

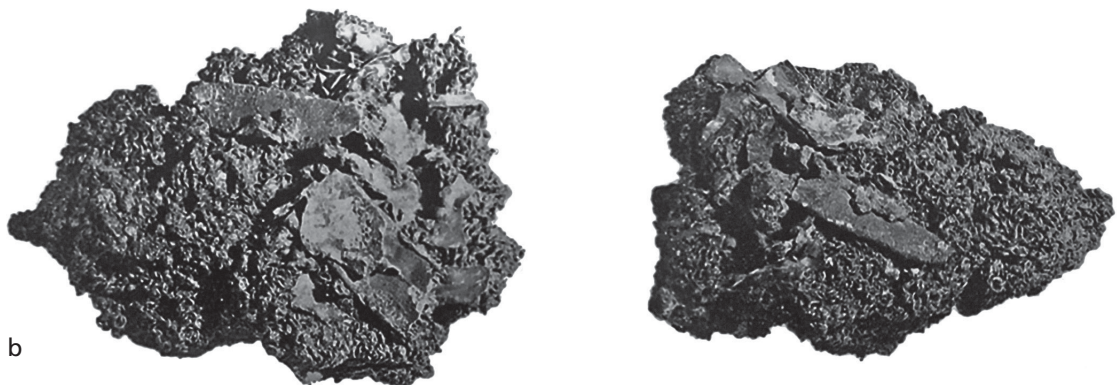
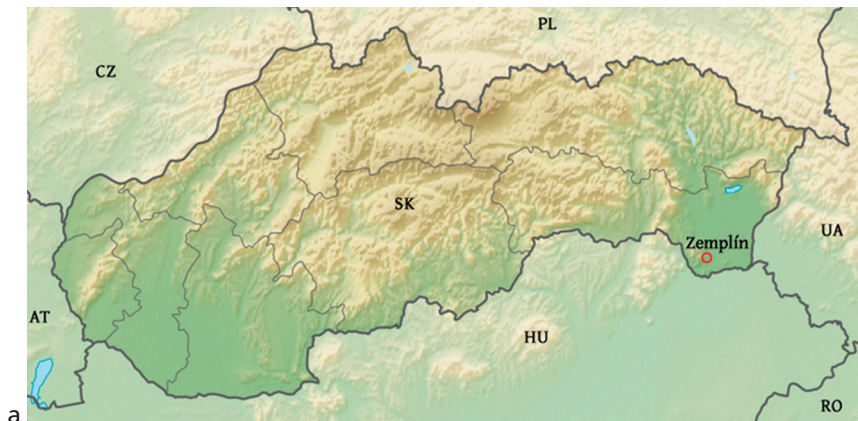
## GEZOGENER ANTIKER DRAHT? ZUR DRAHTPRODUKTION DES KETTENPANZERS AUS ZEMPLÍN

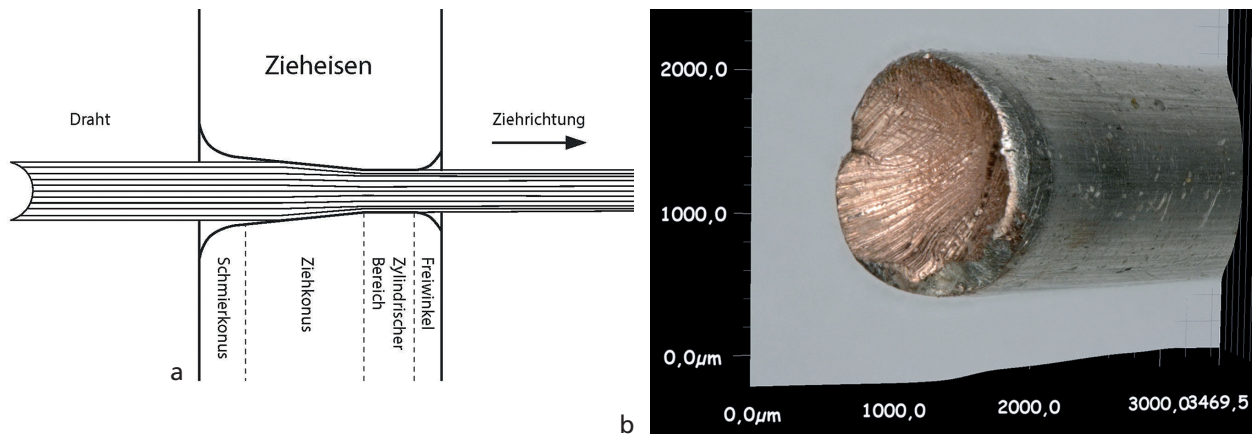
Ausgangspunkt des Beitrags<sup>1</sup> bildet ein Fund aus der in der Ostslowakischen Ebene gelegenen Ortschaft Zemplín (okr. Trebišov; **Abb. 1a**). Im Jahre 1958 wurden auf dem Hügel Szélmalomdomb, gegenüber den Ruinen der Zemplíner Burg, mehrere Hügelgräber freigelegt, die in den Zeitraum zwischen dem 1. Jahrhundert v. Chr. und dem 2. Jahrhundert n. Chr. datieren. Aus Grab 78 im Grabhügel 3 konnte ein Kettenpanzer (**Abb. 1b**) geborgen werden, dessen guter Erhaltungszustand die Anfertigung von Schliffbildern der Kettenpanzerringe ermöglichte. Die Frage nach der Herstellungsmethode des hierbei verwendeten Eisendrahtes wurde in der 1990 publizierten Schliffbildanalyse nicht näher erörtert. Gerade hierzu kann der Fund aus Zemplín jedoch einen wichtigen Beitrag leisten.

### Zur Frage der Drahtherstellung

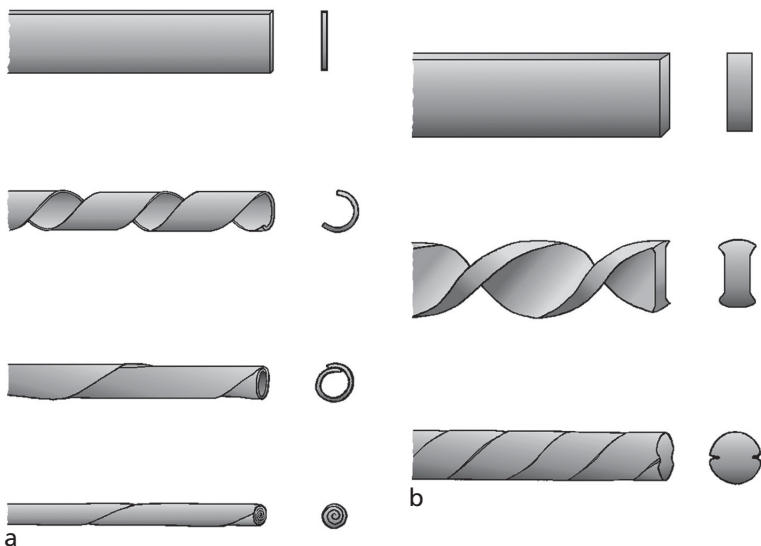
Wie Handwerker in der Antike metallene Drähte fertigten, ist ein von Archäologen sowie Restauratoren vielfach erörtertes Thema<sup>2</sup>. Dabei wird die Frage nach antiken gezogenen Drähten und den dafür benötigten Zieheisen besonders kontrovers diskutiert, da es an Belegen für diese Produktionstechnik mangelte. Nach heutigem Verständnis wird beim Ziehen von Draht mittels eines Zieheisens die Querschnittsfläche des Drahtes verringert, wodurch es zu einer Längung des Drahtes kommt (**Abb. 2a**)<sup>3</sup>. Es findet dabei eine Umformung des Metallgefüges statt, die sich auf mikroskopischer Ebene durch eine deutliche Streckung der Kristallite nachweisen lässt. Beim modernen Zieheisen geschieht dies im Bereich

**Abb. 1** a Karte der heutigen Slowakei mit Markierung der Ortschaft Zemplín (okr. Trebišov), die sich in der Nähe des Dreiländerecks zu Ungarn und der Ukraine befindet. – b Vorder- und Rückseite des Kettenpanzers aus Zemplín. – (Nach Budinský-Krička/Lamiová-Schmiedlová 1990, 283 Abb. 20a).





**Abb. 2** a Schematische Darstellung eines modernen Drahtziehvorgangs mit einem massiven, vorgewalzten Draht. – b gezogener Kupferdraht mit erkennbarer Einsenkung am Drahtende bei 130-facher Vergrößerung. – (Umzeichnung F. Willer nach Brepohl 2000, 181 Abb. 4, 49; Foto F. Willer).



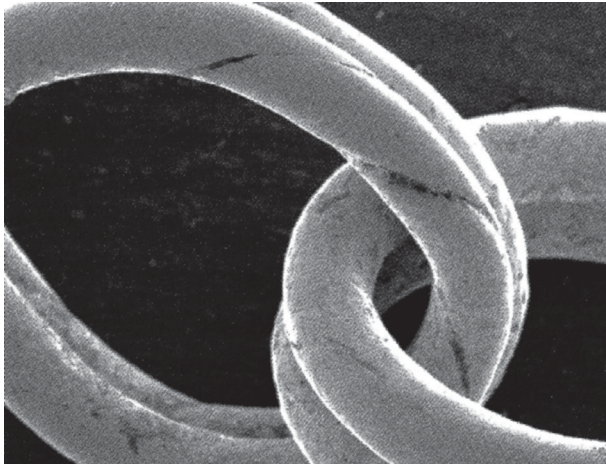
**Abb. 3** Drahtproduktion ohne Zieheisen. a nach Strip-Twist, b nach Block-Twist-Methode. – (Umzeichnung aus Schorer 2009, Abb. 8).

des sogenannten Ziehkonus des Ziehhol. Passiert der Draht beim Ziehvorgang das Ziehhol, wird er auf das definierte Maß des zylindrischen Zieheisenbereiches reduziert. Hierbei werden die äußeren Bereiche des Drahtes durch die Reibung am Ziehkonus zurückgehalten, während das innere Material davon weniger betroffen ist. Dadurch entsteht nach mehrfachem Ziehen eine sichtbare Einsenkung am Drahtende (Abb. 2b).

Obschon im 19. Jahrhundert erste Thesen dahin gehend geäußert wurden, dass die Technik des Drahtziehens bereits während der Bronzezeit bekannt gewesen sein soll<sup>4</sup>, hält sich bis in die heutige Zeit die Meinung, dass gezogene Drähte erst ab dem Frühmittelalter aufkommen<sup>5</sup>. Bis zu dieser Zeit sollen Drähte lediglich durch Hämmern oder durch die Verwendung von Torsionstechniken hergestellt worden sein, die kein Zieheisen voraussetzen (Abb. 3)<sup>6</sup>.

Während bei der vielfach beschriebenen Methode des Block-Twisting ein Vierkantstab oder ein Blech der Länge nach tordiert wird (Abb. 3b), benötigt man für die Methode des Strip-Twisting einen Blechstreifen, der schraubenlinienförmig um einen dünnen Stab zusammengerollt und gedreht wird (Abb. 3a). Charakteristisch für die Methode des Strip- und Block-Twisting ist die auf der Oberfläche helikal verlaufende Naht (Abb. 4). Eine genauere Unterscheidung<sup>7</sup>, welche der beiden Techniken bei der Herstellung zur Anwendung kam, ist nur durch eine Überprüfung des Drahtquerschnitts möglich<sup>8</sup>.

Bereits 1924 stellte die Ägyptologin Caroline Louise Ransom Williams zusammen mit dem Metallhandwerker John Heins die Methode des Strip-Drawing vor, bei der ein Blech zunächst zu einer Röhre geformt und anschließend durch ein Zieheisen gezogen wird (Abb. 5)<sup>9</sup>. Im Gegensatz zum Strip- und

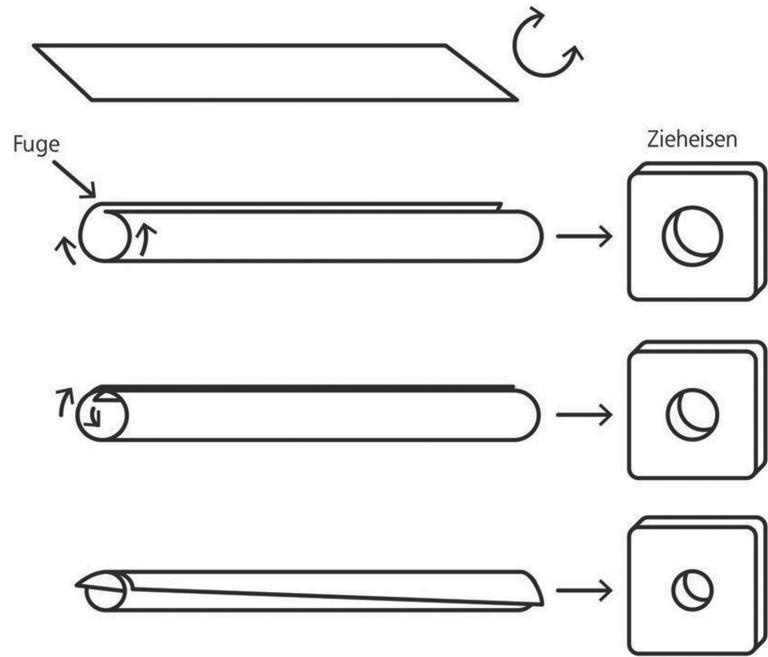


**Abb. 4** Helikal verlaufende Naht auf römischem Golddraht, die bisher als Indiz für die Drahtproduktion ohne Zieheisen gewertet wurde. – (Nach Ogden 2003, Abb. 2).

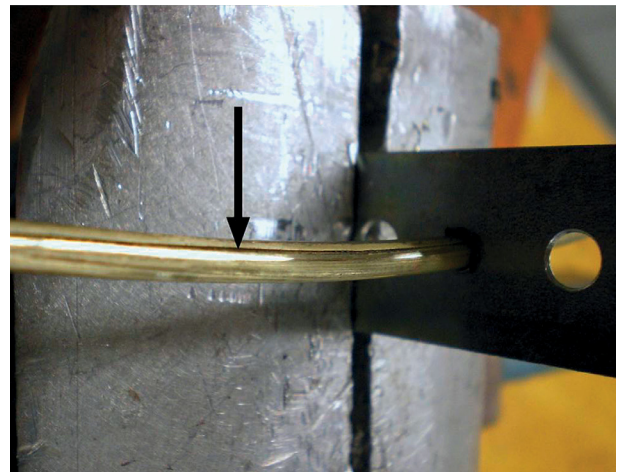
Block-Twisting verläuft die Naht beim Strip-Drawing parallel zur Mittelachse des Drahtes (**Abb. 6**). Diese Methode zum Ziehen von Drähten gilt im Forschungsdiskurs als umstritten<sup>10</sup>, was sich nicht zuletzt auch auf das vermeintliche Fehlen antiker Zieheisen zurückführen lässt. Ferner soll es sich bei der Methode des Strip-Drawing nicht um einen Drahtziehvorgang handeln, da es kein formgebendes Verfahren sei<sup>11</sup>, weshalb auch der Längengewinn des so produzierten Drahtes gering ausfalle<sup>12</sup>.

### Antike Zieheisen

Die für das Ziehen von Drähten notwendigen Zieheisen<sup>13</sup> stellen eine relativ kleine Gruppe antiker Werkzeuge dar<sup>14</sup>. Bisher sind 20 Objekte dokumentiert, die als Zieheisen angesprochen werden können<sup>15</sup>. Bei Zieheisen handelt es sich um metallene Platten, die meist mit mehreren konisch zulaufenden Löchern versehen sind, die man als Ziehhol bezeichnet (**Abb. 7**). Bei einem Zieheisen mit mehreren Ziehholen nimmt der Austritts-Querschnitt der einzelnen Ziehhole sukzessiv ab. Die genaue Abstufung der Querschnittsabnahme ist dabei entscheidend für die Funktionalität des Werkzeuges, da eine zu un-



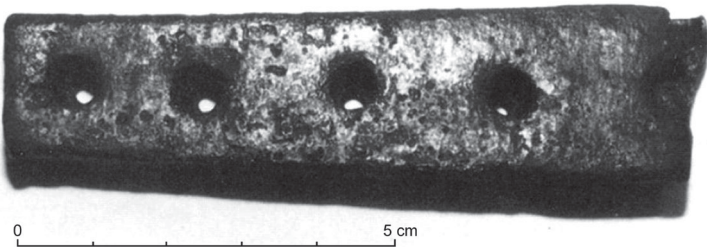
**Abb. 5** Schematische Darstellung der Strip-Drawn-Methode. – (Zeichnung F. Willer / M. Pütz, LVR-LandesMuseum Bonn).



**Abb. 6** Experimentell produzierter Draht aus einem Messingblech nach der Strip-Drawn-Methode während des Ziehvorgangs mit einem provisorisch hergestellten Zieheisen. Auf der Oberfläche ist die linear verlaufende Naht gut erkennbar. – (Foto F. Willer).

ausgewogene Abstufung den Ziehvorgang erschweren oder sogar unmöglich machen kann<sup>16</sup>.

Im Vergleich zu modernen Zieheisen erscheint jedoch die Abstufung der meisten<sup>17</sup> antiken Zieheisen aus heutiger Sicht zu grob<sup>18</sup>, weshalb die Funktionalität dieser Werkzeuge für das Ziehen massiver



**Abb. 7** Fragment eines Zieheisens aus dem Kastell Vindolanda (Northumberland/GB). Der konische Verlauf der Ziehhole ist deutlich erkennbar. – (Nach Sim 1997, Taf. 33B).



**Abb. 8** Anschliffbild zweier Ringglieder aus dem Kettenpanzer von Zemplín. Im Querschnitt ist der spiralförmige Aufbau deutlich erkennbar (s. Detail oben rechts mit Umzeichnung). – (Nach Longauerová/Longauer 1990, Abb. 3, 2).

Drähte angezweifelt wurde<sup>19</sup>. Es wird daher angenommen, dass diese Gruppe von Werkzeugen zum Glätten von tordierten Drähten<sup>20</sup> oder für das Schmieden von Nagelköpfen eingesetzt worden sein soll<sup>21</sup>. Mit der Ablehnung der These, dass es in der Antike Zieheisen gegeben habe, ging auch der Zweifel an antikem gezogenen Draht einher<sup>22</sup>. Dies führte bisweilen dazu, dass sichtbare Ziehriefen auf antiken Werkstücken als Glätt- oder Schleifspuren bezeichnet oder diese sogar als ein Indiz für moderne Fälschungen betrachtet wurden<sup>23</sup>.

Einen wichtigen Hinweis auf die antike Verwendung eines Zieheisens zur Herstellung metallener Drähte gibt der Fund eines Kettenpanzers aus Zemplín in der östlichen Slowakei<sup>24</sup>. Der relativ gute Erhaltungszustand des Eisens ermöglichte eine metallographische Untersuchung<sup>25</sup>, die einen auffälligen inneren Aufbau des hier verwendeten Drahtes belegt (**Abb. 8**). Das Bild zeigt zwei Kettenpanzerglieder, wobei ein Glied längs und das andere eingehängte Glied quer angeschliffen sind. Besonders auffällig ist der spiralförmige Aufbau des quer geschnittenen Rings, dessen Herstellung zunächst nicht näher gedeutet werden konnte (Detail in **Abb. 8**, oben rechts). Das längs aufgeschnittene Kettenpanzerglied hingegen zeigt mehrere konzentrisch angeordnete Schichten, die im unteren Teil der Aufnahme zu zwei Enden zusammenlaufen.

Dieser Aufbau ließ sich aus restauratorischer Sicht nicht durch Korrosion oder anderweitige Beschädigungen erklären. Der Eisendraht muss aus einem dünn ausgeschmiedeten Eisenblech hergestellt worden sein<sup>26</sup>, was wiederum nahelegt, dass der Draht nach der Methode des Strip-Drawing gefertigt worden war. Im Experiment erwies sich diese Methode für die Produktion von Kettenpanzern jedoch als wenig geeignet, da der Längengewinn des Drahtes zu gering erscheint<sup>27</sup>. Das Drahtinnere des Zemplíner Kettenpanzers hingegen erweckt den Eindruck, dass das verwendete Blech bereits zusammengerollt war, bevor es mittels eines Zieheisens zu einem widerstandsfähigen Draht verdichtet und in die Länge gezogen wurde.

Die Fertigung von Drähten aus Blechen stellt eine für die Antike naheliegende und nützliche Methode dar, da die metallischen Eigenschaften des Drahtes durch die Nutzung eines Blechs als Ausgangsmaterial verbessert werden. Hierzu wird aus einem für die Weiterverarbeitung zunächst ungeeigneten Rohling ein »gefügiges« Metall hergestellt. Besonders bei antikem Renneisen, das aufgrund des Verhüttungsprozesses oftmals stark mit nichtmetallischen Einschlüssen (z.B. Schlacken) durchzogen war, oder bei Kupferlegierungen (Gussrohlinge) reichten die metallischen Eigenschaften für eine direkte Weiterverarbeitung häufig nicht aus. Dies geschah erst in

weiteren Arbeitsschritten durch Warmverformung (Glühen und Schmieden) oder Kaltverformung (Schmieden im kalten Zustand mit Phasen des Zwischenglühens), bei denen das Metallgefüge umgeformt, homogenisiert und für die Weiterverarbeitung verwendbar gemacht wurde<sup>28</sup>.

### Experimentelle Herstellung von Draht

Die Beobachtung, dass der Draht möglicherweise aus einem gerollten und gezogenen Blech gefertigt ist, führte zu der Idee, eine solche bisher nicht beschriebene Herstellungsmethode im Rahmen von dokumentierten Experimenten auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Der Herstellungsprozess sollte entsprechend antiken Möglichkeiten von Hand durchführbar sein<sup>29</sup>. Da Renneisen für die Versuche nicht zur Verfügung stand, musste als Ausgangsmaterial ein modernes Blech aus kohlenstoffarmem Eisen (0,02 % C, Härte ca. 105HV) verwendet werden, das den Materialeigenschaften eines ausgeschmiedeten und homogenisierten Eisens römischer Handwerker weitgehend entsprochen haben dürfte<sup>30</sup>. Für die ersten Vorversuche wurde aber zunächst mit einem 0,2 mm starken versilberten Kupferblech gearbeitet<sup>31</sup>, da sich dieses weiche Material gegenüber Eisen leichter verformen lässt (Abb. 9).

Das Blech musste an einer Langseite zunächst mit einer Flachzange so eng wie möglich eingeschlagen

werden. Nach dieser ersten Bördelung wurde der Rest des Blechstreifens, gemäß dem Vorbild aus Zemplin, viermal zusammengerollt (Abb. 10). Um den Rohling besser in das 3 mm breite Ziehhol eines



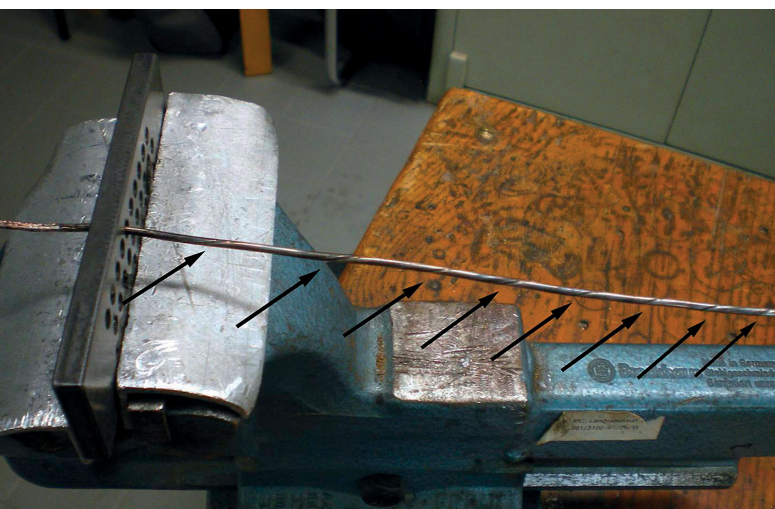
**Abb. 9** a Einrollen eines 0,2 mm starken versilberten Kupferblechs mit einer Flachzange. – b Zieheisen und Ziehzange. – (Foto F. Willer).



**Abb. 10** Einrollen des versilberten Kupferblechs. – (Foto F. Willer).



**Abb. 11** Eingerollter Kupferblech-Draht mit verjüngter Drahtspitze vor dem ersten Ziehen durch das 3 mm breite Ziehhol des eingespannten Ziehheisens. – (Foto F. Willer).



**Abb. 12** Nach sechsmaligem Ziehen des Drahtes hat sich deutlich eine helikale Verdrehung der Blechnaht herausgebildet, wie sie auch an tordierten antiken Drähten zu beobachten ist. – (Foto F. Willer).

modernen Ziehheisens einfädeln zu können, wurde er an einem Ende durch Hämmern und Feilen verjüngt (Abb. 11).

Um die zu erwartende Reibung zu minimieren und so das Ziehen des Drahtes durch das Ziehheisen zu erleichtern, wurde vor dem ersten Ziehvorgang der Draht gewachst. Schon bei den ersten Ziehversuchen war zu beobachten, dass sich die anfangs linear ver-

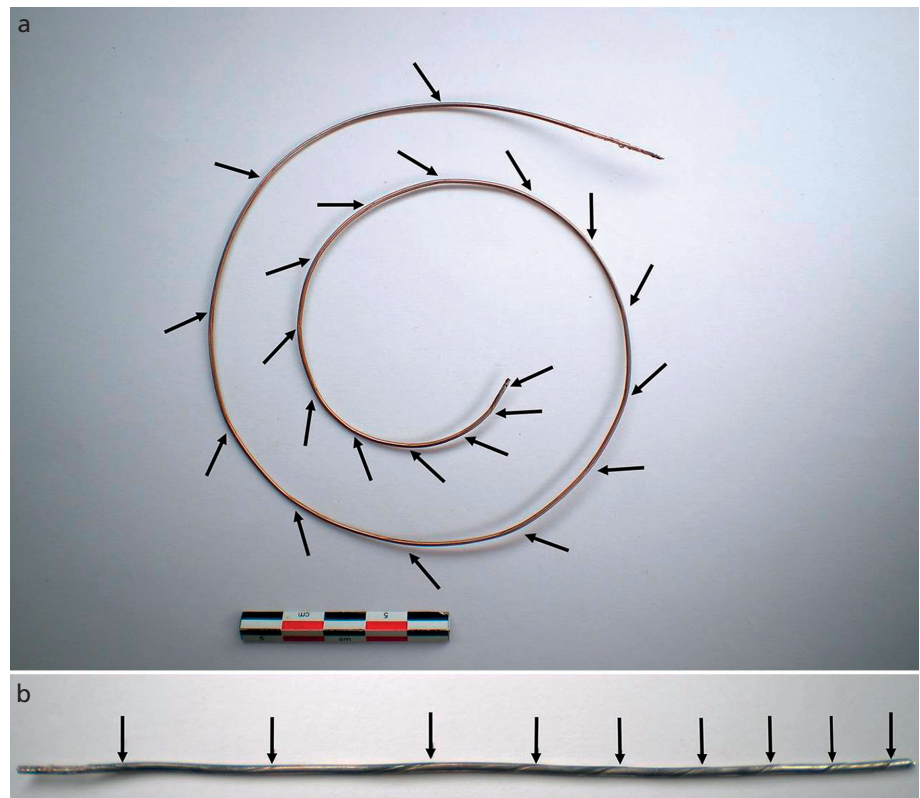
laufende oberflächliche Naht beim Durchziehen helikal verdrehte (Abb. 12-14). Besonders für die Differenzierung von der Strip-Drawn-Methode, bei der die Naht stets linear zur Drahtlänge verläuft<sup>32</sup>, stellt der Nahtverlauf ein wichtiges Kriterium dar.

Im Gegensatz zum konventionellen Drahtziehen, bei dem ein massiver Metalldraht durch ein Ziehheisen gezogen wird, zeigte sich, dass für das Ziehen eines gerollten Blechs bei gleicher Reduktion des Durchmessers deutlich weniger Kraft aufgewendet werden musste. Bei den ersten Ziehvorgängen wird das Metallgefüge zunächst nur geringfügig verfestigt, da in erster Linie eine weitere Einrollung der inneren Blechlagen stattfindet. Erst wenn alle Hohlräume zwischen den einzelnen Blechlagen geschlossen sind und diese sich gegenseitig berühren, beginnt eine spürbare Verfestigung und Verformung des Metallgefüges. Daher ist ein Entspannen des Gefüges durch ein mehrmaliges Zwischenglühen, wie es bei Drähten aus massivem Metall erforderlich ist, hier zunächst nicht notwendig.

Im ersten Versuch, bei dem ein relativ dünnes und weiches Blech verwendet wurde, ließ sich der Drahtdurchmesser nach mehreren Drahtziehvorgängen ohne großen Kraftaufwand und einmaligem Zwischenglühen von 3 mm auf eine Stärke von 1 mm reduzieren (Abb. 13). Eine spürbare Härtung des Drahtes war hierbei nicht festzustellen.

Mit der HDR-Funktion (High Dynamic Range) des im LVR-LandesMuseum Bonn verwendeten Digitalmikroskops ließen sich an dem experimentell rekonstruierten Draht Detailbeobachtungen zur Drahtherstellung dokumentieren. Neben den Ziehriefen war besonders die helikal verlaufende Naht des Drahtes auffällig, die bislang als typisches Merkmal von nicht gezogenen Drähten interpretiert wurde (vgl. Abb. 14b mit Abb. 4)<sup>33</sup>. Der Grund hierfür liegt darin, dass die oberen Blechlagen durch die Reibung, die beim Ziehvorgang am Ziehheisen entsteht, entgegen der Ziehrichtung stärker verschoben werden als die inneren Blechlagen (Abb. 14a). Im Querschnitt einer der Proben ist zu erkennen, dass sich das Material nach mehrfachem Ziehen so weit im Drahtinneren verdichtet hat, dass sämtliche Zwischenräume geschlossen sind (Abb. 14d).

**Abb. 13** **a** Auf 1 mm ausgezogener, aus Blech gerollter Kupferblech-Draht. Gut erkennbar ist die mit Pfeilen kenntlich gemachte spiralförmige Verdrehung der Naht, die sich zum Drahtende hin verstärkt. – **b** derselbe Draht nach den ersten beiden Ziehvorgängen mit beginnender Verdrehung der Naht. – (Foto F. Willer).



**Abb. 14** **a** Detail des Kupferblech-Drahtendes nach dem ersten Ziehen. – **b** Detail der sich verdrehenden Naht in der Mitte des Drahtes. – **c** Naht bei 200-facher Vergrößerung. – **d** Querschnitt des Drahtes bei 20-facher Vergrößerung. – (Aufnahmen F. Willer).

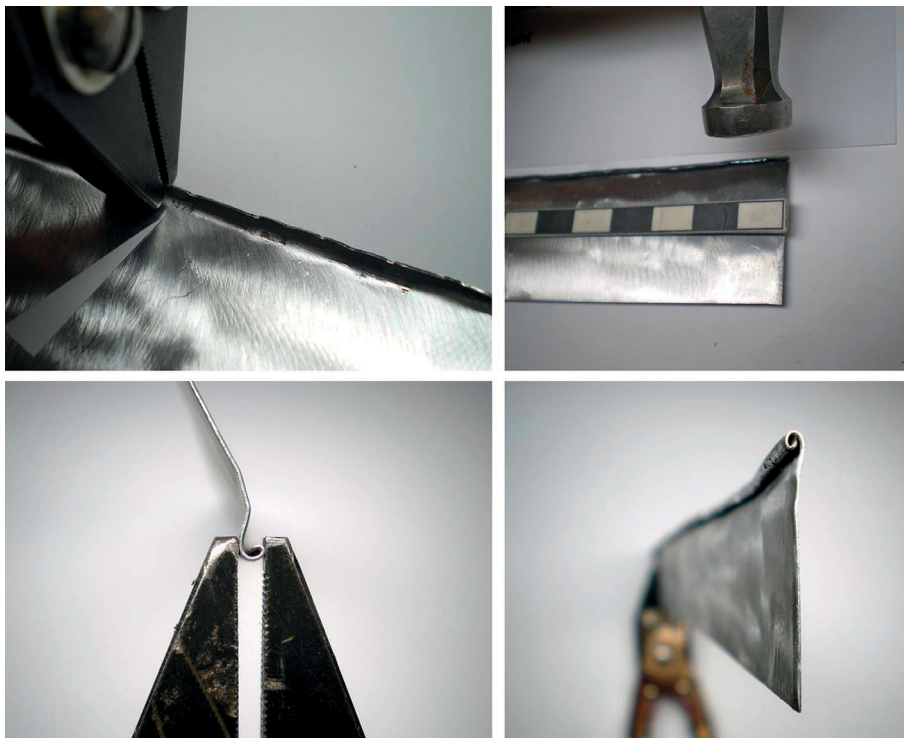


Nach dem gelungenen Versuch mit einem relativ weichen Kupferblech stellte sich die Frage, ob diese Methode des Drahtziehens auch mit einem Eisenblech durchführbar ist. Gerade bei der Umformung von einem Blech zu einem Draht kann die höhere

Härte des hier verwendeten Blechs aus kohlenstoffarmem Eisen (0,02 % C, Härte ca. 105 HV) gegenüber dem weicheren Kupfer die Arbeitsschritte wesentlich erschweren. Zudem wurde bei den folgenden Versuchen die Materialdicke des Blechs auf



**Abb. 15** Versuch mit einem 0,4mm starken und 230mm langen Eisenblech. Bördeln der Blechkante mit einer Flachzange. – (Foto F. Willer).



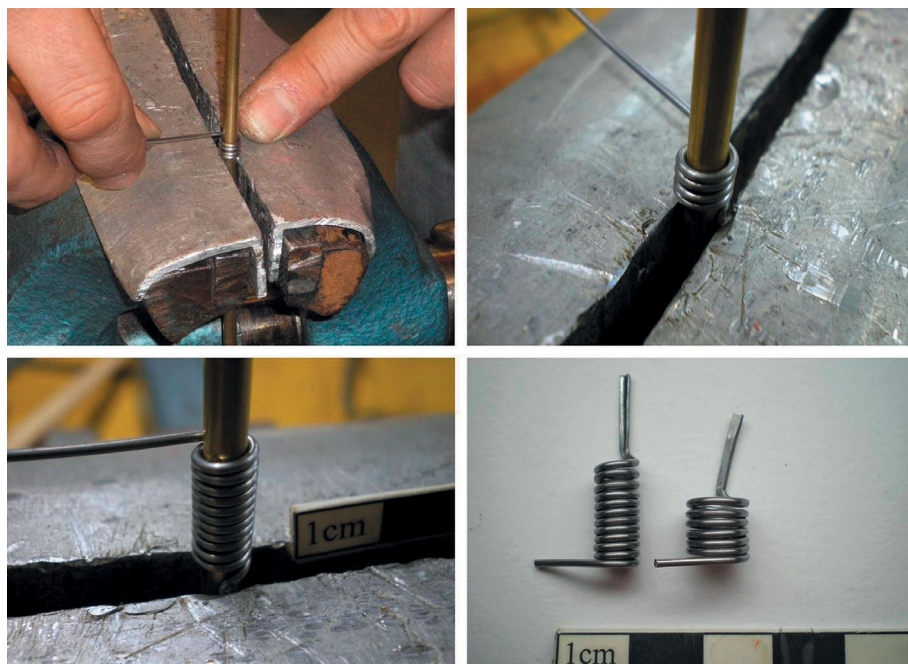
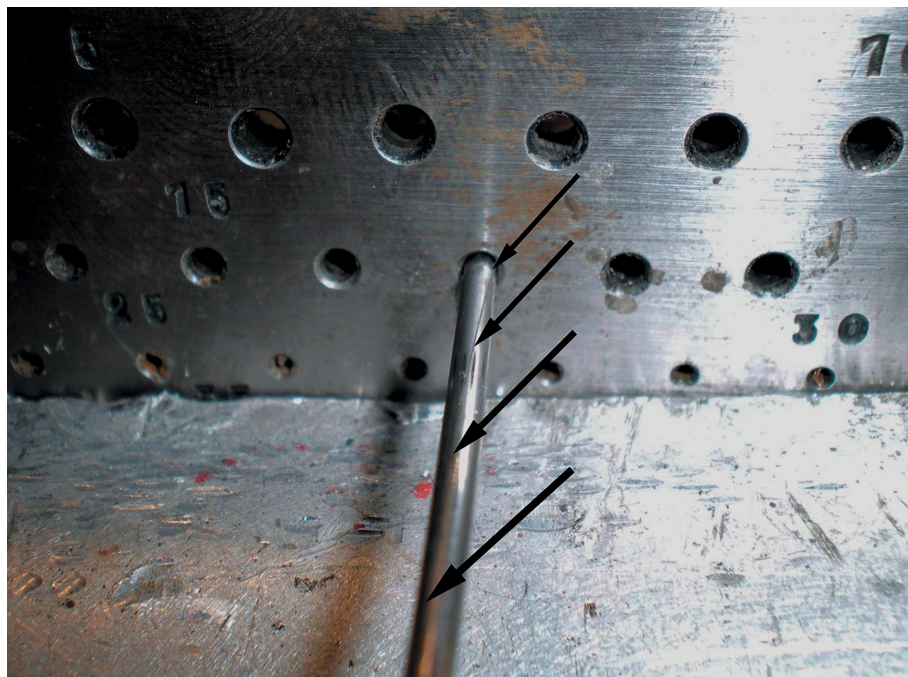
**Abb. 16** Arbeitsschritte zur Einrollung des Blechs. – (Fotos F. Willer).

0,4mm erhöht, um zu überprüfen, ob sich ein Eisenblech mit dieser Materialstärke noch mit einfachen Werkzeugen von Hand bearbeiten lässt. Erwartungsgemäß erforderten die Arbeiten wesentlich mehr handwerkliches Geschick und Kraft (**Abb. 15**). Wie bei den vorangegangenen Arbeitsproben erfolgte das Rollen des Blechs in mehreren Arbeits-

schritten. Nach der ersten Bördelung der Blechkante war für das weitere Einrollen des Eisenblechs die Verwendung eines kleinen Hammers und einer Zange erforderlich. Auf ein Glühen wurde zunächst bewusst verzichtet, da sich das Material gut verformen ließ. Sukzessiv konnte so in etwa 20-minütiger Arbeit die erste Einrollung erfolgen (**Abb. 16**). Nach



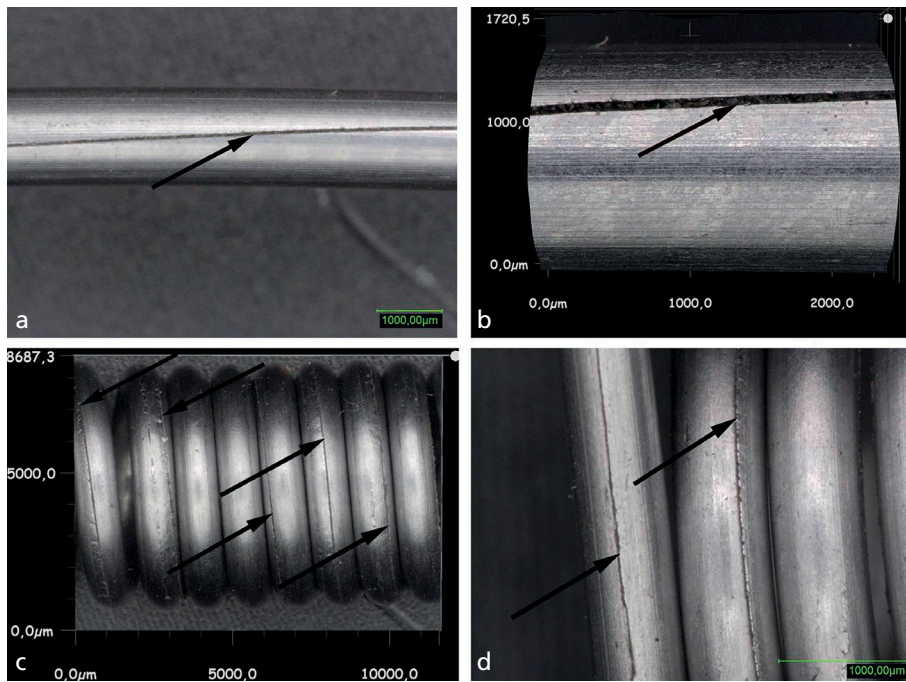
**Abb. 17** Detail des Drahtziehvorgangs: Im Vergleich zum Ziehen des Kupferdrahtes verdreht sich die Naht beim Eisen deutlich weniger. – (Foto F. Willer).



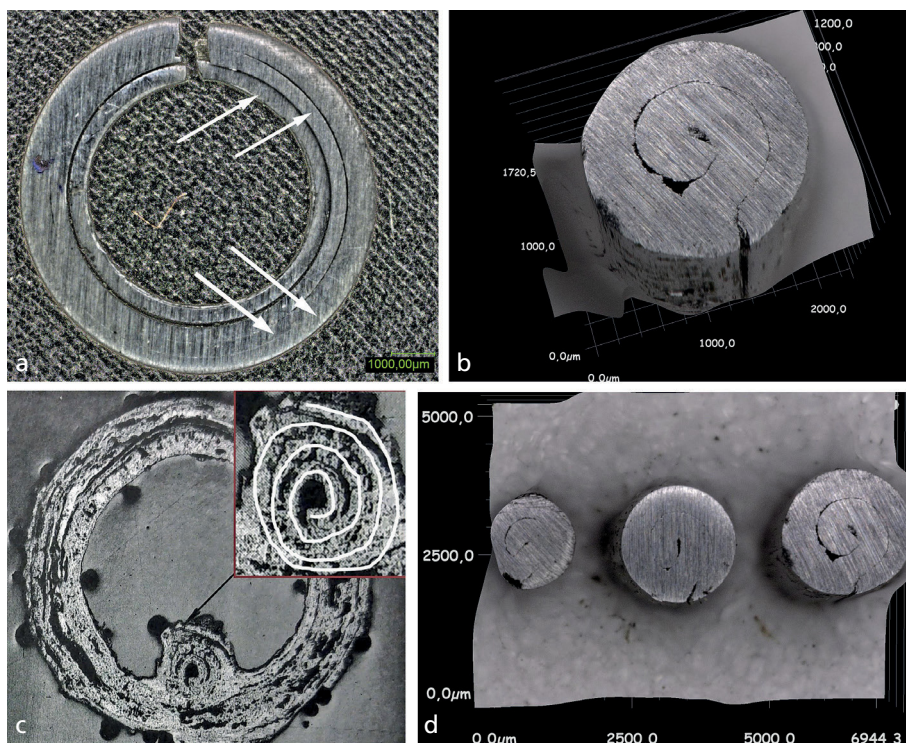
**Abb. 18** Problemloses Aufwickeln des gezogenen Eisendrahtes zu einer Spirale. Nach dem Wickeln wird diese durchtrennt, um einzelne Ringglieder zu erhalten. – (Fotos F. Willer).

der zweiten Rollung musste das Blech einmal leicht gegläht werden, um die durch die Hammerschläge verursachte Spannung des Metallgefüges zu reduzieren. Zuletzt folgte die dritte Einrollung<sup>34</sup>. Vor dem ersten Ziehvorgang wurde das Metall eingewachst. Im Vergleich zum wesentlich weichen und dünneren Kupferdraht musste für den ers-

ten Ziehvorgang bei vergleichbarer Reduktion eine wesentlich höhere Kraft aufgewendet werden. Auch die Verwindung der helikal verlaufenden äußeren Naht des Eisendrahtes fiel deutlich geringer aus. Es ist zu vermuten, dass dies mit der größeren Härte und Materialstärke des Eisenblechs zusammenhängt (Abb. 17). Ein Zwischenglühen des



**Abb. 19** a-b Gezogener Draht mit gekennzeichnete Naht (Pfeile) und sichtbaren Ziehriefen. – c-d gewickelter Draht, ebenfalls mit sichtbarer Naht und Ziehriefen. – (Aufnahmen F. Willer).

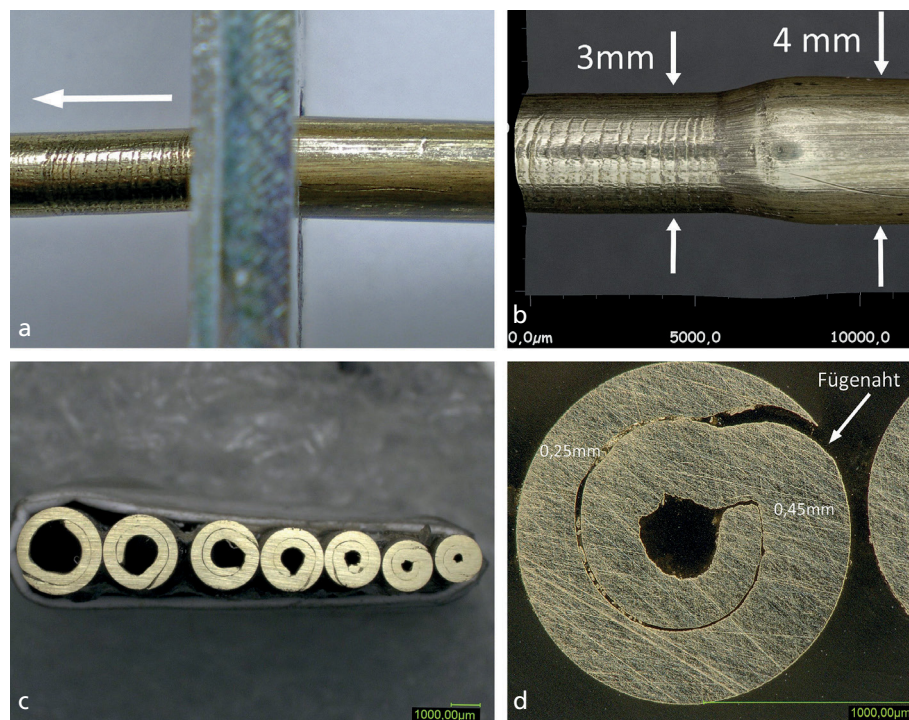


**Abb. 20** a Längsschliff des experimentell erzeugten Eisendrahtes mit Markierung der konzentrisch geordneten einzelnen Blechlagen. – b, d Arbeitsproben der in Bonn zur weiteren Analyse vorbereiteten Querschliffe mit deutlich sichtbarem spiralförmigen Aufbau. – c Längs- und Querschliff des Originalbefunds aus Zemplin mit eingezeichneter Spirale im Querschliff und sichtbaren konzentrisch angeordneten Blechlagen im Längsschliff. – (a-b, d Aufnahmen F. Willer; c nach Longauerová/Longauer 1990, Abb. 3, 2).

Eisendrahtes war während der gesamten Ziehvorgänge nicht erforderlich. Nach mehreren Drahtziehvorgängen reduzierte sich der Drahtdurchmesser von 3 mm auf 1 mm<sup>35</sup>. Der gezogene Draht konnte anschließend zu Ringgliedern weiterver-

arbeitet werden, indem er um einen zylindrischen Stab (Seele) gewickelt wurde. Durch die leichte Federwirkung des Drahtes ließ sich dieser nach dem Aufwickeln mühelos vom Stab lösen (Abb. 18).

**Abb. 21** Versuche zur Herstellung eines gezogenen Drahtes aus einem 0,2 mm starken eingewickelten Messingblechstreifen. – **a** Aufsicht während des Ziehvorgangs. – **b** maximal mögliche Reduzierung des Drahtdurchmessers bei einem Ziehvorgang um 1 mm. – **c** Querschliffbild gezogener Arbeitsproben. – **d** Detailansicht einer Arbeitsprobe. Deutlich erkennbar ist hier die kontinuierliche Materialverdickung (Materialumformung) auf 0,45 mm, die zur Naht hin zunimmt. – (Fotos F. Willer).



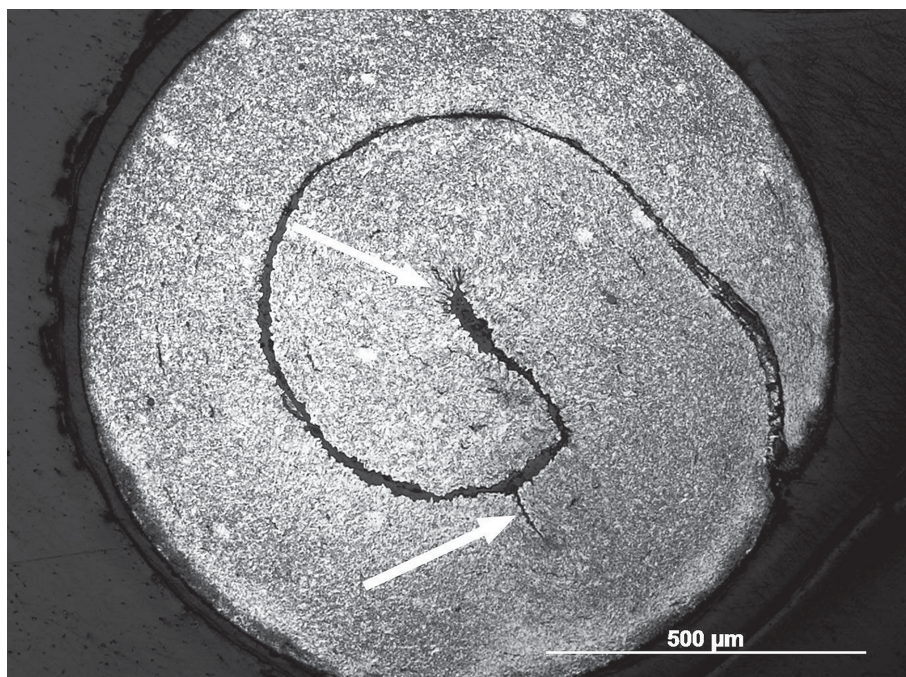
Aus einem 0,4 mm starken und 23 cm langen Blech konnte ein 120 cm langer Draht mit einer Stärke von 1 mm gezogen werden, was einer annähernden Verfünffachung der Länge des Ausgangsmaterials entspricht (**Abb. 19**). Zur weiteren Untersuchung der inneren Struktur wurden Probestücke verschiedener Drahtstärken (1,3 mm, 1,2 mm und 1 mm) entnommen (**Abb. 20d**).

Auf den Querschnittsbildern, die mithilfe eines Polierschmirgels (Körnung/1000) erzeugt wurden, wird deutlich, dass die Zwischenräume der Blechwicklung durch das Ziehen fast vollständig geschlossen sind. Der am Originalbefund von Zemplin beobachtete spiralförmige Aufbau ist auch hier erkennbar. Aufgrund der im Vergleich zum Original höheren Blechstärke (ca. 0,2 mm zu 0,4 mm) ließen sich bei unseren Versuchen jedoch weniger Lagen rollen (vgl. **Abb. 20b** mit **Abb. 20c**). Auch im Längsschliff sind die am Originalbefund konzentrisch angeordneten Trennlinien zu beobachten, die durch die einzelnen Übergänge der Blechlagen hervorgerufen werden (vgl. **Abb. 20a** mit **Abb. 20c**).

Die hier vorgestellte Methode zur Drahtherstellung mittels eines zusammengerollten und gezogenen Metallblechs soll in Analogie zu den bisher in der Literatur benannten Produktionsmethoden für Drähte (Strip-Drawn, Block-Twist, Strip-Twist und Folding) als »Roll-Drawn« bezeichnet werden. Aus handwerklicher und materialtechnischer Sicht bietet diese Methode die Möglichkeit, ohne den Einsatz von Walzen sehr gleichmäßig geformte und vor allem recht widerstandsfähige Drähte bzw. Ringe in großer Stückzahl zu fertigen, wie man sie für antike Kettenpanzer benötigte. Die aus diesem Draht hergestellten Ringe weisen keinerlei Anzeichen von Bruchneigung oder ähnlicher Defekte auf.

### Anforderungen an das Zieheisen bei der Verwendung eines Metallblechs

Bei modernen Zieheisen, die u. a. zur Herstellung von massiven Silber- oder Golddrahtlegierungen eingesetzt werden, verjüngen sich die Durchmesser der



**Abb. 22** Gesamtansicht/Querschliff des gerollten und gezogenen Drahtes bei 100-facher Vergrößerung zeigt Ansätze feiner Spannungsrisse bedingt durch Stauchung in Bereichen starker Umformung (geätzt mit alkoholischer Salpetersäure). – (Aufnahme R. Schwab, CEZ-Archäometrie gGmbH Mannheim).

Ziehhole, wie sie beispielsweise für Drähte ab 3 mm Stärke verwendet werden, jeweils um nur 0,1 mm. Durch die Verwendung von Blechen für die Produktion von metallenen Drähten war jedoch eine so feine Abstufung der Ziehhole nicht erforderlich. So konnte ein Messingblech-Draht (Blechst. 0,2 mm) bei einem Drahtziehvorgang von einem Durchmesser von 4 mm direkt auf 3 mm reduziert werden, was einer Reduktion des Durchmessers um 25 % bzw. der Querschnittsfläche um 43,75 % entspricht (**Abb. 21a-b**). Im Gegensatz zu massiven Drähten findet hierbei zunächst nur eine geringfügige Umformung des Gefüges statt, da sich das Blech lediglich nach innen einrollt. Dennoch zeigte sich, dass das Blech kurz vor der ersten Einrollung an der Fügenaht sich gestaucht hat, wodurch eine Materialumformung feststellbar ist (**Abb. 21d**).

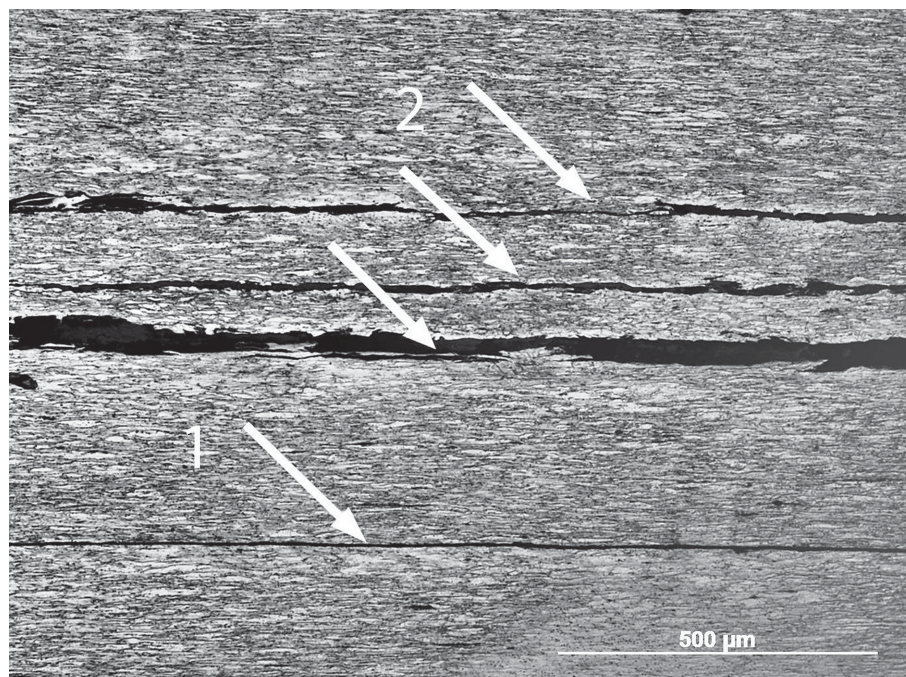
Wie weitere Versuche ergaben, beginnt eine dem modernen massiven Draht vergleichbare Umformung erst dann, wenn sich die Blechlagen im Inneren so weit eingerollt haben, dass alle Hohlräume geschlossen sind. Daher ist im Vergleich zu massiv gezogenen Drähten ein mehrfaches Zwischenglühen nicht zwingend erforderlich. Wie die vorgestellten Versuche zeigten, können zur Herstellung

von gezogenen Drähten aus gerollten Blechstreifen durchaus Ziehheisen mit weniger feinen Abstufungen der Ziehholdurchmesser verwendet werden.

### Archäometrische Untersuchung der Proben

Die Arbeitsproben der gezogenen Eisendrähte wurden zur weiteren Untersuchung dem Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie in Mannheim übergeben<sup>36</sup> (**Abb. 22-23**). Die geätzten Gefüge der Drahtproben weisen eine ausgeprägte Umformtextur auf, sodass sich die Korngrenzen vor allem in den Längsschliffen (**Abb. 23**) nur sehr unscharf entwickelt haben und daher nicht mehr voneinander abgegrenzt werden können. Neben der für gezo-gene Drähte typischen Streckung der Kristallite und Ziehtextur weisen die Proben einige feine Spannungsrisse auf, die durch die hohe mechanische Beanspruchung des Gefüges beim Ziehvorgang entstanden sind. Das kohlenstoffarme Eisen (0,02 % C) mit einer Härte von ca. 105 HV, das für die Versuchs-

**Abb. 23** Mikroskopaufnahme/ Längsschliff des gerollten und gezogenen Drahtes bei 100-facher Vergrößerung. Pfeil (1): Fuge zweier aufeinanderliegender Blechlagen; Pfeile (2): Brüche in Längsrichtung durch die starke Beanspruchung beim Umformen (geätzt mit alkoholischer Salpetersäure). – (Aufnahme R. Schwab, CEZ-Archäometrie gGmbH Mannheim).



reihe gewählt wurde, hatte nach der Umformung eine mittlere Härte von  $230\text{HV}1 \pm 10$ . Somit fällt die Härte des experimentell hergestellten Drahtes nach der Roll-Drawn-Methode ähnlich der von Drähten antiker Kettenpanzer mit einer Härte von ca.  $190\text{HV}$  aus<sup>37</sup>.

## Ergebnis

Die Anschliffbilder der Kettenpanzerringe aus Zemplín weisen im Querschnitt einen spiralförmigen inneren Aufbau des Drahtes auf, der die Vermutung nahelegt, dass hier eine bisher nicht beschriebene Drahtherstellungsmethode zur Anwendung kam. Durch die hier vorgestellten Versuchsreihen ist es gelungen, die Verfahrensweise für die Produktionsmethode zu rekonstruieren und zu verdeutlichen, dass Drähte aus Blechen mittels eines Zieheisens herstellbar sind. Wesentlich ist dabei die Erkenntnis, dass dies auch mit einem eingerollten und gezogenen Blechstreifen realisiert werden kann und der so produzierte Draht eine helikale Naht aufweist, die bislang als Indiz für nicht gezogenen Draht gewertet wurde.

Die in der Literatur präferierten Methoden des Strip- oder Block-Twisting können für die antiken Kettenpanzerglieder aus Zemplín durch die Anschliffbilder nicht bestätigt werden (vgl. **Abb. 3** mit **Abb. 20**). Vielmehr kommen die bereits bekannten Methoden des Strip-Drawing oder die hier neu vorgestellte Methode des Roll-Drawing, bei der das Blech vor dem Ziehen bereits eingerollt wird, für die Fertigung in Betracht<sup>38</sup>. Die Versuche weisen darauf hin, dass sich die Roll-Drawn-Methode insbesondere für die Produktion großer Mengen von Drähten, wie sie beispielsweise für die Herstellung von Kettenpanzern erforderlich waren, besonders eignet<sup>39</sup>. Dies zeigt der erhebliche Zugewinn, bei dem die Länge des Ausgangsblechs in etwa verfünffacht werden kann. Durch das Ziehen von gerollten Metallblechen lassen sich somit gleichmäßig geformte Drähte effizient produzieren. Aufgrund dieser Beobachtungen und Erkenntnisse ist zu vermuten, dass der Draht für den Kettenpanzer aus Zemplín mit hoher Wahrscheinlichkeit nach dieser Methode gefertigt wurde. Die Materialeigenschaften des rekonstruierten Drahtes sind für die Weiterverarbeitung zu Kettenpanzergliedern geeignet und die festgestellte Härte von  $230\text{HV} \pm 10$  ist mit der antiker Kettenpanzerringe vergleichbar<sup>40</sup>. Inwiefern es sich

bei der Roll-Drawn-Methode um ein lokales Phänomen oder eine weitverbreitete Produktionstechnik handelt, lässt sich nur durch weitere Untersuchungen an antiken Drähten klären<sup>41</sup>.

Die oben dargelegten Beobachtungen an den Ringgliedern des Kettenpanzers aus Zemplín legen nahe, dass schon ab dem ausgehenden 1. Jahrhundert n. Chr. die Produktion eines Drahtes mithilfe von Zieheisen erfolgte<sup>42</sup>. Obwohl der hierbei verwendete Draht nicht aus einem massiven Rohling gezogen wurde, erfüllte der aus einem eingerollten und gezogenen Blech bestehende Draht die hohen Materialanforderungen, wie sie für Drähte eines Kettenpanzers erforderlich waren. Der Fund aus Zemplín würde damit die Annahme widerlegen, dass die Produktionstechnik des Drahtziehens erst ab dem Frühmittelalter aufkam.

Im Vergleich zum Ziehen massiver Drähte stellt die Strip- oder Roll-Drawn-Methode geringere Anforderungen an das Zieheisen. Für das Ziehen massiver Drähte sind hochentwickelte Zieheisen mit einer sehr feinen Abstufung der Ziehhole notwendig, die bislang an nur wenigen antiken Zieheisen nachweisbar ist<sup>43</sup>. Für das Ziehen eines aus einem gerollten Blech hergestellten Drahtes kann die Abstufung der Ziehhole daher deutlich gröber sein, da beim Ziehvorgang zunächst nur die Hohlräume im Inneren des Blechdrahtes geschlossen und das Metallgefüge anfangs noch nicht verformt wird. Diese geringere Anforderung an die Ziehhole relativiert die bislang geäußerte Kritik, dass bekannte antike Zieheisen für die Drahtproduktion ungeeignet gewesen seien<sup>44</sup>. Die hier vorgestellten Versuche zur Drahtherstellung aus gerollten und gezogenen Blechen belegen eine Umformung des Metallgefüges, weshalb dieses Verfahren, ebenso wie das Ziehen von massiven Drähten, als formgebende Verfahren zu werten sind.

derungen an das Zieheisen. Für das Ziehen massiver Drähte sind hochentwickelte Zieheisen mit einer sehr feinen Abstufung der Ziehhole notwendig, die bislang an nur wenigen antiken Zieheisen nachweisbar ist<sup>43</sup>. Für das Ziehen eines aus einem gerollten Blech hergestellten Drahtes kann die Abstufung der Ziehhole daher deutlich gröber sein, da beim Ziehvorgang zunächst nur die Hohlräume im Inneren des Blechdrahtes geschlossen und das Metallgefüge anfangs noch nicht verformt wird. Diese geringere Anforderung an die Ziehhole relativiert die bislang geäußerte Kritik, dass bekannte antike Zieheisen für die Drahtproduktion ungeeignet gewesen seien<sup>44</sup>. Die hier vorgestellten Versuche zur Drahtherstellung aus gerollten und gezogenen Blechen belegen eine Umformung des Metallgefüges, weshalb dieses Verfahren, ebenso wie das Ziehen von massiven Drähten, als formgebende Verfahren zu werten sind.

## Anmerkungen

- 1) Die Versuchsreihe zur Herstellung von gezogenen Drähten aus gerollten Metallblechen wurde im Rahmen des Forschungsprojektes »Between knowledge and innovation: The unequal armed balance« des Exzellenzclusters Topoi (Topoi Junior Research Group D-5-5) der Humboldt-Universität zu Berlin in Kooperation mit dem LVR-LandesMuseum Bonn durchgeführt. Unterstützt wurden diese Arbeiten durch das Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH in Mannheim, namentlich Roland Schwab, dem wir an dieser Stelle herzlich danken. Für weitere Anregungen und Diskussionen danken wir Hermann Born, Michael Schmauder, Norbert Franken, Stephan G. Schmid, Jochen Büttner, Susanne Willer, Holger Becker und Richard Petrovsky. Die Zeichnungen fertigten dankenswerterweise Christoph Dunzke und Martin Pütz (LVR-LandesMuseum Bonn) an.
- 2) Eine ausführliche Zusammenfassung zur Forschungsgeschichte des Drahtziehens findet sich bei Eilbracht 1999, 25-30.
- 3) Brepohl 2000, 181-183.
- 4) Allen voran sind hier Heinrich Schliemann und der Goldschmied Carlo Giuliano zu nennen, die den Draht des großen Pendilien-Diadems aus Troja als gezogen beschrieben, s. Schliemann/Virchow/Ascherson 1881, 509. Ferner wird das Vorhandensein von Ziehriefen als Indikator für einen Ziehvorgang gewertet (u. a. bei Furger-Gunti 1978; Hartmann 1975, 301-302), wobei solche Riefen auch durch eine nachträgliche Bearbeitung des Werkstücks entstanden sein und somit nicht als belastbares Indiz herangezogen werden können, s. Foltz 1979, 216.
- 5) Hoffmann 1969, 449; Kratz 1972, 162; Ogden 1991, 99; Wolters 1997, 207-208; Ogden 2003, 3; Schorer 2009, 41. Die bisher ungelöste Frage, ab wann gezogener Draht aufkommt, bezieht sich in den meisten Fällen auf das Ziehen massiver Drähte, ohne dies ausdrücklich zu benennen, s. Eilbracht 1999, 29.
- 6) Zu den verschiedenen antiken Techniken der Drahtherstellung: Williams 1924, 39-44; Carroll 1970; Thouvenin 1971; Carroll 1972; Oddy 1977; 1991, 95-105; Formigli 1993; Nicolini 1993; 1995; Eilbracht 1999, 25-30; Oddy 2004; Schorer 2009, 41. 246-247.
- 7) Ogden 1991, 99 ordnet sämtliche Drähte, die eine helikal verlaufende Naht aufweisen, der Strip-Twist-Methode zu, da er den Unterschied zwischen Strip- und Block-Twisting als zu gering erachtet.
- 8) Durch eine Röntgen-Mikro-Computertomografie ( $\mu$ Ct) wäre eine zerstörungsfreie Aufnahme des Querschnitts möglich, s. Meinel/Willer 2016, 95-97.
- 9) Williams 1924, 39-44; Diane Lee Carroll hat die Strip-Drawn-Methode näher ausgeführt, s. Carroll 1972.
- 10) Oddy 1986-1987.
- 11) Durch Versuche konnte diese Annahme nicht bestätigt werden, s. S. 95-96.
- 12) Oddy 1977, 84.
- 13) Die Ziehvorrichtung muss nicht zwingend ein Zieheisen gewesen sein, auch gebohrte und polierte Steine wären hier denkbar, s. Williams 1924, 41; Thomsen/Thomsen 1976.

- 14) Bemerkenswert ist die Tatsache, dass aus den bekannten Drahtproduktionsstätten des 17.-19. Jhs. in Europa (Altena, Augsburg, Nürnberg, Frankfurt, Lyon) kein Zieheisen erhalten geblieben ist. Paul Rump sieht hierin die besondere Bedeutung der Zieheisen, die vermutlich als privater Besitz des Drahtziehers gehütet und geheim gehalten wurden, s. Rump 1968, 53.
- 15) Eine genaue Auflistung aller Zieheisen wird Teil der kommenden Dissertationsarbeit von Ilyas Özşen sein. Der Anhänger Nr. 5 der Goldkette aus dem ersten Schatzfund von Szilágyosomlyó (jud. Sălaj/RO; 1. Hälfte 5. Jh.) stellt vermutlich die einzige künstlerische Wiedergabe eines Zieheisens dar, s. Gschwantler 1999, 75-76 Abb. 29. Wenn es sich bei dem Anhänger tatsächlich um ein Zieheisen handelt, wirft die Fertigung der Kette die Frage auf, warum der Draht der Kette gehämmert ist (s. Freiburger/Gschwantler 1999, 97), wenn dem ausführenden Goldschmied das Zieheisen bekannt war.
- 16) Technische Analyse des Drahtziehprozesses und zu der erwünschten Beschaffenheit des Zieheisens, s. Kalpakjian/Schmid 2014, 377-383. Zur Relation von Querschnittsabnahme und Winkel des Ziehholts, s. Gewecke 1910, 195; Thomsen/Thomsen 1974, 1220-1221 Abb. 14.
- 17) Zwei mögliche Ausnahmen stellen die Zieheisen aus dem Kohortenkastell Vindolanda am Hadrianswall (Bardon Mill, Northumberland/GB) und dem Legionärskastell Vindonissa (Brugg, Kt. Aargau/CH) dar, die für das Ziehen massiver Drähte geeignet gewesen sein könnten, s. zu Vindolanda: Sim/Kaminski 2012, 118-121; Sim 1997, 368-370 und zu Vindonissa: Hintermann 2012, 78 Abb. 3. Es dürfte kein Zufall sein, dass beide Zieheisen im Kontext eines Militärkomplexes gefunden wurden.
- 18) Foltz 1979, 217-218; Fischer 1995, 10. 13 Anm. 26; Wolters 1997, 207-208; Eilbracht 1999, 30-33; Armbruster/Aniol/Pernicka 2002, 168-169. Zu der Eignung antiker Zieheisen für die Produktion metallener Drähte, s. S. 95-96.
- 19) Thomsen/Thomsen 1974, 1220-1221 nennen einen Steigwinkel zwischen 2 und 50° bei einer Querschnittsabnahme von bis zu 45% für ein funktionierendes Ziehhol. Wenn man diesen Kriterien folgt, wären die von uns erkannten antiken Zieheisen tauglich zum Ziehen massiver Drähte.
- 20) Gegen das Glätten eines tordierten Drahtes mithilfe eines Zieheisens, s. Foltz 1979, 216.
- 21) Foltz 1979, 217-218; Fischer 1995, 10. 13 Anm. 26; Armbruster/Aniol/Pernicka 2002, 168-169. Die Identifikation als Nagelisen ist jedoch nicht haltbar, da runde Lochungen für die Aufnahme vierkantiger Nagelschäfte ungeeignet sind. Heutige Nagelschmiede operieren mit vierkantig verjüngenden Lochungen und vergleichbare Objekte römischer Zeitstellung sind aus Silchester (Hampshire/GB) und Pforzheim (D) bekannt, s. Peltz 2011, Abb. 81. Ferner ist eine so feine Abstufung der Nagelschäfte, wie sie bei den Zieheisen vorzufinden ist, nicht erforderlich gewesen, was durch den Nagel-Hortfund aus dem Legionslager Inchtuthil im heutigen Schottland deutlich wird. Die über 875 000 deponierten Nägel sind in sechs stark voneinander unterscheidbaren Größengruppen aufgeteilt, s. Angus/Brown/Cleere 1962, 957-959. Neben den Nagelisen wurden auch vierkantige Aussparungen in Ambossen für das Schmieden von Nägeln genutzt. Beispielhaft hierfür ist der Amboss aus Neupotz (Lkr. Germersheim/D; 1. Hälfte 3. Jh.), s. Hanemann 2006, 127 Abb. 139.
- 22) Siehe Anm. 5.
- 23) Hoffmann 1969, 449. Dazu: Carroll 1970.
- 24) Budinský-Krička/Lamiová-Schmiedlová 1990, 255. Der Kettenpanzer stammt aus Grab 78 des Grabhügels 3. Die Brandbestattung wird aufgrund der Ausstattung in das späte 1. bis frühe 2. Jh. datiert, s. Budinský-Krička/Lamiová-Schmiedlová 1990, 283-286. 310-311; Longauerová/Longauer 1990, 349.
- 25) Die Anschliffbilder stammen aus der metallographischen Analyse von Margita Longauerová und Svätobj Longauer, s. Longauerová/Longauer 1990.
- 26) Die Mehrlagigkeit des Drahtinneren wurde von den Bearbeitern richtig erkannt, wobei sie von einem feuerverschweißten Blech ausgingen, s. Longauerová/Longauer 1990, 354. So wäre im Querschliff aber keine spiralförmige Struktur entstanden. Aus technischer Sicht ist auch dies sehr unwahrscheinlich, da antike Verschweißungen bei Eisen durch ein- oder mehrfaches Falten mit anschließendem Feuerverschweißen beim Schmieden entstehen. Diese Methode führt im Querschnitt nicht zu einem Spiralmuster, sondern zu Trennlinien in der Fläche.
- 27) Dies hatte bereits Oddy erkannt, s. Oddy 1977, 84. Für die Produktion eines kurzärmeligen Kettenhemds, wie ihn ein Legionär getragen hat (*lorica hamata*), veranschlagt Hans Drescher über 1 km laufenden Eisendraht, s. Drescher 1981, 101. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch David Sim, s. Sim/Kaminski 2012, 115.
- 28) Schmauder/Willer 2010, 684-693.
- 29) Eine Reproduktion antiker Werkzeuge war für die Versuchsreihe nicht möglich, weshalb moderne Werkzeuge genutzt wurden. Teile der Versuche wurden mit einem eigens hergestellten Zieheisen durchgeführt, wobei deutlich wurde, dass die feine Abstufung des modernen Zieheisens mit seinen elaborierten Formen der Ziehholle nicht notwendig gewesen wäre.
- 30) Willer/Meijers 2007, 38-39.
- 31) Untersuchungen dünner römischer Blecharbeiten, die als Zier- oder Waffenbeschläge dienten und aus Kupfer- oder Silberlegierungen bestehen, ergaben, dass diese oftmals sehr dünn ausgeformt wurden (0,2-0,3 mm). Dazu: Schmauder/Willer 2004, 145. 150-152. 171-174; Meijers/Willer 2007, 29-30; Brüggler u. a. 2013, 144-147.
- 32) Siehe hierzu **Abb. 6**.
- 33) Oddy 2004, 260-263. Gemeint sind hier die beiden Produktionstechniken »Strip-Twist« und »Block-Twist«, für die kein Zieheisen benötigt wird, s. **Abb. 3** und Anm. 6. Für eine zuverlässige Bestimmung der Produktionstechnik ist ein Längs- und Querschnitt des Drahtes notwendig.
- 34) Aufgrund der im Vergleich zum Original höheren Blechstärke (0,2 mm zu 0,4 mm) wurde das Blech nur drei- und nicht viermal gerollt.
- 35) In einem später erfolgten Versuch konnte der Drahtdurchmesser ohne weiteres Zwischenglühen sogar auf 0,4 mm reduziert werden.
- 36) Die Untersuchungen wurden durch Roland Schwab durchgeführt. Die Materialanalysen sind Teil einer Untersuchungsreihe, bei der weitere Kettenpanzerringe aus dem Bestand des LVR-LandesMuseums Bonn, des Museum Het Valkhof in Nijmegen und des Bernischen Historischen Museums auf ihre Herstellungstechnik hin untersucht werden.

- 37) Vergleichbar wäre hier der Draht des Kettenpanzers vom Thorsberg (Kr. Schleswig-Holstein/D) mit 191 HV oder der des Kettenpanzers aus Nydam (Syddanmark/DK) mit 187 HV, s. Sim 1997, 364-365. Der von Sim experimentell hergestellte Draht weist ebenfalls eine leicht höhere Härte von 210 HV auf.
- 38) Ein optisches Unterscheidungskriterium stellt der oberflächliche Nahtverlauf dar. Da die Oberfläche der Kettenglieder jedoch stark korrodiert ist, entfällt dieses Kriterium.
- 39) Hans Drescher veranschlagt über 1 km laufenden Eisendraht, s. Drescher 1981, 101.
- 40) Durch die Verwendung eines Blechs und die daraus resultierende Mehrlagigkeit des so produzierten Drahtes könnte eine höhere Schutzwirkung der einzelnen Kettenglieder und somit des Kettenpanzers intendiert gewesen sein. Zum Nachweis der erhöhten Schutzwirkung von mehrlagigen Blechen s. Meijers/Schalles/Willer 2007, 68-76. Ein achtlagiges Eisenblech (2,5 mm stark), das dem des Nijmegener Reiterhelms entspricht, ist mit einer rekonstruierten Manuballista beschossen worden, wobei das Blech dem Geschoss widerstand. Die Ballista basiert auf einem gut erhaltenen Stück aus Xanten-Wardt (Kr. Wesel/D), dazu: Schalles 2010, passim.
- 41) Die Oberflächenbeschaffenheit antiker Drähte aus Italien und der Schweiz weist Indizien für die Verwendung der Roll-Drawn-Methode auf. Die Glieder des Kettenpanzers aus der Tiefenau im Bernischen Historischen Museum besitzen ebenfalls einen helikalen Nahtverlauf auf ihrer Oberfläche (Inv. Nr. 12857). Zum Zeitpunkt der Manuskriptabgabe lagen leider noch keine Schliffbilder vor. Der bronzene Draht einer Ringkette (vermutlich aus der Tomba del Guerriero in Tarquinia [prov. Viterbo/I]) weist eine helikal verlaufende Naht auf, die infolge der Korrosion der Bronzelegierung aufgegangen ist und den Blick auf die darunter liegende Blechlage ermöglicht (Antikensammlung Berlin, Inv. Nr. Y 1266). Wünschenswert wäre eine repräsentativere Zahl an Autopsien antiker Drähte, die durch den Einsatz der Mikro-Computertomographie auch ohne Beschädigung der Probe erfolgen kann. Beispielhaft für die Einsatzmöglichkeiten dieser Methode: Meinel/Willer 2016, 95-97.
- 42) Wobei dies nicht als Beginn der Produktion gezogener Drähte verstanden wird. Zieheisen und Golddrähte, die bereits aus der Bronzezeit Europas stammen, müssen als Indiz dafür gewertet werden, dass die Kenntnis über die Verwendung von Zieheisen womöglich weitaus älter ist, s. Northover 1995; Eluère 1985, 58-61 Abb. 3-4.
- 43) Siehe Anm. 17.
- 44) Foltz 1979, 217-218; Fischer 1995, 10. 13 Anm. 26; Armbruster/Aniol/Pernicka 2002, 168-169.

#### Abgekürzt zitierte Literatur

- Angus/Brown/Cleere 1962: N. S. Angus / G. T. Brown / H. F. Cleere, The Iron Nails from the Roman Legionary Fortress at Inchtuthil, Perthshire. *Journal of the Iron and Steel Institute* 200, 1962, 956-968.
- Armbruster/Aniol/Pernicka 2002: B. R. Armbruster / R. W. Aniol / E. Pernicka, Goldschmiede in Haithabu. Ein Beitrag zum frühmittelalterlichen Metallhandwerk. In: K. Schietzel (Hrsg.), Das archäologische Fundmaterial VII. Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu 34 (Neumünster 2002) 85-205.
- Brepohl 2000: E. Brepohl, Theorie und Praxis des Goldschmieds (München<sup>14</sup>2000).
- Brüggl u. a. 2013: M. Brüggl / C. Dirsch / M. Drechsler / F. Willer / R. Schwab, Ein römischer Schienenarmschutz aus dem Auxiliarlager Till-Steincheshof und die Messingherstellung in der römischen Kaiserzeit. *Bonner Jahrbücher* 212, 2013, 121-152.
- Budinský-Krička/Lamiová-Schmiedlová 1990: V. Budinský-Krička / M. Lamiová-Schmiedlová, A late 1<sup>st</sup> century B.C.-2<sup>nd</sup> century A.D. cemetery at Zemplín. *Slovenská Archeológia* 38/2, 1990, 245-341.
- Carroll 1970: D. L. Carroll, Drawn Wire and the Identification of Forgeries in Ancient Jewelry. *American Journal of Archaeology* 74, 1970, 401.
- 1972: D. L. Carroll, Wire drawing in antiquity. *American Journal of Archaeology* 76, 1972, 321-323.
- Drescher 1981: H. Drescher, Untersuchungen des Ringgeflechts aus Sörup I, Grab K 10. In: K. Raddatz / H. Drescher (Hrsg.), Sörup I. Ein Gräberfeld der Eisenzeit in Angeln. *Offa-Bücher* 46 (Neumünster 1981) 186-190.
- Eilbracht 1999: H. Eilbracht, Filigran- und Granulationskunst im wikingschen Norden. Untersuchungen zum Transfer frühmittelalterlicher Gold- und Silberschmiedetechniken zwischen dem Kontinent und Nordeuropa. *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters* 11 (Köln, Bonn 1999).
- Eluère 1985: C. Eluère, Clous d'incrustation en or des tumulus Armoricaux. In: *Paléométaballurgie de la France Atlantique. Age du Bronze II. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie, Préhistoire, Protohistoire et Quaternaire Armoricaux* (Rennes 1985) 55-70.
- Fischer 1995: C. Fischer, Klein, aber fein – Beobachtungen zu einem Goldverbindungs- und Drahtherstellungsverfahren an einem spätbronzezeitlichen Fund aus Neftenbach (ZH). In: M. Primas / B. Schmid-Sikimić (Hrsg.), *Trans Europam. Beiträge zur Bronze- und Eisenzeit zwischen Atlantik und Altai. Festschrift für Margarita Primas. Antiquitas* 34 (Bonn 1995) 7-14.
- Foltz 1979: E. Foltz, Einige Beobachtungen zu antiken Gold- und Silberschmiedetechniken. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 9, 1979, 213-222.
- Formigli 1993: E. Formigli, Sulla tecnica di costruzione dei fili d'oro nell'oreficeria etrusca. In: C. Eluère (Hrsg.), *Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens. Antiquités nationales* 2 (Saint-Germain-en-Laye 1993) 35-38.
- Freiberger/Gschwantler 1999: V. Freiberger / K. Gschwantler, Beobachtungen zur Herstellungstechnik und Trageweise der Goldkette. In: W. Seipel (Hrsg.), *Barbarenschmuck und Römergold. Der Schatz von Szilágysomlyó [Ausstellungskat.]* (Wien 1999) 97-111.
- Furger-Gunti 1978: A. Furger-Gunti, Gezogener Draht an keltischen Fibeln des 1. Jahrhunderts vor Christus. *Draht* 29, 1978, 727-730.
- Gewecke 1910: H. Gewecke, Einige Versuche zur Klärung des Vorgangs beim Drahtziehen. *Polytechnisches Journal* 325, 1910, 193-196.



- Gschwantler 1999: K. Gschwantler, Die Anhänger der Kette und ihre Deutung. In: W. Seipel (Hrsg.), *Barbarenschmuck und Römergold. Der Schatz von Szilágyosomlyó* [Ausstellungskat.] (Wien 1999) 63-79.
- Hanemann 2006: B. Hanemann, *Ferramenta romana – römische Eisengeräte*. In: J. Stadler (Hrsg.), *Der Barbarenschatz. Geraubt und im Rhein versunken* [Ausstellungskat. Speyer] (Stuttgart 2006) 126-129.
- Hartmann 1975: A. Hartmann, Zur Erkennung von Fälschungen antiken Goldschmucks. *Archäologischer Anzeiger* 1975/2, 300-304.
- Hintermann 2012: D. Hintermann, *Vindonissa-Museum Brugg. Ein Ausstellungsführer* (Brugg 2012).
- Hoffmann 1969: H. Hoffmann, »Greek Gold« Reconsidered. *American Journal of Archaeology* 73, 1969, 447-451.
- Kalpakjian/Schmid 2014: S. Kalpakjian / S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology* (Upper Saddle River, NJ 2014).
- Kratz 1972: A. Kratz, Goldschmiedetechnische Untersuchung von Goldarbeiten im Besitz der Skulpturenabteilung der Staatlichen Museen Preußischer Kulturbesitz Berlin-West (Frühchristlich-Byzantinische Sammlung). *Aachener Kunstblätter* 43, 1972, 156-189.
- Longauerová/Longauer 1990: M. Longauerová / S. Longauer, Structural Analysis of a Scabbard and a Ring Mail from Zemplín. *Slovenská Archeológia* 38/2, 1990, 349-355.
- Meijers/Willer 2007: R. Meijers / F. Willer, Katalog der untersuchten eisernen Gesichtshelme aus Nijmegen / Catalogus van de onderzochte ijzeren gezichtshelmen uit Nijmegen. In: R. Meijers / F. Willer (Hrsg.), *Achter het zilveren masker. Nieuw onderzoek naar de productietechnieken van Romeinse ruitershelmen / Hinter der silbernen Maske. Neue Untersuchungen zur Herstellungstechnik römischer Reiterhelme* (Nijmegen 2007) 21-30.
- Meijers/Schalles/Willer 2007: R. Meijers / H.-J. Schalles / F. Willer, Schusseexperimente mit einer rekonstruierten römischen Torsionswaffe auf definierte Metallbleche. In: R. Meijers / F. Willer (Hrsg.), *Achter het zilveren masker. Nieuw onderzoek naar de productietechnieken van Romeinse ruitershelmen / Hinter der silbernen Maske. Neue Untersuchungen zur Herstellungstechnik römischer Reiterhelme* (Nijmegen 2007) 69-76.
- Meinel/Willer 2016: D. Meinel / F. Willer, Röntgen-Mikro-Computertomographie ( $\mu$ CT) – Virtuelle Freilegung innenliegender Strukturen. In: M. Fitzenreiter / F. Willer / J. Auenmüller (Hrsg.), *Materialien einer Gusswerkstatt von der Qubbet el-Hawa* (Berlin 2016) 82-117.
- Nicolini 1993: G. Nicolini, Les fils d'or plats ouvragés en Méditerranée occidentale du VI<sup>e</sup> au IV<sup>e</sup> siècle. In: C. Eluère (Hrsg.), *Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens. Antiquités nationales 2* (Saint-Germain-en-Laye 1993) 29-34.
- 1995: G. Nicolini, Gold Wire Techniques of Europe and the Mediterranean around 300 B.C. In: G. Morteani / J. P. Northover (Hrsg.), *Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy, and Manufacture. NATO ASI Series. Series E, Applied Sciences 280* (Dordrecht, Boston 1995) 453-470.
- Northover 1995: P. Northover, Late Bronze Age Drawplates in the Isleham Hoard. In: M. Primas / B. Schmid-Sikimić (Hrsg.), *Trans Europam. Beiträge zur Bronze- und Eisenzeit zwischen Atlantik und Altai. Festschrift für Margarita Primas. Antiquitas 34* (Bonn 1995) 15-22.
- Oddy 1977: W. A. Oddy, The Production of Gold Wire in Antiquity. Hand-Making Methods before the Introduction of the Draw-Plate. *Gold Bulletin* 10/3, 1977, 79-87.
- 1986-1987: W. A. Oddy, Does »Strip-Drawn« Wire Exist from Antiquity? *Masca Journal. Museum Applied Science Center for Archaeology, University of Pennsylvania* 4, 1986-1987, 175-177.
- 2004: W. A. Oddy, The Manufacture of Wire since the Bronze Age. A Technological Investigation Using the Microscope. In: M. Martini / M. Milazzo / M. Piacentini (Hrsg.), *Physics Methods in Archaeometry. Proceedings of the International School of Physics »Enrico Fermi«, Varenna on Lake Como, Villa Monastero 17-27 June 2003. Proceedings of the International School of Physics »Enrico Fermi« 154* (Amsterdam, Washington, D. C. 2004) 257-267.
- Ogden 1991: J. M. Ogden, Classical gold wire. Some aspects of its manufacture and use. *Jewellery Studies* 5, 1991, 95-105.
- 2003: J. M. Ogden, Connections between Islam, Europe, and the Far East in the Medieval Period. The Evidence of Jewelry Technology. In: P. Jett (Hrsg.), *Scientific Research in the Field of Asian Art. Proceedings of the First Forbes Symposium at the Freer Gallery of Art* (London 2003) 2-7.
- Peltz 2011: U. Peltz, Nägel, Stifte, Niete. Befestigungstechnik im samischen Heraion. *BAR International Series 2266* (Oxford 2011).
- Rump 1968: P. Rump, Beitrag zur Geschichte des Drahtziehens. *Stahl und Eisen* 88, 1968, 53-57. <http://worldcatlibraries.org/wcpa/oclc/174267076> (27.4.2017).
- Schalles 2010: H.-J. Schalles, Die frühkaiserzeitliche Manuballista aus Xanten-Wardt. *Xantener Berichte* 18 (Mainz am Rhein 2010).
- Schliemann/Virchow/Ascherson 1881: H. Schliemann / R. L. K. Virchow / P. Ascherson, *Ilios. Stadt und Land der Trojaner. Forschungen und Entdeckungen in der Troas und besonders auf der Baustelle von Troja* (Leipzig 1881).
- Schmauder/Willer 2004: M. Schmauder / F. Willer, Römische Kästchenbeschläge aus Buntmetall im Römisch-Germanischen Museum Köln. *Kölner Jahrbuch* 37, 2004, 137-221.
- 2010: M. Schmauder / F. Willer, Ein spätantiker Schlossbeschlag im Römisch-Germanischen Museum Köln. *Kölner Jahrbuch* 43, 2010, 675-694.
- Schorer 2009: B. Schorer, Studien zur Herstellung von latènezeitlichem und provinzialrömischem Silberschmuck in Mitteleuropa [Diss. Univ. Freiburg 2009].
- Sim 1997: D. Sim, Roman Chain-Mail. Experiments to Reproduce the Techniques of Manufacture. *Britannia* 28, 1997, 359-371.
- Sim/Kaminski 2012: D. Sim / J. Kaminski, *Roman Imperial Armour. The Production of Early Imperial Military Armour* (Oxford u. a. 2012).
- Thomsen/Thomsen 1974: E. G. Thomsen / H. H. Thomsen, Early Wire Drawing Through Dies. *Journal of Engineering for Industry* 96/4, 1974, 1216-1221.
- 1976: E. G. Thomsen / H. H. Thomsen, Drawing Solid Wires Through Soft Dies in Antiquity. *Journal of Engineering for Industry* 98/1, 1976, 201-205.
- Thouvenin 1971: A. Thouvenin, La fabrication des fils et des filigranes de métaux précieux chez les anciens. *Revue d'histoire des mines et de la métallurgie* 3, 1971, 89-108.

Willer/Meijers 2007: F. Willer / R. Meijers, Herstellungstechnische Untersuchungen der eisernen Gesichtshelme aus Nijmegen. In: R. Meijers / F. Willer (Hrsg.), Achter het zilveren masker. Nieuw onderzoek naar de productietechnieken van Romeinse ruitershelmen / Hinter der silbernen Maske. Neue Untersuchungen zur Herstellungstechnik römischer Reiterhelme (Nijmegen 2007) 31-50.

Williams 1924: C. L. R. Williams, The New York Historical Society Catalogue of Egyptian Antiquities. Gold and Silver Jewelry and Related Objects (New York 1924).

Wolters 1997: J. Wolters, Drahtherstellung im Mittelalter. In: U. Lindgren (Hrsg.), Europäische Technik im Mittelalter. 800 bis 1400. Tradition und Innovation (Berlin <sup>2</sup>1997) 205-216.

## Zusammenfassung / Summary

### Gezogener antiker Draht? Zur Drahtproduktion des Kettenpanzers aus Zemplín

Trotz seiner Bedeutung für die Schmuckforschung und die Entwicklungsgeschichte der Kettenpanzer ist die Ontogenese des antiken gezogenen Drahts nicht ausreichend untersucht. Sowohl die für das Drahtziehen benötigten antiken Zieheisen als auch das Vorhandensein antiken gezogenen Drahts gelten als zweifelhaft, weshalb in der Konsequenz Indizien für Drahtoberflächen, die auf Ziehprozesse hinweisen, vielfach als Beweis für Kunstfälschungen betrachtet werden. Zusammen mit Frank Willer, Restaurator für archäologisches Kulturgut am LVR-LandesMuseum Bonn, wurde eine neue Methode der Drahtherstellung erprobt, bei der die charakteristischen Merkmale des Drahtinneren eines Ringpanzers aus Zemplín, der in das ausgehende 1. Jahrhundert n. Chr. datiert, rekonstruiert werden konnten. Diese Experimente führten zu dem Schluss, dass der Draht für das Kettenhemd zuvor aus einem dünnen Eisenblech zusammengerollt und anschließend durch ein Zieheisen gezogen wurde. Anhand der Methode des Roll-Drawing konnte eine Technik identifiziert werden, die möglicherweise die Initiation des antiken gezogenen Drahts darstellt. Das Ziehen eines eingerollten dünnen Metallblechs reduziert im Vergleich zum Ziehen massiver Drähte signifikant die Anforderung an das verwendete Zieheisen, woraus sich auch eine neue Beurteilung der bisher bezweifelten antiken Zieheisen ergibt. Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit zwischen dem Exzellenzcluster 264 Topoi (D-5-5-1) der Humboldt-Universität zu Berlin und dem LVR-LandesMuseum Bonn.

### Ancient Drawn Wire? On the Wire Production of the Mail from Zemplín

Despite its importance for jewellery history and the development of mail armour, the history of drawn wires and its associated tools in antiquity has not been sufficiently studied. In fact, the existence of drawplates has occasionally been doubted or denied altogether. Thus, it has been disputed that wires were produced by drawing and in consequence draw marks on wires were mostly considered as proof of recent forgeries. Together with Frank Willer, conservator for archaeological objects at the LVR-LandesMuseum Bonn, a new method of drawing wire has experimentally been probed. It has thus been possible to reproduce characteristics apparent in the microsection of a mail ring from the burial of Zemplín, which dates to the end of the 1<sup>st</sup> century AD. This allows us to conclude that the wire for the mail armour was produced by rolling a thin metal and drawing it afterwards through a drawplate. With roll-drawing, a drawing technique has been identified which can account for the emergence of wire drawing in antiquity. Drawing of rolled thin metal imposes less technical constraints on the drawplates than drawing solid material. The work was carried out in collaboration between the Excellence Cluster 264 Topoi (D-5-5-1) of the Humboldt-Universität zu Berlin and the LVR-LandesMuseum Bonn.

## Schlagworte

gezogener Draht / Zieheisen / Antike /  
Metallverarbeitung / Zemplín / Kettenpanzer /  
experimentelle Archäologie