippe. (Töll, 1992.)

hob die Klappen auf und die Sehne sprang aus der Sehnenkerbe. Leider konnte das Bolzenende vor dem Schießen nicht an der Sehne anliegen (wie beim Nußschloß), sondern wurde am Kerbenrand vom Bolzenklemmer bereitgehalten (siehe die Abb. 18.e).

Die Säulenform verändert sich auch im Barock und wurde der Säulenform der Feuerwaffen ähnlich (Abb. 18).

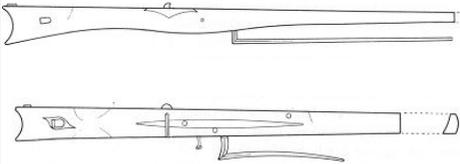
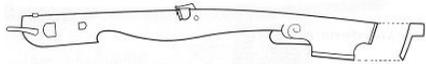
Zum Spannen wurde eine Spannhilfe neulich eingeleitet, die schon bei den alten gotischen Armbrüsten auch verwendet wurde: die Wippe. Der Haken der Wippe wurde in den vor dem Bogen liegenden Spannbügel gehakt und sein Stemmholz gegen die Sehne gesetzt

(Abb. 19). Also das Spannen wurde einfacher und schneller, als bei den Armbrüsten in der Renaissance.

1.7. Zusammenfassung

Wir sehen schon, dass die Armbrust während ihrer Geschichte immer eine komplexe und komplizierte Waffe war. Sie vertrat die Spitztechnologie als Kriegswaffe lange in den Kriegen und entwickelte sich immer weiter. Während der Renaissance war sie die wichtigste Handfernwaffe der Jagden, und im Barock diente sie als Schiebwappe. Nachdem Barock zieht sich die Armbrust als Jagdwaffe und auch als Schiebwappe in den Hintergrund. Doch blieb sie in Verwendung und ist als Sportwappe bis heute vorhanden. Die Tabelle 1. zeigt die Entwicklung der Armbrust.

Tabelle 1: Die Entwicklung der Armbrust, die Veränderung ihrer Eigenschaften als Funktion der Zeit.

Zeit/Eigenschaften	Armbrusttyp	Schloßtyp	Säulenform	Spannen	Bogen
Antik	Primitive Armbrust	Einachsiges Nußschloß mit starrer Nußachse	Keine Angabe	Keine Angabe	Kompositbogen
Römische Zeit	Primitive Armbrust	Einachsiges Nußschloß mit starrer Nußachse	Keine Angabe	Ziehen die Sehne mit den Händen, drücken den Bogen mit den Beinen sitzend	Kompositbogen
Roman	Primitive Armbrust	Einachsiges Nußschloß mit starrer Nußachse		1. Ziehen die Sehne mit den Händen, drücken den Bogen mit den Beinen sitzend oder stehend 2. Ziehen die Sehne mit dem Gürtelhaken, drücken den Steigbügel mit dem Bein stehend oder kniend	Kompositbogen
Gotik	1. Einfußarmbrust 2. Zweifußarmbrust	1. Einachsiges Nußschloß mit starrer Nußachse 2. Einachsiges Nußschloß mit lockerem Nußfaden 3. Zweiachsiges Nußschloß mit lockerem Nußfaden		1. Ziehen die Sehne mit dem Gürtelhaken, drücken den Steigbügel mit ein oder zwei Bein stehend oder kniend 2. Spannen mit Zahnstangenwinde	Kompositbogen (Hornschichtbogen)
Renaissance	Windarmbrust	Dreiachsiges Nußschloß		Spannen mit Zahnstangenwinde	Stahlbogen
Barock	Wippearmbrust	Klappenschloß		Spannung mit Wippe	Stahlbogen

2. Die Herstellung eine zeitgetreue Renaissance Jagdarmbrustreplik

2.1. Die originale Armbrust aus dem Déri-Museum

Die Renaissance Jagdarmbrustreplik wurde größtenteils nach einer der originalen Armbrüste von Déri-Museum hergestellt, aber einige Eigenschaften anderer Armbrüste waren auch darin kopiert. Im Déri-Museum ist eine bedeutende Waffensammlung aus dem Mittelalter zu finden, in der die Armbrüste eine hervorragende Gruppe bilden. Die Armbrüste gehören zu den Jagdwaffen.

Die zwei Ältesten haben Hornsichtbogen und stammen aus dem letzten Drittel des 15. Jahrhunderts. Sie wurden wahrscheinlich in Nagyszeben (Hermannstadt in Siebenbürgen) angefertigt. Alle anderen vier haben Stahlbogen.



Das imposanteste Stück der Sammlung ist eine Renaissance Jagdarmbrust mit Stahlbogen, die in der Mitte des 16. Jahrhunderts in Antwerpen hergestellt wurde, um große Wildtiere wie Bär, Büffel zu erlegen. Diese Armbrust hatte ca. 6000N (1330 Pfund) Sehnenkraft und konnte mehr als 400m weit den Bolzen weiter schießen.

Aus dergleichen Zeit stammt

Abb. 20: Originale Armbrust aus dem Déri-Museum – die dritte Stahlbogenarmbrust. eine ähnliche, kaum kleinere Armbrust, die auch für

Wildjagd gedient hat.

Zu dieser Gruppe gehört eine dritte Stahlbogenarmbrust (Abb. 20), die kleiner als die oben beschriebenen zwei Riesen ist. Ihre Besonderheit besteht darin, dass ihre Säule mit peinlich geritzter Knocheneinlage dekoriert ist, also dürfte diese Armbrust zu den Schmuckwaffen gezählt werden. Diese Jagdarmbrust aus dem Ende des 16.

Jahrhunderts wurde gegen Niederwild hergestellt, aber es lässt sich nicht genau sagen, wo.

Das späteste Stück in der Sammlung ist eine barocke Schiebarmbrust aus deutschem Gebietsraum. Sie hat Stahlbogen und als Spannhilfe diente eine Wippe. Die Waffe dürfte am Ende des 17. Jahrhunderts angefertigt worden sein.

In diesem Kapitel wird die Replikherstellung der dritten Stahlbogenarmbrust vorgestellt.

2.2. Die Armbrustreplik und die Zubehöre

Die Armbrustreplik besteht aus vielen verschiedenen Ersatzteilen, die alle mit traditioneller alter Technologie hergestellt werden. Noch dazu gibt es ein paar Zubehöre auch. Jeder Ersatzteil und Zubehör wird vorgestellt, aber wir müssen einem System folgen. Dazu wird ein Montagebild verwendet (Abb. 21).

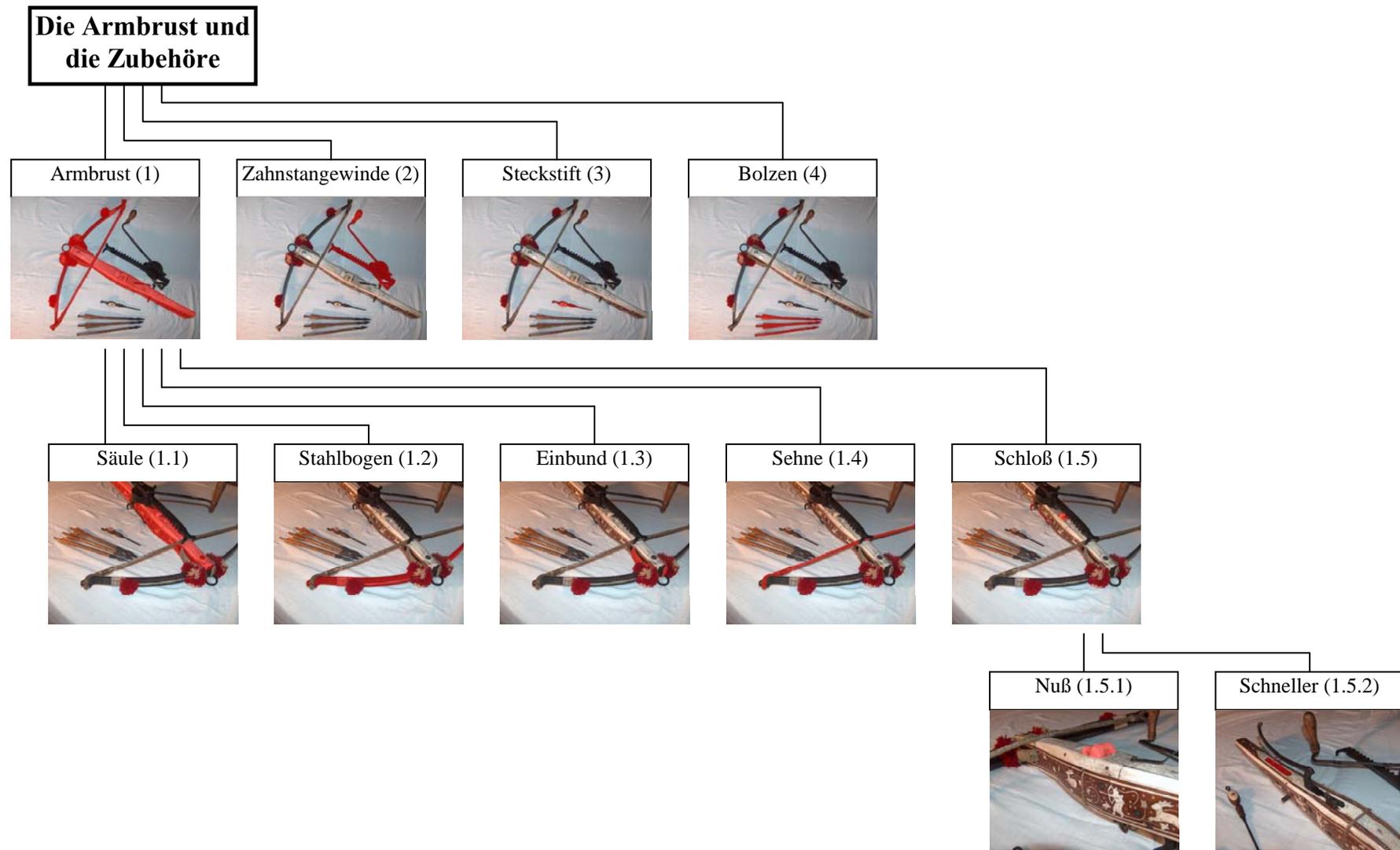


Abb. 21: Montagebild der Armbrustreplik

2.2.1. Die Armbrust

Die Herstellung der Armbrustreplik dauerte 17 Monate lang. Natürlich, nicht jeden Tag wurde mit der Arbeit beschäftigt, aber es lässt sich so schätzen, dass ca. 1300-1500 Arbeitstunden in die Waffe investiert werden musste. Aber die Anfertigung der Replik kostete sehr wenig Geld, alles in allem ungefähr 5.000 HUF. Acht Fachbücher und mehr als 700 Bilder über originale Armbrüste wurden noch verwendet.

Die Armbrustreplik ist eine typische mitteleuropäische Jagdarmbrust aus der Spätrenaissance. Sie hat einen kräftigen Stahlbogen, der sich mit einer Zahnstangewinde (sog. Cranequin) spannen lässt. Doch diese Armbrust ist nur eine kleine Waffe gegen Niederwilde, wie Hasen, Vögeln und Rehe. Ihr Schlosstyp ist das dreiachsige Nußschloß mit Schneller, der das komplizierteste Schloß in der Geschichte der Armbrust ist.

Die Eigenschaften der gefertigten Armbrustreplik:

Gewicht: 3895 g;

Säulelänge: 725 mm;

Bogenlänge: 695 mm;

Stahlbogenzugkraft: ca. 3000 N (700 Pfund);

Stahlbogendurchschnitt in der Mitte: 40 x 9 mm;

Schießdistanz: 240-270 m;

Bolzensgewicht: 90-110 g;

Bolzensgeschwindigkeit am Anfang (zurückgerechnet): 50-55 m/s, 180-200 km/h;

Kinetischenergie des Bolzens (zurückgerechnet): 110-130 J (Die Bolzen kann einfach ein 3mm dicken Stahlplatten durchschlagen).

2.2.1.1. Die Herstellung der Säule

Die Säule der Armbrustreplik wurde aus Nußbaum ausgeschnitzt. Im Mittelalter wurde sie oft aus Obstbaumstamm gefertigt, wie Süßkirsche, Pflaume oder Apfel, aber manchmal wurde Nußbaum und Eichebaum auch verwendet. Die Obstbäume waren beliebt wegen ihrer schönen Farbe und weil sie einfach zu schnitzen sind, die beiden Eigenschaften waren beim Säulendekor wichtig.

Bei der Säuleherstellung war der erste Schritt die Auswahl des Nußbaumstammes, woraus war es möglich eine große und knotenfrei stück zu zerspalten. Danach musste die korrekte Säulegeometrie zuerst mit einer Axt ausgeschnitzt werden. Die endgültige Geometrie wurde mit einem spitzigen Messer gefertigt.

Dann kam die Säulendekor. Die Dekoration der originalen Schmuckarmbrust war sehr minutiös und musste auch kopiert werden. Zur Dekoration diente die Knocheneinlage. Also besteht die Säule nicht nur aus Holz, sondern auch aus Knochen – etwa 5-10% des ganzen Gewichts. Für jedes eingeklebte Knochenstück wurde zuerst eine passende Lage in der Säule ausgehöhlt.

Der verwendete Knochen waren Rippenknochen des Rindes. Zuerst musste sie längsseits durchgesägt werden um den inneren schlickerigen Knochenstoff zu entfernen. Dabei half ein Messer, damit die innere Oberfläche des Rippenknochens völlig geputzt wurde, solchermaßen blieb nur der massive Knochen zurück. Diese Knochenstücke waren ca. 400-500mm lang, 30-50mm breit und 3-5mm dick. Aber sie waren schon sehr fettig. Deswegen musste sie in laugenhaftigem Wasser (Wasser + ein wenig Natriumphosphat) ausgekocht werden. Nach dem Kochen wurden die Knochenstücke schön weiß und ihr Fettgehalt entfernt.

Weil die Geometrie der Säule stellenweise bogig war, musste der Knochen irgendwie gebogen werden. Aber der Knochen lässt sich in seinem Grundzustand nicht biegen, er musste zweitens in essigähnlichem Wasser ein paar Stunden lang gekocht werden. Davon wurde er weich und biegsam, aber diese Eigenschaften hat er nur ca. einen halben Tag, danach wurde er abermals hart und starr. Die Abbildung 22 zeigt die zwei Kochprozesse der Knochen.



a



b



c



d

Abb. 22: Zwei Kochprozesse der Knochen. – a) Erste Kochen in laugenhaftigem Wasser; b) Längsseits durchsägt ausgekochte Rippen; c) Zweite Kochen einiger Knochenstücken im essigähnlichem Wasser; d) Ausgekochte weiche und biegsame Knochenstücken.

Aber wie war es möglich das Holz und den Knochen zusammenzukleben? Dabei half der Knochenleim. Der Knochenleim kleistert die beiden zusammen, aber eine gute, dauerhafte Klebung ist nicht einfach. Die Oberflächen mussten der Klebung entsprechend vorbereitet werden: sie musste natürlich glatt sein, daneben mussten sie auf ca. 50-60°C vor der Klebung vorgewärmt werden. Das war wichtig, denn die Schmelzgrenze des Knochenleims ist ungefähr 40-50°C und wenn er auf eine kalte Oberfläche aufgestrichen wird, dann erstarrt er schnell, und die Oberflächen kleben nicht gut zusammen. Man darf nur wenig Leim verwenden, denn die Leimschicht muss zwischen den zwei Oberflächen sehr dünn sein, weil sich der Rauminhalt des Leimes bei der Trocknung wegen der Verdunstung seines Wassergehaltes verringert. Das kann kleine Risse verursachen. Je dünner die Leimschicht ist, umso weniger ist seine Abnahme, also umso kleiner ist die Wahrscheinlichkeit der Risse.

Noch ein wichtiger Parameter gibt es bei der Klebung: der Druck. Die Erstarrung des Knochenleimes dauert ca. zwei Tage lang, inzwischen mussten die zwei Oberflächen zueinander gedrückt werden. Dazu wurde Gummiband verwendet (Abb. 23).



Abb. 23: Die Einklebung der Knocheneinlagen und mit Gummiband zueinander gedruckte Oberflächen.

Wir müssen noch über die minutiöse Knocheneinlage an den Seiten der Säule sprechen. Kleine Figuren aus Knochen mussten zuerst ausgeschnitzt werden, und sie wurden hinein in ihre ausgemeißelte Rille eingeklebt. Die Abbildung 24 zeigt die Schritte der Seitenknocheneinlagenherstellung.

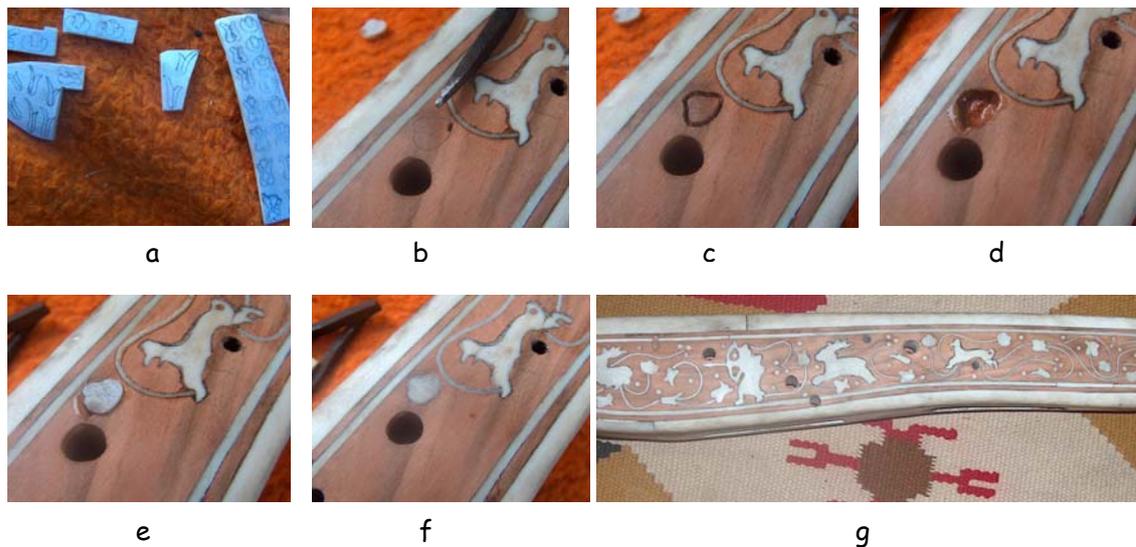


Abb. 24: Seitenknocheneinlagenherstellung. – a) Ausschnitte der Figuren; b und c) Ausmeißeln Lage für die Knochenfigur; d) Leimen der ausgeschnitzter Lage; e) Einklebung der Figur; f) Zusammenschliff der Figur mit der Säule; g) Fertige Seitenknocheneinlagen.

Der nächste Schritt bei der Säulenherstellung war die Fertigung der Säuleoberfläche. Zuerst wurde die Oberfläche mehrmals geschliffen, dann mit Knoblauch gegen den Holzwurm eingerieben. Danach wurde die ganze Säule mit Leinöl geschmiert. Endlich wurde sie mit einer Mischung von Leinöl und Bienenwachs durchgerieben.

Als alle Knocheneinlagen und die Oberfläche der Säule ganz fertig waren, dann kam die letzte Arbeitsstufe: der Schmuck der Figuren und die Knocheneinlagen. Mit einem kleinen Handwerkzeug wurden auf die Oberfläche der Knochenstücken Zeichnungen gekratzt. Danach wurde in den kleinen Rinnen eine Mischung von Holzkohlepulver und Leinöl eingerieben. Auf diese Weise kamen die vorerst gekratzten Zeichnungen hervor (Abb. 25).



Abb. 25: Minuziös geritzte Knocheneinlage.

2.2.1.2. Die Herstellung des Stahlbogens

Der Stahlbogen wurde aus Plattfeder ausgeschmiedet. Die chemische Zusammensetzung dieses Materials ist: 56Si7, das bedeutet 0,56% Kohlenstoffgehalt und 1,6% Siliziumgehalt.

Die korrekte Geometrie war sehr wichtig, darum musste sie bei der Hilfe von Finite Element Analysis geplant werden. Jeder kleine Teil des Stahlbogens bekommt genauso große Belastung aus der Sehnzugkraft bei korrekter Geometrie. Wie die Abbildung 26b es zeigt, hat bei der korrekten Geometrie fast der ganze Bogen die gleiche Farbe: gelb oder orange. Das bedeutet, dass die Belastung gleichmäßig entlang dem ganzen Bogen ist. Also musste ein solcher Stahlbogen ausgeschmiedet werden, dessen Durchschnitt sich von der Mitte bis zum Ende nach den Ergebnissen der Analysis verändert.

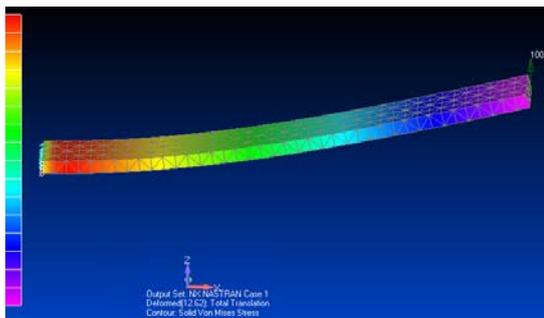


Abb. 26a: Finite Element Analysis über das Biegen eines Stahlbogenhalbarmes mit beständigem Durchschnitt. Es lässt sich sehen, dass die Belastung zu groß in der Mitte der Bogen und zu klein in dem Ende ist, also verteilt sie nicht gleichmäßig. Diese Geometrie ist schlecht.

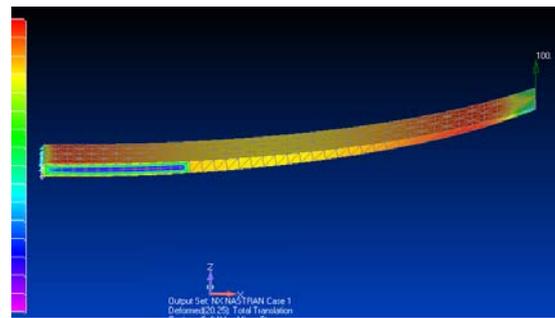


Abb. 26b: Finite Element Analysis über das Biegen eines Stahlbogenhalbarmes mit wechselndem Durchschnitt. Es lässt sich sehen, dass die Belastung gleichmäßig entlang dem ganzen Bogen ist. Diese Geometrie ist korrekt.

(Die Finite Element Analysis wurde mit ANSYS gemacht.)

Die Geometrie ist ein bisschen noch komplizierter. Der Stahlbogen ist unsymmetrisch zu seiner Längsachse und hat einen „Bauch“ nach unten. Noch dazu endet er in Bogendaumen, die sind nicht einfach auszuschmieden. Die Bogendaumen müssen nach einer korrekten Richtung zeigen (Abb. 27).

Daneben sitzt der Stahlbogen in seiner Lage in der Säule quer (Abb. 28), denn die

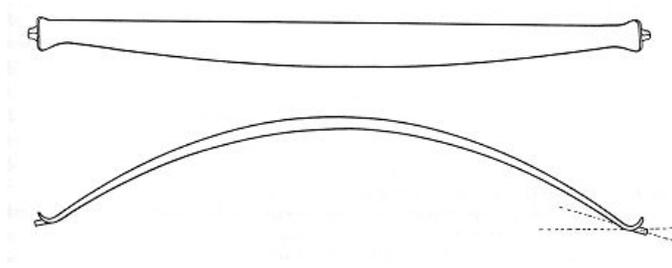


Abb. 27: Stahlbogen von vorne und oben. Der Stahlbogen ist unsymmetrisch zu seiner Längsachse (oben). Die axiale Richtung der Bogendaumen (unten). (Harmuth, 1986.)

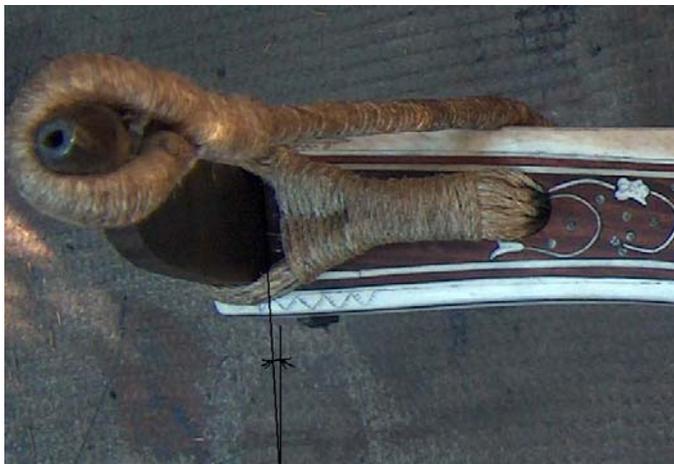


Abb. 28: Die quere Lage der Stahlbogen und der Bogendaumen. Es lässt sich noch sehen, dass die Sehne fast gerade ist und drückt die obere Säuleoberfläche nur ein bisschen.



a



b

Abb. 29: Der geschmiedete Bogendaumen. – a) von hinten; b) von vorne.

Bodendaumen müssen oben die obere Oberfläche der Säule erreichen. So bleibt die im Bogendaumen gehakte Sehne gerade und drückt die obere Oberfläche der Säule nicht stark. Wegen des kleinen Drucks wächst nur kleine Reibungskraft zwischen der Sehne und der Säule. Der Stahlbogen biegt sich beim Spannen, und ringelt sich auch wegen der vorgenannten Asymmetrie und der queren Lage. Auf der Abbildung 29 ist der geschmiedete Bogendaumen zu sehen. Die Bogendaumen spielen eine wichtige Rolle beim Kontakt zwischen der Sehne und dem Stahlbogen. Er muss so ausgeformt werden, so dass die Sehne gut einhaken können und er darf nicht die Sehne strapazieren.

Wir müssen noch über die Wärmebehandlung des Stahlbogens sprechen. Während des Schmiedens verändert sich das Gefüge des Stahles. Deswegen darf man nicht die Wärmebehandlung des Stahlbogens vernachlässigen. Die

Technologie war die folgende: Den ganzen Stahlbogen bis zu 860°C aufwärmen und

im Öl härten, dann im 450°C ausheizen. Durch diese Wärmebehandlung bekam der Stahlbogen entsprechende Eigenschaften, er wurde flexibel.

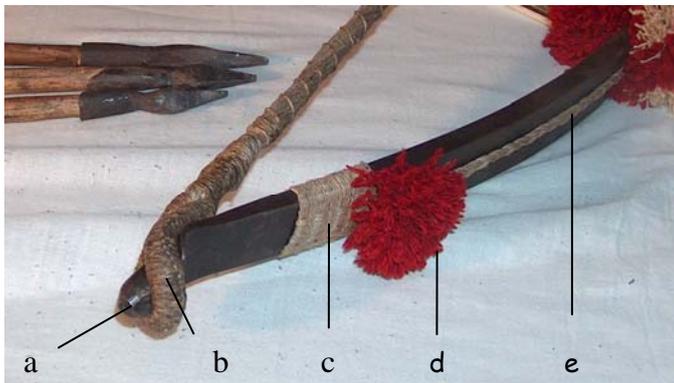


Abb. 30: Rückenseite des rechten Bogenarmes des Stahlbogens. – a) Daumen; b) Sehnenlager; c) Schnürung; d) Aufputz; e) Schutzlitze.

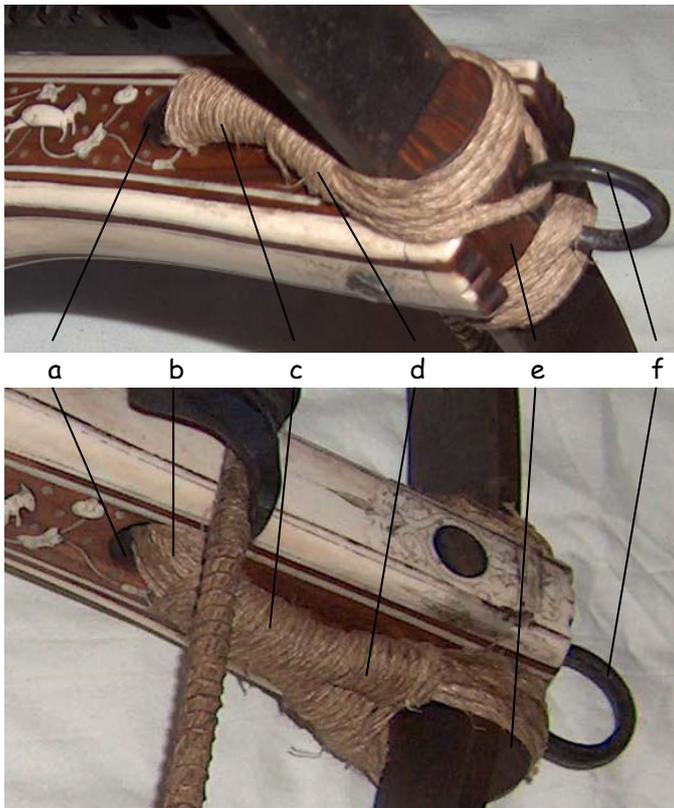


Abb. 31: Einbindung für den Stahlbogen. – a) Spannloch im Säule; b) Halteschnürung c) Spannschnürung mit Zirkeltouren; d) Spannschnürung mit Achtertouren; e) Sattelholz; f) Aufhängerring.

Zu dem Stahlbogen gehört noch ein wichtiges Ersatzteil: die Schutzlitze. Sie war ein elastisch geflochtenes Band und spannte sich über den Bogenrücken. Im Kapitel 1.5. wurde es schon erwähnt, dass ein Nachteil der Stahlbogen war, dass er unter -15°C zerstören konnte. Das geschah nur mit dem mittelalterlichen Stahlbogen, und nie mit den modernen Stahlmaterialien (siehe 14. Fußzeile). Aber die Armbrustreplik musste ganz zeitgetreu sein, deshalb wurde die Schutzlitze auch hergestellt. Die Schutzlitze war das Ersatzteil, das den Jäger bei der Stahlbogenbrechung schützte, denn sie lässt keine abgebrochenen Stücke abfliegen. Die Abbildung 30 zeigt die Schutzlitze und noch ein paar andere Ersatzteile.

2.2.1.3. Die Herstellung des Einbundes

Der Stahlbogen und die Säule wurden durch Einbund aneinander fixiert. Der Bogen muss im Bogenlager unverrückbar und befestigt sein, um damit immer genau und kräftig schießen zu können. Dieser Einbund war aus einer nur sehr mäßig rechtsgedrehten Schnur aus 8 linksgedrehten Hanffäden gefertigt. Jeder einzelne Hanffaden wurde mit Bienenwachs gegen das Wasser eingerieben.

Der Einbund läuft über das am Bogenrücken aufliegende Sattelholz und stets über das Spannloch (Abb. 31). Einzelne Touren der Bindung gehen auch über den Aufhänger. Wenn die Halteschnürung fertig war, wurde mit dem gleichen Faden, ohne ihn zu trennen, die Spannschnürung angeschlossen. Sie begann mit Zirkeltouren beim Säulenloch und beendete mit Achtertouren beim Bogen. Durch die so errichtete Spannung wurde der Einbund hart und fest, er bleibt aber doch etwas elastisch.

2.2.1.4. Die Herstellung der Bogensehne

Es gibt eine alte und schwache Möglichkeit eine Bogensehne zu fertigen. Wird ein Hanffaden in vielen Touren um beide Bogendaumen des Stahlbogens gelegt, so kann die so gewonnene Sehne an den Schlingen halb so stark wie im übrigen Bereich sein. Dieses Ergebnis ist die ungeknotete Sehne, die sehr ungünstig ist, denn die Sehne ist gerade am Ende des Bogens der



Abb. 32: Typischer Schaden bei der ungeknoteten Sehne.

größten Belastung ausgesetzt. Einen typischen Schaden zeigt die Abbildung 32 bei der ungeknoteten Sehne. Die ungeknotete Sehne und ihr Aufbau lässt sich in der Abbildung 33a sehen.

Die beste Lösung auf dieses Problem kommt aus der Gotik. Die mitteleuropäische gotische Armbrustsehne vermied den Fehler und schlingt sich mit ihrer vollen Stärke um den Bogendaumen, um mit einem besonderen Knoten wieder in den Hauptstrang einzumünden. Dadurch ist die Sehnenmitte fast um die Hälfte leichter geworden, deswegen kann der Bolzen mehr kinetische Energie aufnehmen (siehe Kapitel 1.5). Die geknotete Sehne und ihr Aufbau lässt sich in der Abbildung 33b sehen.

Abb. 33a: Ungeknotete Sehne. - a) Sehnenschlinge; b) Sehnenstrang mit Zierfaden ; c) Schlagfaden; d) Schlingenmantel aus einfachen Zirkeltouren.

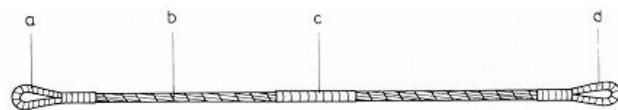
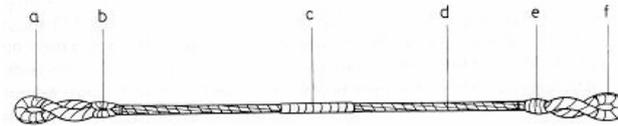


Abb. 33b: Geknotete Sehne. - a) Sehnenschlinge; b) Knotenscheitel; c) Schlagfaden; d) Sehnenstrang mit Zierfaden ; e) Knotenrücken; f) Schlingenmantel aus Kettenfaden.



Bei der Herstellung der geknoteten Bogensehne der Armbrustreplik wurde folgendermaßen vorgegangen: Zunächst wurde ein langer Handfaden mit Bienenwachs eingerieben. Die sog. Ursehne wurde aus 40-50 Touren mit der Hilfe von zwei Eisenstiften gefertigt (Abb. 34), so dass die Ursehne gegen 80-100 Fäden hat und hat einen Durchmesser von etwa 12mm. Diese Uhrsehne soll 40-60cm länger sein als die fertige Arbeitsehne.



Abb. 34: Ursehneherstellung mit der Hilfe von zwei Eisenstiften.

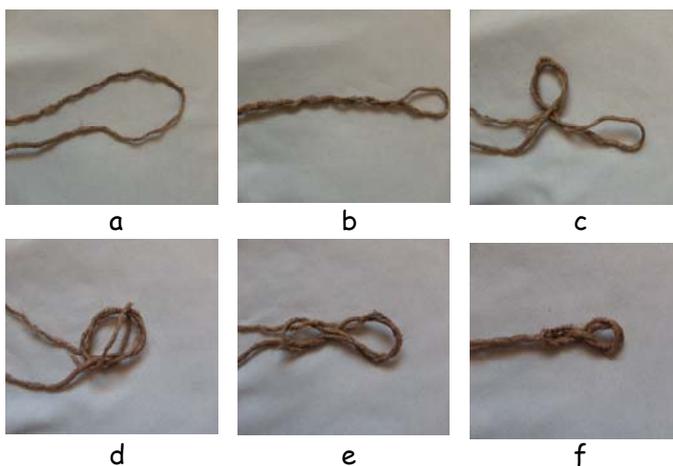


Abb. 35: Knüpfen des Sehnenschnitens (Erklärung mit einem Faden). – a) Ursehne; b) Gedrehte Ursehnenende und die entstehende Urschlinge; c) Hindurch den Ursehnenchenkeln gescheckte Urschlinge und die entstehende zweite Schlinge; d) Hindurch die Urschlinge gescheckte zweite Schlinge; e) Entstehende Arbeitknoten; f) Gefestigte Arbeitknoten.

Dann kommt die Knotenherstellung (Abb. 35) und es wurde einer von den zwei Eisenstiften gelöst, das Ursehnenende festgehalten, und der gelöste Eisenstift 5-10mal nach z.B. links gedreht. So entsteht eine Urschlinge am Ende der Uhrsehne. So steckte

dann die Urschlinge zwischen den Ursehnenschenkeln hindurch. Die so entstandene zweite Schlinge wurde dann hindurch die Urschlinge gesteckt. So entstanden die Arbeitsehne und die Arbeitknoten (Abb. 36).



Abb. 36: Arbeitknoten und das Ende der Arbeitsehnen.

Der Knoten wurde dann mit Kettenfaden bedeckt. Der Kettenfaden hilft der Sehnenschlinge runde Form aufzunehmen. Der Knoten ist ziemlich fest wegen des vielen Drehens. Aber die endgültige Strammheit bekommt er nur nach dem ersten Schuss. Den endgültigern Knoten zeigt die Abbildung 37.

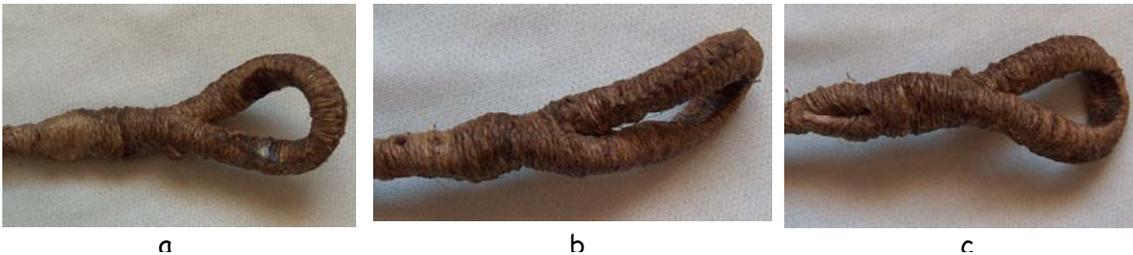


Abb. 37: Sehnenknoten. – a) Von vorne; b) Von links; c) Von hinten.

2.2.1.5. Die Herstellung des dreiachsigen Nußschloßes

Der Schlosstyp der Armbrustreplik ist das dreiachsige Nußschloß mit Schneller, das das komplizierteste Schloss in der Geschichte der Armbrust ist. Das hat viele verschiedene Ersatzteile, wie es schon im Kapitel 1.5 vorgestellt wurde. Jeder Ersatzteil wurde geschmiedet. In der Abbildung 38a lässt sich ein Röntgenbild über ein originales dreiachsige Nußschloß ansehen. Die Abbildung 38b zeigt das dreiachsige Nußschloß der Armbrustreplik. Das Schloss hat zwei interessante und komplizierte Ersatzteile: die Nuss und der Schneller.

Die Nuß wurde aus Hirschhorn gemacht. Das Hirschhorn hat aber einen großen Nachteil: sein Inneres ist sehr schwammig, also es kann nicht Belastung aufnehmen. Die Nuss musste so aus dem Hirschhorn ausgeschnitten werden, dass sie nur ein wenig schwammige Teile enthalten durfte und diese schwammigen Teile durften nicht zu

große Belastung bekommen. Also wurde die Nuß aus der Hirschhornrose gefertigt so wie die Abbildung 39 es zeigt.

Abb. 38a: Röntgenbild eines originalen dreiachsigen Nußschloß. (Das Röntgenbild wurde von Dr. László Töll gemacht.)

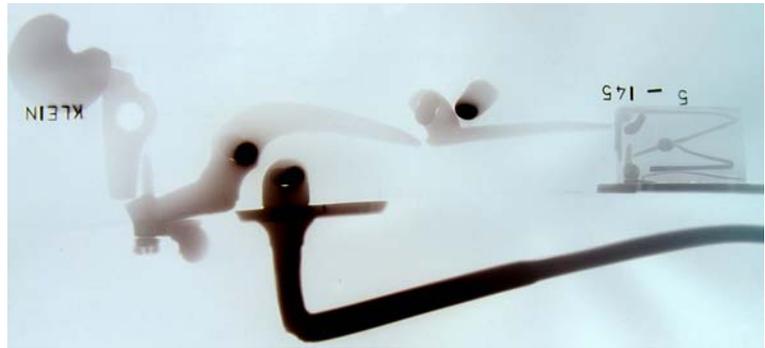


Abb. 38b: Ersatzteilen des dreiachsigen Nußschloßes. – a) Nuß; b) Stollen; c) Sicherungsflügel; d) Abzugstange; e) Schutzbügel; f) Zwischenstück; g) Achse; h) Schneller; i) Schraube zu der Befestigung des Schnellern.

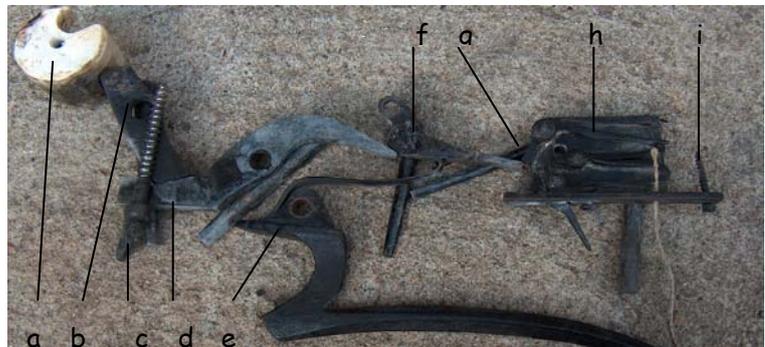


Abb. 39: Der entsprechende Hirschhornteil zum Nuß (rot).

Gegen die große Belastung bekam die Nuss ein paar Eisenbeschläge: eine Einbauniete und zwei andere Nieten in den beiden Nussfingern (Abb. 40). Die Einbauniete hilft gegen die Strapaze der Stollen. Die zwei Nieten in den Fingern sind gegen die große Sehnenzugkraft.



Abb. 40: Die Nuß. – a) Von unten; b) Von oben.

Der Schneller ist das Ersatzteil, das beim Schießen die Abzugzünglein sehr leicht anzuziehen ermöglicht, deswegen ist das Schießen genauer. Jeder Bauteil des Schnellern wurde geschmiedet. Der Aufbau des Schnellern lässt sich in der Abbildung 41a ansehen. Über den Betrieb des Schnellern wird es noch später geschrieben

werden.

Beide Federn des Schnellers bekamen die gleiche Wärmebehandlung wie der Stahlbogen. Dadurch wurden sie sehr flexibel. Jeder Ersatzteil, die Federn auch, wurden zur Grundplatte genietet, aber alle Hebeln können sich um ihre Nieten drehen. Der ganze Schneller wurde mit Schmalz gegen die Korrosion eingeschmiert. An die Oberflächen wurde noch Leinöl angebrannt.

Wie funktioniert der Scheller beim Schießen? Die Abbildung 41a zeigt den Schneller in seinem Zustand vor dem Schießen. Beim Schießen bewegt sich das Zünglein nach hinten, und es dreht den L-Form Hebel gegen die U-Form Federkraft. Bisher wurde der Zwischenhebel mit dem L-Form Hebel gegen die U-Form Federkraft gehalten, aber jetzt kann sich der Zwischenhebel auch drehen. Er drückt das Ende des Oberhebels nach oben, dessen Plattfederkraft sehr klein ist, und der Oberhebel dreht sich auch. An die Oberheber knüpft sich das Zwischenstück des Nußschloßes und beim Drehen des Oberhebels vergeht der Kontakt zwischen den beiden. Die Abbildung 41b zeigt den Schneller in seinem Zustand nachdem Schießen.

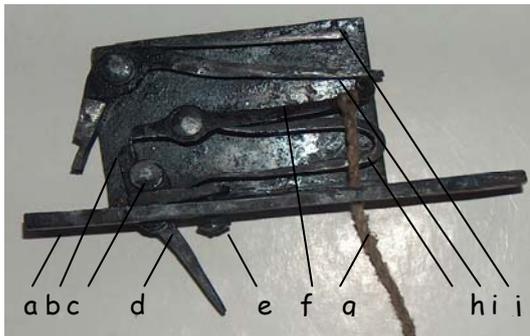


Abb. 41a: Der Aufbau des Schnellern und der Zustand des Schnellern bevor dem Schießen. – a) Grundplatte; b) L-Form Hebel; c) Niete; d) Zünglein; e) Schraube; f) Zwischenhebel; g) Spannfaden; h) U-Form Plattfeder; i) Oberhebel; j) Plattfeder.



Abb. 41b: Der Zustand des Schnellern nachdem Schießen.

Zur Spannung des Schnellerns dient dem Spannfaden. Beim Ziehen des Spannfadens wurde das Ende des Zwischenhebels heruntergezogen, so wegen der U-Form Federkraft kann der L-Form Hebel zurückdrehen, und er kann den Zwischenhebel halten. Der Scheller ist wieder zum Schießen bereit.

Ein interessanter Bauteil des Schnellerns ist die Schraube. Ihre Aufgabe ist die Sensibilität der Zünglein zu vermindern. Wenn die Schraube ein bisschen nach innen

gedreht wurde, dann hebt sie den L-Form Hebel und deswegen muss sich das Zünglein vor dem Schießen nur sehr wenig bewegen. Also geht der Schneller leichter los, wenn die Schraube nach innen und schwerer wenn sie nach außen gedreht wird.

Wir müssen noch über den Betrieb des dreiachsigen Nußschloßes sprechen. Zuerst werden wir kennen lernen, was während des Schießens passiert. Der Zustand des Schloßes zeigt die Abbildung 42a vor dem Schießen und die Abbildung 42b nach dem Schießen.

Abb. 42a: Das dreiachsige Nußschloß bevor dem Schießen und seine Ersatzteile.
 – a) Nuß; b) Stollen; c) Sicherungsflügel; d) Abzugstange; e) Zwischenstück; f) Oberhebel des Schnellern.

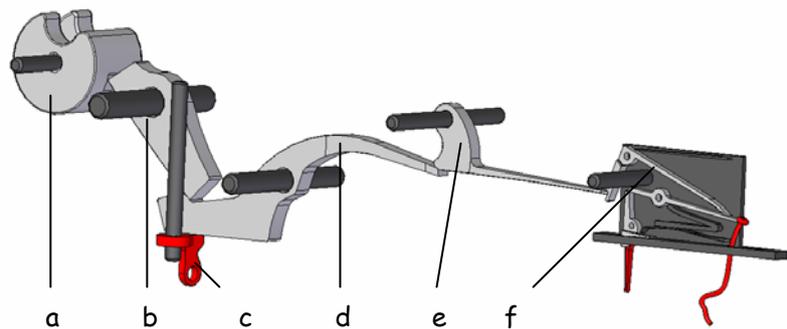
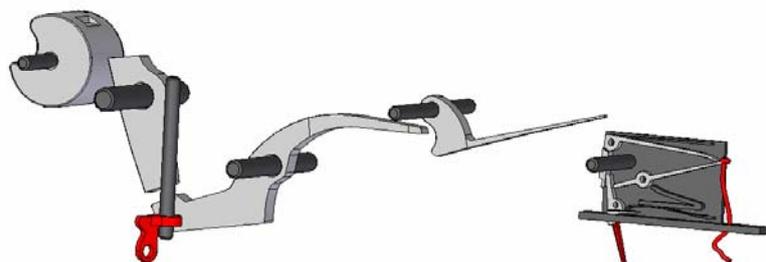


Abb. 42b: Das dreiachsige Nußschloß nachdem Schießen.



Zunächst entschert der Schiesser die Armbrust durch das Drehen des Sicherungsflügels. Jetzt drückt die Abzugstange das Zwischenstück mit voller Kraft. Es kann sich noch nicht bewegen, denn den Oberhebel des Schnellern hält es fest. Beim Schießen dreht sich der Oberhebel, so vergeht der Kontakt zwischen dem Oberhebel und dem Zwischenstück und es kann sich abdrehen. Die Abzugstange dreht sich auch ab und sie lässt die Stollen und dadurch die Nuss frei drehen. Die Animation_1.avi Video zeigt dem Schießen am beigelegenen DVD.

Aber wie wird das Schloss noch mal in schießbereite Position gebracht? Wenn die Sehne die Nuß zurückdrehen lässt, dann muss der Schiesser die Stollen mit dem Stechstift in die richtige Lage drücken (Abb. 43). Dann kann der Schiesser mit seinem Zeigefinger die Abzugstange nach oben drücken, deren Ende an die Stollen klammern

kann. Mit dem Sicherungsflügel ist die Abzugstange in dieser Position zu sichern. Jetzt hält die Nuß die gespannte Sehne, aber die Waffe ist noch nicht schießbereit. Die Animation_2.avi Video zeigt die erste Vorbereitung.

Der folgende Schritt ist die Spannung des Schnellers mit seinem Spannfaden. Die Animation_3.avi Video zeigt die zweite Vorbereitung.

Beim dritten Schritt stellt der Schiesser das Zwischenstück in die richtige Lage. Er drückt es herunter mit dem Stechstift. Dadurch entsteht der Kontakt zwischen dem Schneller und dem vorderen Teil des Schloßes und das Schloß wird schießbereit (Abb. 43). Die Animation_4.avi Video zeigt die dritte Vorbereitung.

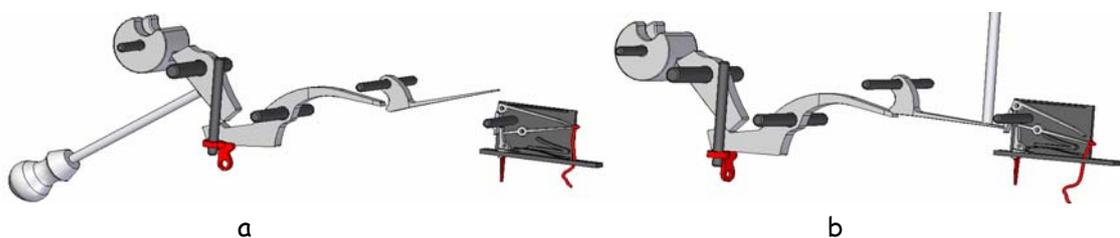


Abb. 43: Das dreiachsige Nußschloß in schießbereite Position bringen. – a) Die Einstellung der Stollen mit dem Stechstift; b) Die Einstellung das Zwischenstück mit dem Stechstift.

2.2.2. Die Zahnstangewinde

Gespannt wurde die mitteleuropäische Armbrust mit der Zahnstangewinde (französisch und englisch cranequin genannt). Am verbreitetsten war jene Art, deren liegender Randkasten an seinem Boden den kräftigen Windfaden aus Hanf trug (Abb. 44).

Zur Armbrustreplik gehört ein solcher Windetyp. Diese Winde ist eine typische deutsche Zahnstangewinde, in deren Randkasten einer vierzähliger Kurbeltrieb, großes Zahnrad, und mit ihm fest vernietet, der dreizählige Zahnstangentrieb untergebracht sind. Dieser zieht auch eine stark belastete Zahnstange mühelos durch den Kasten. Die rechts gezahnte Stange trägt am hinteren Ende den Gürtelhaken, am vorderen Ende die zweifingerige Krappe. Beim Spannen hakt sie in der Bogensehne und spannt die Sehne entlang die Säule bis zur Nuss. Die Animation_5.avi Video zeigt den Betrieb der Winde.

Die Winde konnte abgenommen werden, sobald das Schloss die gespannte Sehne hält. Die eingezogene Zahnstange wird für den nächsten Spannvorgang wieder ausgefahren. Dazu genügt eine Hand. Sie ergreift den Kasten, hält ihn vom Körper des Schützen ab und schwenkt den freien Kurbeltrieb im Leerlauf kreisend zurück.

Die Zahnstangengewindereplik hat einen Kurbelradius von 240mm. Der Handgriff dreht bei der Spannung 22mal herum, um die Sehne 150mm zurückzuziehen. Also bewegt sich der Handgriff ca. 33m. Das bedeutet eine Getriebeübersetzung von 1:220, also vermindert sich die 3000N (700 Pfund) große Sehnenszugkraft auf etwa 14N (3 Pfund).

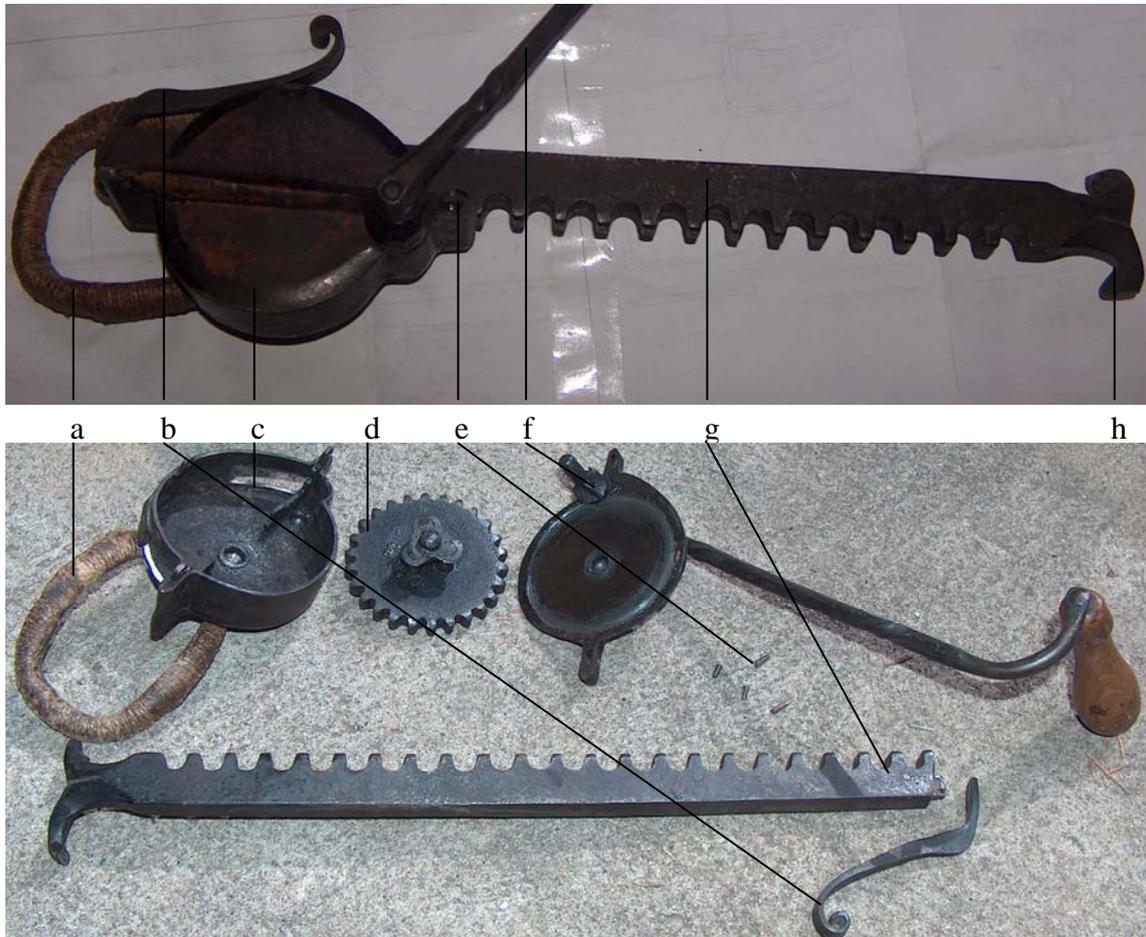


Abb. 44: Die Zahnstangengewinde. – a) Windfaden; b) Gürtelhaken; c) Randkasten; d) Zahnrad; e) Niete; f) vierzähliger Kurbeltrieb; g) Zahnstange; h) zweifingerige Krappe.

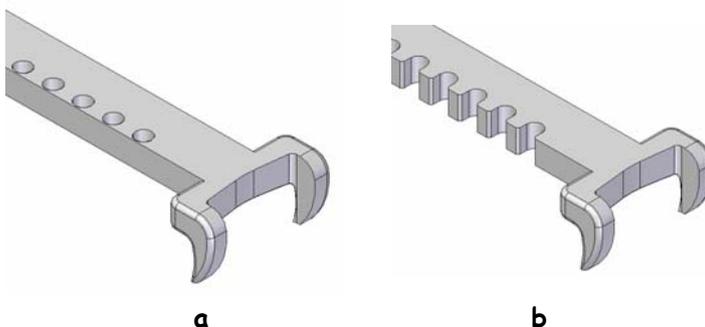


Abb. 45: Zahnherstellung. – a) Bohrungen; b) ausgefüllte Zahngeometrie.

Jeder Ersatzteil der Zahnstangengewinde wurde geschmiedet. Durch eine interessante Technologie wurden aber die Zähne gefertigt. Zunächst musste eine Bohrung ausgebohrt werden. Dann wurde das

zurückgebliebene Material ausgesegelt. Zuletzt wurde die endgültige evolvente Zahngeometrie ausgefeilt.

Die Randkasten wurden aus manchen Stahlplatten gefertigt. Die verschiedenen Stücke wurden mit Hartlötung (Kupferlötung) zueinander gelötet. Diese Technologie ist zeitgetreu.

Die Ersatzteile im Randkasten wurden mit Schmalz gegen die Korrosion und die Abnutzung eingeschmiert. An die Oberflächen wurde noch Leinöl angebrannt.

2.2.3. Der Stechstift

Der Stechstift ist bei dem Vorbereiten des Schloßes zu verwenden. Es gibt zwei Stechkanäle in der Säule für den Stechstift, oben hinter der Nuß und unten vor der Nuss (Abb. 46.)



a



b

Abb. 46: Stechkanäle für den Stechstift. – a) unten bevor der Nuß; b) oben hinter der Nuß.

Der Stechstift selbst besteht aus einem geschmiedeten Stift und aus einem Handgriff aus Eichenholz. Der Handgriff ist mit Knochenplatten bedeckt (Abb. 47).



Abb. 47: Der Stechstift.

2.2.4. Die Bolzen

Die Bolzen wurde aus Eschenholz gefertigt und die Pfeilspitze wurde geschmiedet. Die Federn sind aus Eschenholzplatten. Es gibt für sie zwei seichte Nuten gegenüber einander an dem Mantel der Bolzen. Die Federn sind in die Nuten eingeleimt. Die Bolzen sind 340mm lang und sie wiegen 90-110g. Drei Bolzen lassen sich in der Abbildung 48 ansehen.



Abb. 48: Armbrustbolzen.

2.3. Zusammenfassung

Wahrscheinlich ist die oben vorgestellte Armbrustreplik am zeitgetreuesten, am ähnlichsten zu einem Originalen in ganz Ungarn. Sehr viele Details wurden nicht beschrieben, viele Technologien und Ersatzteile wurden nicht vorgeführt.

Die Armbrustreplik hat keinen solchen Ersatzteil, der im Geschäft zu kaufen ist. Jedes Stück ist ein Produkt von Handarbeit aus Grundstoffen wie Eisen, Holz und Horn, jedes Stück hat eine eigene Geschichte, an jedes Stück knüpfen sich viele persönliche Erlebnisse. Deswegen ist die Waffe so wertvoll und der Hersteller kennt alle ihrer Stückchen sehr gut.

Es wurde eine DVD der Schrift beigelegt, die viele Fotos über die Armbrustreplik und über die Herstellung enthält. Es sind noch ein paar Videos zu finden, die den Betrieb der Waffe zeigen.

Fachliteratur

- [1] Egon Harmuth: Die Armbrust, Graz, 1986.

- [2] G. M. Wilson: European Crossbows, Dorchester, 1994.

- [3] Ralph Payne-Gallwey: The Book of the crossbow, New York, 1996.

- [4] Dr. Töll László: A Déri Múzeum számszeríjai, Debrecen, 1992.

- [5] Fritz Rohde: Über die Zusammensetzung der spätmittelalterlichen Armbrust, Berlin, 1993.

- [6] Dr. Kalmár János: Régi magyar fegyverek, Bp. 1971.