

Die 'römische' Schraube aus dem Kastell von Niederbieber

Die Frage nach der Herkunft der Schraube wurde von archäologischer Seite erstmals durch H. Mötefindt im Jahre 1916 im Rahmen seines Aufsatzes 'Zur Geschichte der Löttechnik in vor- und frühgeschichtlicher Zeit' im Bonner Jahrbuch gestellt¹. Bereits zwei Jahre zuvor hatte der Ingenieur F. M. Feldhaus ein römisches Fundstück veröffentlicht, dessen Stellenwert für die Beantwortung dieser zentralen Frage der europäischen Technikgeschichte nicht unbedeutend ist². Es handelte sich um eine eiserne Schraubenmutter, die 1897 im ersten Jahr der Ausgrabungen der Reichslimeskommission im Kastell von Niederbieber gefunden worden war (Abb. 1). Als Fundstelle ist im Inventar des Rheinischen Landesmuseums Bonn 'an der via principalis, linke Seite' verzeichnet³. In der Folge hat das gut erhaltene Fundstück die gebührende wissenschaftliche Aufmerksamkeit gefunden und gilt seitdem als die älteste Schraubenmutter, die man kennt⁴. Zweifel an der tatsächlichen Herkunft der Metallschraube sind

¹ Bonner Jahrb. 123, 1916, 140–189, bes. 151 ff.

² F. M. FELDHAUS, Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker (1914, Nachdruck 1965) 981 ff. s. v. Schraube, bes. 985 Abb. 649; 650. – DERS., Die Technik der Antike und des Mittelalters (1931) 213 Abb. 248.

³ Rhein. Landesmuseum Bonn, Inv.-Nr. E 285. Ich danke Herrn B. v. Zelewski (Werkstatt Bonn) und Herrn J. Goebels (Hambach) für die technische Hilfe bei der Aufnahme der Schraubenmutter. – Die Schraubenmutter findet keine Erwähnung unter den Eisenfunden im ersten Ausgrabungsbericht (Dezember 1897) Limesblatt 27, 1898, 745–757 Nr. 175 Niederbieber (E. RITTERLING) und wird auch nicht aufgeführt bei H. LEHNER, Ausgewählte Einzelfunde aus Niederbieber. Bonner Jahrb. 120, 1911, 279 ff., ORL B Nr. 1a (Niederbieber) 5 ff.

⁴ H. MÖTEFINDT, Zur Geschichte der Schraube. Studien zur vorgeschichtlichen Archäologie. Festschr. A. Götz (1925) 205 Nr. 9. – A. NEUBURGER, Die Technik des Altertums² (1920, Nachdruck 1977) 211 f. erwähnt die Schraubenmutter aus Niederbieber nicht. So erscheint sie auch nicht in der grundlegenden Arbeit von G. BERNDT, Die Gewinde, Ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen (1925) 15 ff. – Ein entscheidender Stellenwert kommt der Schraubenmutter aus Niederbieber zu bei F. KIECHLE, Sklavenarbeit und technischer Fortschritt im Römischen Reich. Forschungen zur antiken Sklaverei 3 (1969) 39 ff. ('stellt die Schraubenmutter von Nieder-Bieber den frühesten Hinweis auf eine Metallschraube dar', S. 40). Kiechle verbindet mit diesem Fundstück die eigentliche Erfindung der Befestigungsschraube und datiert sie analog der Belegungszeit des Kastells noch in das ausgehende 2. Jahrh. n. Chr. Die gleiche Auffassung vertritt J. IRMSCHER (Hrsg.), Lexikon der Antike² (1977) 507 Abb. 2 s. v. Schraube (H. WILSDORF). Kommentarlos wird die Schraube als röm. Fundstück übernommen bei

bisher weder den Archäologen noch Technikhistorikern gekommen. Aus eigener Ansicht scheint das Fundstück nur F. M. Feldhaus gekannt zu haben. Mit Ausnahme seiner ersten kurzen Vorlage von 1914 fehlt seither jedoch eine ausreichende und zuverlässige Publikation der Schraubenmutter und des genauen Gewindepfils.

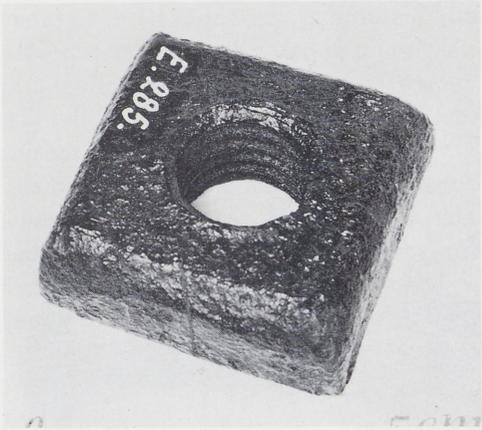
Die Schraubenmutter aus Niederbieber (Abb. 1) besteht aus geschmiedetem Eisen, das an der Oberfläche nur geringfügig korrodiert ist. Das Gewicht beträgt 185,5 g. Der Schraubenkörper besitzt eine quadratische Grundform mit den Seitenabmessungen von 42,5 mm zu 43,5 mm. Die Höhe der zentralen Durchbohrung (Gewindelänge) liegt bei 17,7 mm. Das Innengewinde weist sechs Gewindegänge auf, die für eine rechtsgängige Befestigungsschraube bestimmt sind. Die Ganghöhe (Steigung) beträgt 2,95 mm. Die übrigen Maße können aus dem Gewindepfild der Schraubenmutter (Abb. 1c) entnommen werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß der verlorengegangene Schraubenbolzen entsprechend geringere Abmessungen besaß⁵. Der Nenndurchmesser liegt bei 19,75 mm. Auf Grund eines Maßvergleiches mit Gewindegangsystemen, die vor dem Fundjahr von 1897 gebräuchlich waren, muß mit Sicherheit ausgeschlossen werden, daß es sich um eine römische Befestigungsschraube handelt. So entsprechen die Abmessungen des Innengewindes zwei überlieferten Gewindegangnormen, die in einer Übersicht der vor 1898 in Deutschland und Mitteleuropa üblichen Gewindegangarten aufgeführt sind⁶. Es handelt sich um die Systeme von Delisle I (1873) und Reuleaux II (1879, Sellersprofil). Die Außendurchmesser der Schrauben sind mit 20 bzw. 21 mm angegeben, die Ganghöhe mit 2,8 mm. Die geringfügigen Maßdifferenzen sind auf Oberflächenkorrosion und den natürlichen Verschleiß des Gewindes zurückzuführen. Am Institut für Meßtechnik der Universität Hannover wurde festgestellt, daß es sich um ein geschnittenes Innengewinde handelt und die Verschleißspuren auf die Flankenmitten konzentriert sind. Diese Tatsachen sprechen für eine sehr gute Anpassung und Führung der zugehörigen Schraube. Eine größere Maßabweichung gegenüber den bekannten Normen besteht im Flankenwinkel, der an dem Fundstück aus Niederbieber bei 70° liegt. Bevor das Gewindepfild von Whitworth (Flankenwinkel 55°) und das metrische System (60°) nach der Jahrhundertwende umfassendere Gültigkeit erhielten, war es mit den noch kaum entwickelten Gewindegangschneidern technisch einfacher, Gewindegänge mit größeren Flankenwinkeln (um 60°) in Eisen zu schneiden. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, 'daß in dem Deutschland der Vorsiebiger Jahre ein vollständiges Tohuwabohu von Gewindegangsystemen herrschte', das bis zur Einführung der beiden genannten Systeme andauerte⁷. In diese frühindustrielle Epoche muß die Schraubenmutter aus Niederbieber zeitlich eingeordnet werden. Für ihre Herstellung in der Mitte oder zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts sprechen noch zwei weitere Indizien. Ihre äußere Form weist die Schrauben-

W. TREUE, Kulturgeschichte der Schraube von der Antike bis zum 18. Jahrh. (1955) 142 f. Nr. 3. Für Treue ergibt sich aber aus der Kenntnis des übrigen Fundmaterials, daß Griechen oder Römer die Befestigungsschraube nicht erfunden haben können (S. 137). – Zur antiken Schraube zusammenfassend, allerdings ohne auf den Fundstoff einzugehen, RE Suppl. VI (1935) 654–659 s. v. Schraube (A. G. DRACHMANN), bes. zur Schraubenmutter 656 f.; DERS., The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity (1963) 204 f.

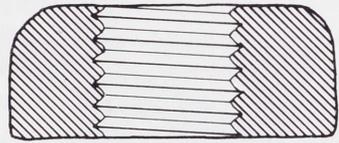
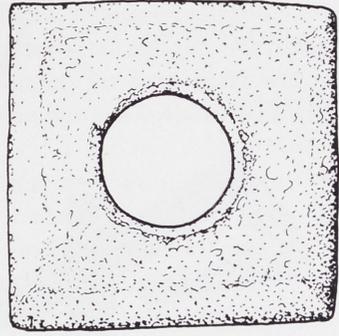
⁵ Das Gewindepfild wurde am Institut für Meßtechnik im Maschinenbau, Universität Hannover, aufgemessen. Herrn Prof. F. Hock bin ich für seine großzügige Unterstützung sehr dankbar.

⁶ BERNDT a. a. O. (Anm. 4) 96 ff. Tab. 74.

⁷ Ebd. Zur Größe des Flankenwinkels bes. S. 14 f.

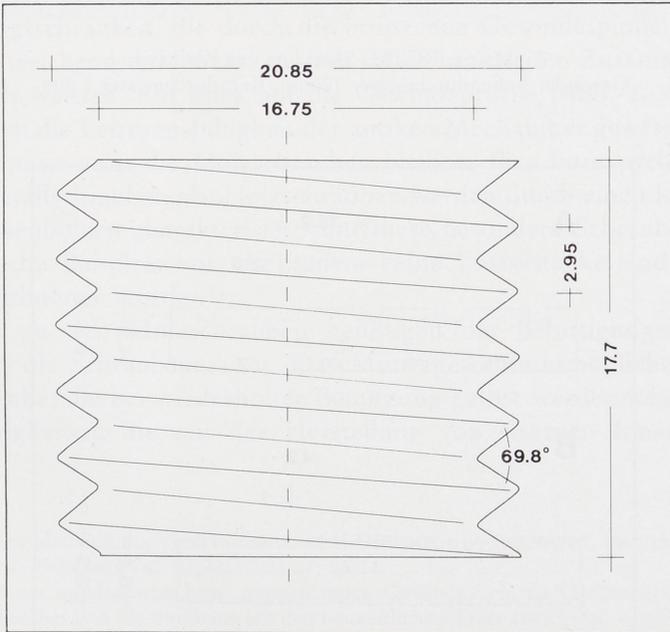


a



b

1 a-b Eiserne Schraubenmutter.
FO. Niederbieber, im römischen Kastell. – Maßstab 1:1 (b).

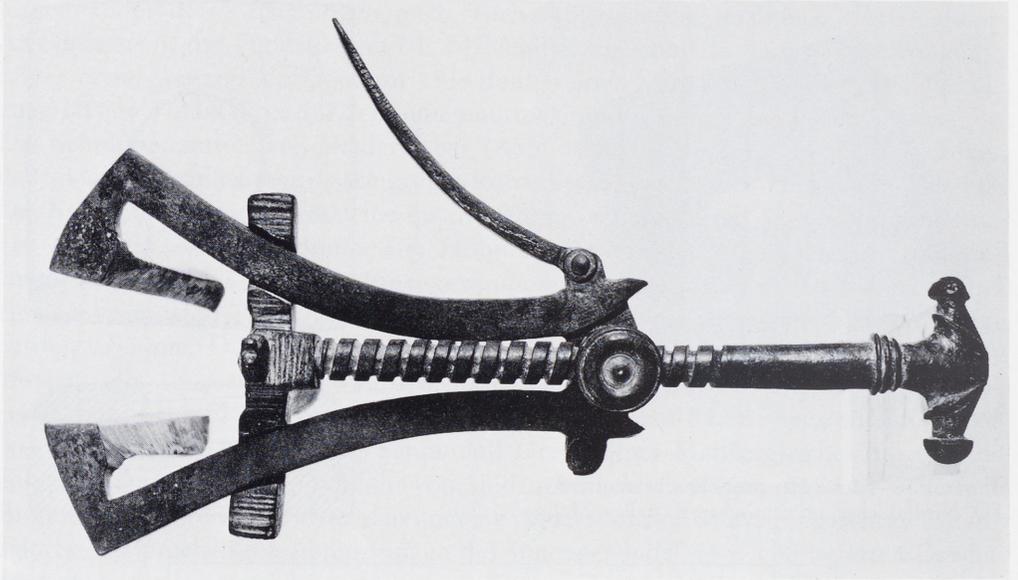


c

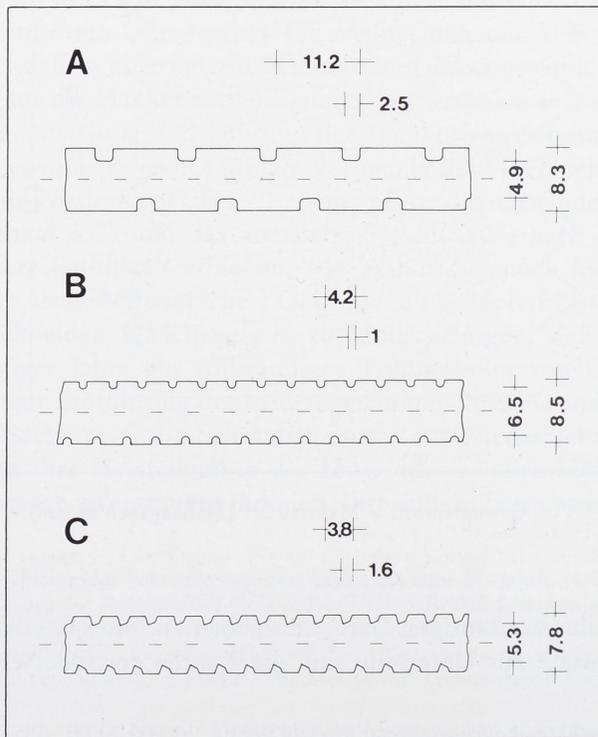
1 c Gewindeprofil. – Maßstab 3:1 (Maßangaben in mm).

mutter dem Typ der vierkantigen Gerüstschauben zu, die späterhin unter DIN 557 fallen⁸. Im Gegensatz zur Unterseite sind die Kanten der Oberseite abgerundet, so

⁸ A. LEYENSETTER, Fachkunde für metallverarbeitende Berufe ³³(1949) 230 ff. Abb. 436. – W. FRIEDRICH, Tabellenbuch für Metallgewerbe (1954) 89 Nr. 562. – Die gängigen Höhenabmessungen der Schraubenmutter ergeben sich aus einer Multiplikation des äußeren Schraubendurchmessers mit dem Faktor 0,8 bzw. 0,5. Der erstgenannte Wert trifft in etwa auf die Schraubenmutter aus Niederbieber zu.



2 Mainz, RGZM, Speculum aus Kleinasien.
Gewinde: Außendurchmesser 10 mm, Kerndurchmesser 8 mm.



3 Längsschnitt durch die Gewindespindeln antiker Specula (nach A. Mutz). – Maßstab 1:1
(Maßangaben in mm).

wie es auch an modernen Schraubenmuttern noch der Fall ist. Ältere Schraubenmutter besitzen dieses Kriterium nicht⁹. Zugleich muß mit der vierkantigen Schraubenmutter die Verwendung eines passenden Schraubenschlüssels vorausgesetzt werden. Schraubenschlüssel sind aber in römischen Fundzusammenhängen bisher nicht nachweisbar.

Obwohl eine Fundortangabe vorliegt, können die genauen Fundumstände der Schraubenmutter aus Niederbieber nicht geklärt werden. Im Ausgrabungsbericht fehlt bezeichnenderweise ein Hinweis auf das außergewöhnliche Fundstück. Aller Wahrscheinlichkeit nach wurde die eiserne Befestigungsschraube beim Gerüstbau verwendet oder befand sich an einem Ackergerät, bevor die Schraubenmutter verloren ging. Der zugehörige Schraubenbolzen wurde nicht gefunden.

Unabhängig von der eindeutigen meßtechnischen Zuweisung hätten sich Zweifel an der wahren Provenienz der Schraubenmutter bei einer ausreichenden Kenntnis des archäologischen Vergleichsmaterials ergeben müssen. Aus diesem Grunde soll der einschlägige Fundstoff einer kurzen Beurteilung unterzogen werden. Für die römische Kaiserzeit steht die Fähigkeit, gut funktionierende Gewinde herzustellen, außer Frage. Zu unterscheiden sind aber Bewegungs- und Befestigungsschrauben. Die römischen Bewegungsschrauben, die durch die bronzenen Gewindespindeln der erhaltenen *Specula* ausreichend dokumentiert sind, sollen in unserem Zusammenhang nicht näher behandelt werden. Ein Blick auf die Gewindeprofile (Abb. 2–3) beweist, wie außergewöhnlich die Leistungsfähigkeit der antiken Mechaniker gewesen ist¹⁰. Unberücksichtigt können auch die Holzschrauben bleiben. Ihre Form weicht wesentlich von der der Metallschrauben ab. Holzschrauben werden durch einen konisch verlaufenden Schraubenbolzen charakterisiert. Für diese besondere Schraubenform liegen nur drei römische Beispiele vor, die zudem keine Einzelstücke sind, sondern mit einem Gerät verbunden wurden¹¹.

Im Gegensatz zu den Holzschrauben benötigen die Befestigungsschrauben ein Gegengewinde, die Schraubenmutter. Das Muttergewinde ermöglicht eine Feststellung der Schraube, die bei wiederholter Benutzung gelöst werden kann. Die technischen Schwierigkeiten, die mit der Herstellung von eisernen Innengewinden an

⁹ Noch nicht abgerundet sind die Vierkantmuttern bei DIDEROT u. D'ALEMBERT, *Encyclopédie* s. v. Serrurerie, Taf. 37,13 u. Tourneur Taf. 22,20; 77,25,27; 86,11.

¹⁰ Es handelt sich um quadratische bzw. trapezförmige Gewinde, wie sie OREIBASIOS (coll. med. 49,4, 53 ff.) beschrieben hat und die durchaus mit den neuzeitlichen Trapezgewinden verglichen werden können, vgl. BERNDT a. a. O. (Anm. 4) 239 ff. – Zu den Gewinden der röm. *Specula* A. MUTZ, *Römische Bronzegewinde. Technikgeschichte* 36, 1969, 161–167; DERS., *Die Kunst des Metaldrehens bei den Römern* (1972) 162 ff. Zu den *Specula* als ärztliche Instrumente zuletzt E. KÜNZL, *Bonner Jahrb.* 182, 1982, 23 f. – Auch die durch Wandbilder und im Original bekannten pompejanischen Tuchpressen werden durch Gewindespindeln geführt, sind also mit den *Specula* zu vergleichen. Gleiches trifft auf die Öl- und Weinpressen zu, die Plinius und Cato beschrieben haben. Bisher nicht ausgewertet wurde die Darstellung einer zylindrischen Gewindespindel bei V. SANTA MARIA SCRINARI, *Museo Archeologico di Aquileia, Catalogo delle sculture romane* (1972) Nr. 356.

¹¹ L. JACOBI, *Das Römerkastell Saalburg bei Homburg vor der Höhe* (1897) 537 Abb. 71,20 Taf. 59,18; MÖTEFINDT a. a. O. (Anm. 4) 204 Abb. 7–9; MUTZ, *Metaldrehen* (1972) 163 f. Abb. 477 (fragliches Stück). Nicht zu verwechseln sind tordierte Metallstäbe mit echten Gewinden, z. B. J. NOTHDURFTER, *Die Eisenfunde von Sanzeno im Nonsberg* (1979) 97 oder MÖTEFINDT a. a. O. 204 Abb. 6. – Zu den Holzschrauben auch KIECHLE a. a. O. (Anm. 4) 40 ff. – Eiserne Spiralbohrer sind z. B. aus Aquileia bekannt, W. GAITZSCH, *Eiserne röm. Werkzeuge. BAR Int. Ser.* 78 (1980) 33 f. Taf. 39, 187–188.

Schraubenmuttern verbunden sind, haben sich besonders während der Entwicklung der neuzeitlichen Befestigungsschrauben gezeigt¹². Nicht weniger problematisch dürfte die Erzeugung von Innengewinden in der Antike gewesen sein. Wenn man die technischen Möglichkeiten in Betracht zieht, können die Formen moderner Metallgewinde nicht vorausgesetzt werden.

Die Belege für antike Innengewinde beschränken sich auf wenige auswertbare Fundstücke und das schriftliche Zeugnis des Oreibasios (gestorben nach 396). F. Kiechle hat die antiken und arabischen Schriftquellen zur Schraube ausführlich behandelt, so daß hier nur die einschlägigen Textstellen Erwähnung finden können¹³. Oreibasios (coll. med. 49,5,1.8) beschreibt das Innengewinde als eine zylindrische Durchbohrung, in die ein Metallstift (ὄδους oder τύλος) hineinragt, der dem Schraubengang zur Führung diene. Es handelt sich also um kein echtes Gewinde, sondern um einen Metallzylinder, in dem ein Führungsbolzen sitzt. Der archäologische Fundstoff bestätigt die schriftlichen Angaben des Oreibasios. A. Mutz konnte eines der pompejanischen Specula näher untersuchen. Die Gewindespindel des Instruments wird in einer Schraubenmutter geführt, die 'lediglich aus einem zylindrischen Loch von 5,6 mm Länge' besteht. 'In dieses ist von oben ein Führungsstift eingesteckt, welcher in den Gewindengang eingreift. So kann die Schraube leicht gedreht werden, hat aber keine gute Führung'¹⁴.

Ähnlich einfach wie an den Specula sind die Innengewinde spätrömischer Fibeln 'geschnitten'. Etwa dreißig Zwiebelknopffibeln und andere Schmuckarbeiten mit Schraubverbindungen wurden bisher bekannt¹⁵. Von keinem dieser wichtigen Fundstücke liegt eine ausreichende Publikation der Gewinde vor, so daß zuverlässige technische Aussagen gegenwärtig nicht zu machen sind. Das ist um so bedauerlicher, da diese Schraubverbindungen die einzigen antiken Belege für Befestigungsschrauben mit Muttergewinden darstellen. Hölzerne Befestigungsschrauben wurden bisher noch nicht ausgegraben. Eine der Zwiebelknopffibeln (Abb. 4), die sich heute im Römisch-Germanischen Zentralmuseum in Mainz befindet, kann an dieser Stelle ausführlicher vorgelegt werden¹⁶. Es handelt sich um eine vergoldete Bronzefibel vom Typ 6 nach E. Keller¹⁷. Die Gewandnadel zeichnet sich durch einen schraubbaren

¹² BERNDT a. a. O. (Anm. 4) 16 f. Schraubverbindungen fehlen während des Mittelalters. Die neuzeitliche Entwicklung setzt mit Leonardo da Vinci ein und dauert bis zur Erfindung des Supportes. Erst seit etwa 1800 ist das Schneiden von Innengewinden in größerem Umfang möglich. Vgl. z. B. DIDEROT und D'ALEMBERT, *Encyclopédie* s. v. *Taillanderie*, Taf. 10 ff.

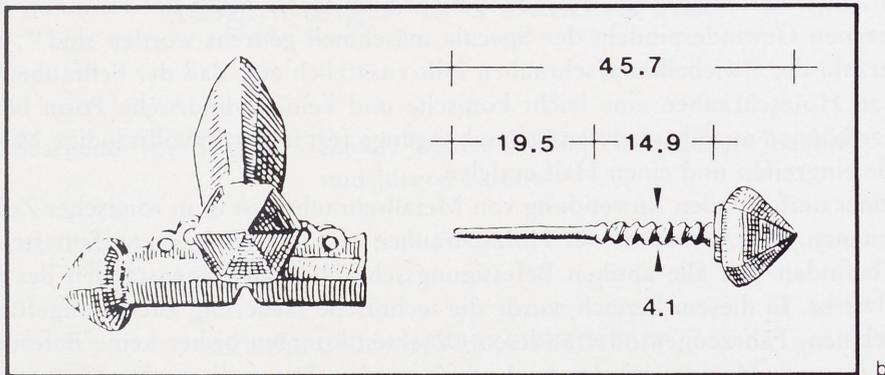
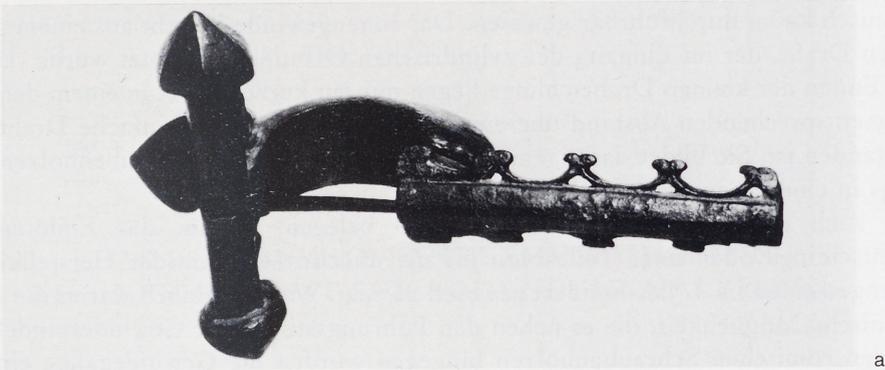
¹³ Zitiert bei F. KIECHLE, *Zur Verwendung der Schraube in der Antike*. *Technikgeschichte* 34, 1967, 21 Anm. 34.35. – DERS. a. a. O. (Anm. 4) 38 ff.

¹⁴ A. MUTZ, *Römische Bronzegewinde*. *Technikgeschichte* 36, 1969, 161 ff. Abb. 3.

¹⁵ MÖTEFINDT a. a. O. (Anm. 1 u. 4). Die Zusammenstellung stammt aus dem Jahre 1925 und wurde seitdem nicht mehr ergänzt. Viele der von Mötelfindt angeführten Beispiele für antike Schraubverbindungen sind verschollen oder in ihrer Herkunft und tatsächlichen Beschaffenheit fragwürdig, so z. B. auch *Bonner Jahrb.* 123, 1916, 151 ff. Nr. 8; 10; 18. Besonders zweifelhaft ist eine Bronzeschraube mit geschlitztem Kopf 'um mit einem Schraubenschlüssel angezogen werden zu können' (?) in Rom, ebd. 160. Eine kritische Überprüfung ist bei allen bekannten Fundstücken notwendig.

¹⁶ Röm.-Germanisches Zentralmuseum Mainz, Inv.-Nr. 0.13399, Röntgenbilder R 82/321–323. *Mainzer Zeitschr.* 24–25, 1929–1930, 51 f. Abb. 5; FOLTZ, *Archäologie und Naturwissenschaften* 2 (1981) 201 Anm. 15. – Ich danke Herrn Dr. H. Matthäus (Langgöns) und besonders Herrn Dr. E. Künzl (Mainz) für wertvolle Hinweise und Unterstützung bei der Materialaufnahme.

¹⁷ E. KELLER, *Die spätrömischen Grabfunde in Südbayern* (1971) 52 Abb. 11, 13. Nach Keller stellt die



4 a Mainz, RGZM, Zwiebelknopffibel mit Schraubverbindung. – b Querarm mit Schraubverbindung, Zwiebelknopfschraube. – Maßstab 1:1 (Maßangaben in mm).

Verschuß aus, der auch an der verschollenen Goldfibel aus dem Childerich-Grab beobachtet wurde¹⁸. Einer der seitlichen Zwiebelknöpfe ist mit einer Schraube verbunden, die zur Befestigung der Nadel diente. Der Schraubenbolzen (Abb. 4b) besitzt an dem Mainzer Stück eine Länge von 34,45 mm. Das eingefeilte Gewinde erstreckt sich auf eine Distanz von 14,95 mm und reicht bei eingeschraubtem Zwiebelknopf nur etwa bis zur Mitte des Querarms. Hier befindet sich ein dreieckiger Einschnitt, in dem das Nadelöhr eingesetzt wurde. Der vordere Teil des in einer Spitze endenden Schraubenbolzens trägt kein Gewinde, da er die Befestigungsnadel aufnehmen sollte. Das linksgängige Schraubgewinde hat einen mittleren Außendurchmesser von 4,15 mm, der Kerndurchmesser beträgt 2,5–2,7 mm.

Im Unterschied zur Zwiebelknopfschraube wurde das Muttergewinde im Querarm der Fibel nicht eingefeilt. Bei einem inneren Durchmesser von etwa 4 mm wäre das

Schraubverbindung zugleich ein Charakteristikum seiner Fibelgruppe 6 dar, die er um 400 und in die erste Hälfte des 5. Jahrh. datiert. Nicht ganz zutreffend beschreibt er die Befestigung der Nadel. Sie geschieht nicht mit einem losen Metalldraht, sondern durch das vordere Ende der Schraube, deren Kopf zwiebel förmig gebildet ist, vgl. MÖTEFINDT a. a. O. (Anm. 1) 155 Abb. 17. Wie an der Mainzer Fibel ist der Zwiebelknopf häufig facettiert, ermöglicht also ein leichteres Greifen und Drehen der Schraube. Zur Herstellungstechnik röm. Zwiebelknopffibeln H. DRESCHER, *Germania* 37, 1959, 170–179.

¹⁸ MÖTEFINDT a. a. O. (Anm. 1) 151 Abb. 11,4.5.

technisch kaum durchführbar gewesen. Das Innengewinde besteht aus einem gewundenen Draht, der im Eingang der zylindrischen Öffnung eingelötet wurde. Die beiden Enden der kleinen Drahtschlinge liegen nur ein kurzes Stück in einem der Ganghöhe entsprechenden Abstand übereinander, so daß eine sehr einfache Drahtspirale entstanden ist. Sie bildet das eigentliche Gegengewinde zum Schraubenbolzen, allerdings in einer unausgeprägten Form.

Wie auch die übrigen Zwiebelknopffibeln belegen, scheint das Einlöten einer Drahtschlinge oder eines Teiles von ihr die übliche Methode der Herstellung von Innengewinden im 4. Jahrhundert gewesen zu sein. Wahrscheinlich war es die einzige technische Möglichkeit, die es neben den Führungsstiften der Gewindespindeln gab. An den römischen Schraubenbolzen hingegen wurden die Gewindegänge eingefeilt oder aufgelötet. Gegossene Stücke sind Ausnahmen. A. Mutz hat vermutet, daß die bronzenen Gewindespindeln der *Specula* maschinell gedreht worden sind¹⁹. An der Mehrzahl der Zwiebelknopfschrauben fällt zusätzlich auf, daß der Schraubenbolzen wie an Holzschrauben eine leicht konische und keine zylindrische Form besitzt²⁰. Daher können nur die obersten Schraubengänge fest in das unvollständige Muttergewinde eingreifen und einen Halt erzielen.

Zu einer umfassenden Anwendung von Metallschrauben ist es in römischer Zeit nicht gekommen. Mit Ausnahme der Holzschrauben und den übrigen zweifelhaften Stücken befinden sich alle antiken Befestigungsschrauben an Gegenständen des Kunsthandwerks. In diesem Bereich wurde die technische Neuerung zuerst eingeführt. An Maschinen, Fahrzeugen oder anderen Objekten konnten bisher keine Befestigungsschrauben mit Muttergewinden beobachtet werden. Die vorliegenden Muttergewinde aus dem 1. und 5. Jahrhundert lassen sich nicht mit den Innengewinden moderner Prägung vergleichen. Nach Ausweis der Schriftquellen und des geringen archäologischen Materials sind Befestigungsschrauben mit den Vorformen echter Innengewinde frühestens im 4. Jahrhundert entstanden. Aus technischen und historischen Ursachen konnte die Entwicklung der Metallschrauben in der Spätantike nicht fortgeführt werden²¹. Im Mittelalter ging die Kenntnis der Schraube vollständig verloren, so daß die Weiterentwicklung der Befestigungsschrauben der Neuzeit vorbehalten blieb. Die eiserne Schraubenmutter aus dem Bereich des römischen Lagers von Niederbieber ist ein charakteristisches Beispiel für diese erneute Entwicklung der Schrauben.

Abbildungsnachweis

2 RGZM (T 71/1466). – 3 nach Technikgeschichte 36, 1969, 163 ff.
Abb. 2; 5; 6. – 4 RGZM (T 82/1032) u. nach Mainzer Zeitschr. 24–25, 1929–1930, 51 Abb. 5.

¹⁹ MUTZ a. a. O. (Anm. 14) 161 ff.

²⁰ z. B. MÖTEFINDT a. a. O. (Anm. 1) 151 ff. Abb. 11,4; 15; 17; DERS. a. a. O. (Anm. 4) 201 Abb. 4.

²¹ Die theoretische Kenntnis der Gewindeverbindungen war vorhanden, es mangelte an der technischen Umsetzung. Geschnittene Innengewinde kommen an keinem antiken Fundstück aus Metall vor. Hölzerne Schrauben und Schraubenmutter haben mit größerer Wahrscheinlichkeit existiert und sind auch schriftlich bezeugt, RE Suppl. VI (1935) 657; CH. SINGER u. a., A History of Technology 2 (1956) 631 f. Abb. 572. Bisher wurden weder römische Gewindeschneider noch Schraubenschlüssel oder Schraubenzieher ausgegraben.