

Den Bogen überspannt

Metallographische Analyse eines gebrochenen Armbrustbogens

Von Holger Richter

Erstmals wird hier nach der Bruchursache des Bogens einer historischen Windenarmbrust gefahndet. Vor allem aussagekräftige Abbildungen sollen die Ergebnisse der Analyse eines Stahlbogens vermitteln, die der Autor im Auftrag des Stadtmuseums Weimar durchführen ließ. Das Bruchstück aus dem Depot des Museums ließ sich nicht exakt datieren, stammt aber sicher von einer traditionellen Armbrust mittlerer Größe, die mit einer Zahnstangenwinde gespannt wurde. Denn das war der Armbrusttyp, den die Weimarer Schützen noch bis 1944 verwendeten. Vereinzelt benutzten sie bei ihren Wettbewerben sogar sehr alte Waffen aus dem 16. und 17. Jahrhundert, die immer wieder repariert worden sind und wenn gar nichts mehr half, ausgeschlachtet wurden, um die brauchbaren Teile weiterzuverwenden. Dass, wie in unserem Fall, ein defektes Teil aufbewahrt wurde, ist eine Seltenheit. Der Stahlbogen brach, wahrscheinlich nach längerem Gebrauch, nahe der Mitte.

Am 18. August 1829 schickte der Leipziger Armbrustmacher Johann Friedrich Rothe den Weimarer Schützen detaillierte Preisübersichten seiner Leistungen, zum Beispiel *Bogen von raffinierten Stahl welche unter 5 Pf. wiegen mit inbegriff des Einbands – a Pfund 1 Rt. 4 Gr.*¹ Hier erhalten wir einen Hinweis auf das Material Raffinierstahl, das schichtenweise aufgebaut ist und auch bei Schlossfedern von Feuerwaffen und Klingen eingesetzt wurde. Bei Raffinier- oder Gärbstahl werden die in einer „Garbe“ zusammengefassten, unterschiedlich harten Lagen durch wiederholtes Ausschmieden, Falten und Feuerverschweißen zu einer Blätterteigstruk-



Abb. 1: Bogenbruchstück, ursprünglich aus dem Besitz der Weimarer Armbrustschützengesellschaft, Gesamtlänge 320 mm, Querschnitt an Bruchstelle nahe der Bogenmitte 39,4 x 12,5 mm, Querschnitt an schwächster Stelle vor dem Sehnenlager 28,6 x 7,4 mm.

tur verfeinert („raffiniert“). Dabei homogenisiert sich das Material, indem Schlackeneinschlüsse entfernt werden und sich der Kohlenstoffgehalt vereinheitlicht. Bei Lagendamast bleibt ein deutlicher Unterschied der weichen und harten Stahlschichten erhalten. Wird sich dieses Material an einem Realstück (Abb. 1) nachweisen lassen? Schon in Sensfelders Aufsatz *Schichtarbeit*² aus dem Jahr 2007 ließ sich die Lagenstruktur an einem leichten, geschmiedeten Armbrustbogen belegen.

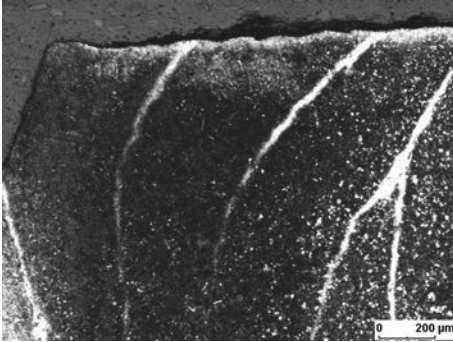


Abb. 2: Schichtaufbau des Armbrustbogens, Vergrößerung: 50 x, Ätzung: Nital (3 % HNO_3).

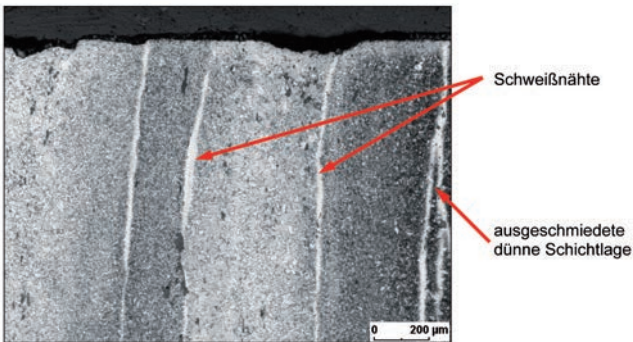


Abb. 3: Schichtaufbau des Armbrustbogens, Vergrößerung: 50 x, Ätzung: Nital (3 % HNO_3).

Im Katalog zur Sonderausstellung *Eingedenk der alten Zeit – Die Weimarer Armbrustschützengesellschaft und ihre wechselvolle Geschichte* im Stadtmuseum Weimar 2011/2012 wurde bisher nur eine Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse präsentiert und nicht die ausführlichen technischen Einzelheiten.³ Das soll hier nachgeholt werden. Die Abbildungen 2 – 6 sind Auszüge des Prüfberichtes von Dr.-Ing. Bernd Lychatz und Dr.-Ing. Thilo Kreschel der TU Freiberg vom 4. 11. 2009, auf den ich mich im folgenden Text beziehe.⁴ Das übergebene Bruchstück wurde getrennt und auf diesem Weg ein für die nachfolgende Untersuchung geeigneter Probenabschnitt in Nähe der Bruchstelle gewonnen. Dieser repräsentiert den gesamten Querschnitt des Armbrustbogens. Der Probenabschnitt wurde mittels Einbetten, Schleifen und Polieren metallographisch prä-

pariert. Die nachfolgende Untersuchung fand an einem Lichtmikroskop vom Typ Neophot 31 und einem Mikrohärteprüfer HMV 2000 der Firma Shimadzu statt. Die Übersichtsaufnahmen (Abb. 2 und 3) zeigen beispielhaft den mittels Ätzung sichtbar gemachten Schichtaufbau des Bogens, der in Abbildung 7 über die gesamte Dicke des Fragments erscheint.

Die sichtbar gemachten Schichten weisen, insgesamt betrachtet, unterschiedliche Dicken und Anordnungen auf. Somit bietet sich ein typisches Bild feuerverschweißter Schichten mit zum Teil ausgeschmiedeten dünnen Schichtlagen und deutlich erkennbaren Schweißnähten. Grundsätzlich liegt ein ferritisch-perlitisches Gefüge mit unterschiedlichem Perlitanteil vor. Damit liegt der Kohlenstoffgehalt zwischen 0,02 und 0,8%. Zur Dokumentation des Schichtaufbaus wurde der Härteverlauf über den Querschnitt ermittelt (Abb. 4). Als Verfahren kam hierfür die Mikrohärteprüfung nach dem Vickers-Verfahren zum Einsatz. Dabei wurden mit einer Prüfkraft von 20 N (HV 2) in einer Linie Härteeindrücke im Abstand von 0,5 mm in Tiefenrichtung gesetzt und vermessen. Diese Härtemessung entlang der gesamten Dicke nahe der Bogenmitte lokalisierte zuerst circa 12 Lagen, wobei sich die weichsten Lagen jeweils außen befinden. Durch die mikroskopische Untersuchung konnten circa 30 Lagen bestimmt und das Ergebnis verfeinert werden. Der ermittelte Härteverlauf zeigt unterschiedlich dicke Schichten. Bei einer vermuteten gleichen Ausgangsdicke der Lagen kann dies ein Hinweis auf unterschiedliche Umformgrade bei der Herstellung sein. Die Spitzen der Härtekurve liegen meist zwischen ca. 420 und 460 HV (= ca. 42 und 46 HRC) und damit im Bereich weichen Federstahls.

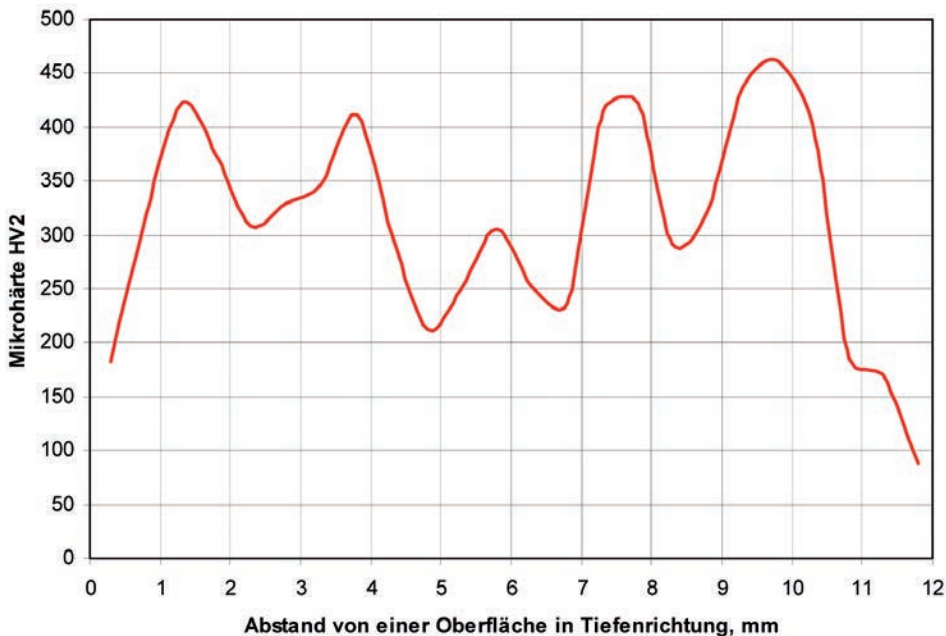


Abb. 4: Härteverlauf in Tiefenrichtung. Die Härtemessung erfolgte entlang der Dicke nahe der Bogenmitte.

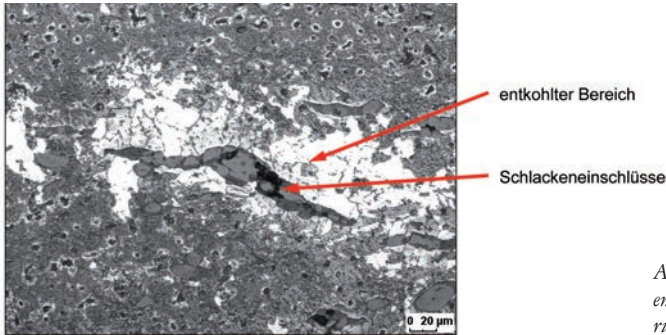


Abb. 5: Schlackeneinschlüsse mit entkohlter Umgebung, Vergrößerung: 250 x, Ätzung: Nital.

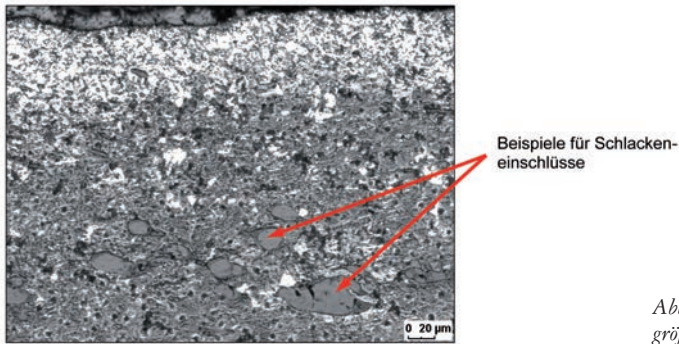


Abb. 6: Schlackeneinschlüsse, Vergrößerung: 250 x, Ätzung: Nital.

Einen schlüssigen Hinweis auf die Bruchursache geben die Abbildungen 5 und 6. Auf den Gefügaufnahmen ist beispielhaft eine Vielzahl von Schlackeneinschlüssen unterschiedlicher Form und Größe zu sehen. Teilweise ist die Umgebung der Einschlüsse stark entkohlt infolge der entkohlenden Wirkung von Schlacke auf die umgebende Matrix. Somit ist in der unmittelbaren Umgebung der Schlackeneinschlüsse ein wesentlich geringerer Perlitanteil und damit ein Gefüge geringerer Festigkeit zu verzeichnen. Neben der Kerbwirkung der Einschlüsse kommt damit auch eine Absenkung der Festigkeit in diesen Bereichen infolge Entkohlung als mögliche Bruchursache infrage.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Bogen aus alternierend angeordneten, feuervergeschweißten weichen und harten Stahlschichten zusammengesetzt ist. Durch nichtmetallische Einschlüsse entstand eine Querschnittschwäche, die die elastische Verformbarkeit des Bogens beeinträchtigte und den Bruch herbeiführte. Dabei sind die Schlackeneinschlüsse unterschiedlich groß und inhomogen verteilt. In der heutigen Stahlproduktion werden durch andere Technologien wesentlich höhere Reinheitsgrade erreicht. Die alten Bögen ließen sich sicher nicht so weit ausziehen und konnten nicht so viel Energie freisetzen wie formidentische Bögen aus reineren Normstählen der Gegenwart. Außerdem lässt sich bei letzteren der Spannungsvorgang mit deutlich geringerem Bruchrisiko wiederholen. Vor diesem Hintergrund werden die in alten Schützenordnungen vorgeschriebenen Fangschnüre auf der Bogenaußenseite und besondere Futterale, die beim Spannen Bogen und Sehne bedeckten, verständlich.

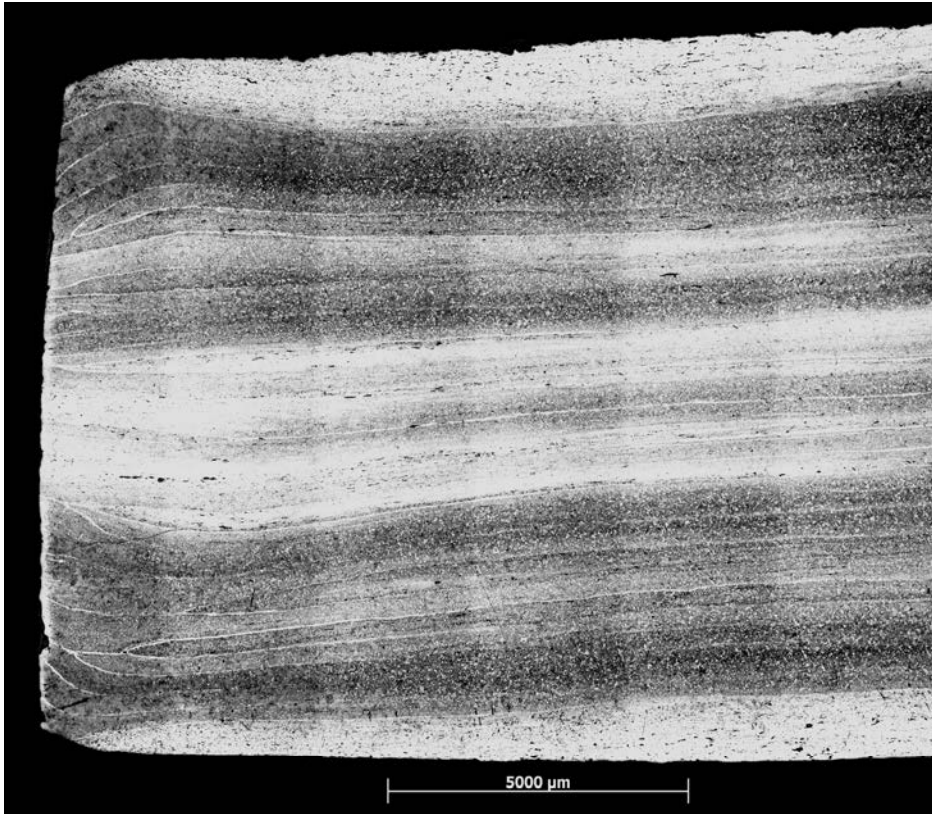


Abb. 7: Bogenquerschnitt in seinem Schichtaufbau über die gesamte Dicke. Der Bogen besteht aus ca. 30 Schichten, die durch den Schmiedeprozess deformiert erscheinen.

Anmerkungen

- 1 RICHTER, S. 52. Pf. = Pfund, Rt. = Reichstaler, Gr. = Groschen.
- 2 SENSFELDER, S. 16 – 18.
- 3 „Insgesamt kann man somit von Lagendamast sprechen, der mehr als 20 Schichten aufweist. Es war ein für die Erzeugung von Federstahl bis ins 20. Jh. hinein angewendetes Verfahren, ein Paket von weichem (kohlenstoffarmem) und hartem (kohlenstoffreichem) Stahl wiederholt zu falten, im Feuer zu verschweißen und auszuschmieden bis die gewünschte Struktur vorlag, die nach dem Härten und Anlassen Festigkeit mit Biegsamkeit verband und genügend Federkraft bei geringem Bruchrisiko versprach.“ (Richter, S. 55, 56).
- 4 Dr.-Ing. Bernd Lychatz und Dr.-Ing. Thilo Kreschel, Untersuchung eines metallischen Bruchstücks (Hälfte) eines historischen Armbrustbogens aus dem ehemaligen Besitz der Weimarer Armbrustschützen, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Eisen- und Stahltechnologie, 04. 11. 2009.

Bibliographie

RICHTER: Holger RICHTER. Eingedenk der alten Zeit – Die Weimarer Armbrustschützengesellschaft und ihre wechselvolle Geschichte. Katalog zur Sonderausstellung im Stadtmuseum Weimar 2011/2012.

SENSFELDER: Jens SENFELDER. Schichtarbeit. In: WKK, Heft 1, 2007, S. 1 – 24.

Bildnachweis

Abb. 1: Autor.

Abb. 2 – 7 aus: „Untersuchung eines metallischen Bruchstücks (Hälfte) eines historischen Armbrustbogens aus dem ehemaligen Besitz der Weimarer Armbrustschützen“, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Eisen- und Stahltechnologie, 04. 11. 2009.

Abstract

This article presents the results of a metallographic analysis of a broken steel bow for a crossbow. The bow came from a traditional cranequin crossbow, which was used by a member of the civic crossbow shooting society in Weimar (dissolved in 1945). The fragment from the depot of the city museum Weimar could not be dated exactly, but comes certainly from a traditional crossbow, which was bent by winder. Some of the Weimar crossbowmen used very old weapons from the 16th / 17th centuries, which have been repeatedly repaired.

The steel bow fragment (fig. 1) has a total length of 320 mm with a cross section at the fracturing point near the center of 39.4 x 12.5 mm and a rectangular cross section before the string notches of 28.6 x 7.4 mm. The bow consists of fire welded layers and basically there is a ferritic-pearlitic structure with different portions of pearlite (fig. 2, 3). About 30 layers are visible (fig. 7). The hardness profile (fig. 4), determined by the Vickers method [test force of 20 N (HV 2), measuring distance of 0.5 mm] shows the small side of the cross section near to the center. Here the hardness of a soft spring steel is recognizable. Slag inclusions with decarburized environment gives a conclusive indication of the fracture cause (fig. 5, 6). On the micrographs is exemplary to see a variety of slag inclusions of varying size and shape. In part, the environment of the slag inclusions strongly decarbonized due to decarbonization effect of slag on the surrounding matrix. In summary it can be said that the bow consists of forge welded alternating soft and hard steel layers and the fracture was caused by nonmetallic inclusions. In today's steel production significantly higher levels of purity can be achieved by other technologies.