

Zahn um Zahn

WIE HABEN DIE UHRMACHER FRÜHER IHRE ZAHNRÄDER GESCHNITTEN? DER BEITRAG ERKLÄRT AM BEISPIEL EINER ZAHNRAD-SCHNEIDEMASCHINE MIT TEILUNGSSCHEIBE VON JOHANN LEONHARD SCHÜTZE, AUGSBURG 1792, DIE FUNKTION UND BELEUCHTET DEN TECHNIKGESCHICHTLICHEN HINTERGRUND.

Roland Schewe

1 Die Nürnberger Stunden-zählung mit 16 Stunden, allgemein auch die »Nürnberger Uhr« genannt, unterschied wie in der antiken Stunden-zählung genau zwischen Tag- und Nachtstunden und richtete sich nach den natürlichen, beweglichen Anfängen des Sonnenaufgangs und des Sonnenuntergangs. Dieses System der Stunden-zählung war auch in benachbarten Städten, wie Rothenburg o. d. T., Schwabach oder Regensburg, ausgebildet.

2 Der Hofuhrmacher Gustav Speckhart, der diese Turmuhr restaurierte und Anfang der 80er Jahre des 19. Jahrhunderts im »Allgemeinen Journal der Uhrmacherkunst« veröffentlichte, datiert die Uhr auf das Jahr 1392, u.a. weil im gleichen Jahr die große Schlagglocke »Benedicta« und ein 120 Pfund schwerer Schlaghammer auf dem Turme von St. Sebald angebracht wurden. Auch Claudius Saunier, ehemaliger Direktor der Uhrmacherschule zu Mâcon, entschied sich in seiner Publikation (Die Geschichte der Zeitmesskunst von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart, Bautzen 1903, S. 235 ff.) für diese frühe Datierung. Aus verschiedenen überlieferten Quellen wird deutlich, daß die Aufstellung von Turmuhren vor 1400 durchaus keine Seltenheit war.

Selbst im Zeitalter der Atomuhr, die quasi das absolute Zeitnormal bietet und in unserer zunehmend von Funkuhren und digitalen Flüssigkristallanzeigen geprägten Phase der Zeitmessung kann der Uhrmacher bei der analogen Zeitanzeige - mit Zifferblatt und Zeiger - auf ein wesentliches Konstruktionselement nicht verzichten: das Zahnrad. Trotz unsicherer Forschungslage ist anzunehmen, daß gegenüber den schon seit Jahrhunderten überlieferten elementaren Zeitmessern wie Sonnen-, Wasser- und Feueruhren, die ersten Räderuhren mit Hemmung erst um 1320 in Erscheinung traten und als eiserne Turmuhren Verwendung fanden. Ein entsprechendes Beispiel besitzt das Germanische Nationalmuseum mit einer eisernen Türmeruhr mit 16-Stunden-Zählung und Stundenschlag vom Anfang des 15. Jahrhunderts,¹ die im 19. Jh. im Nordturm der Nürnberger Hauptkirche St. Sebald aufgefunden wurde (siehe letzte Seite des Artikels), und heute unter der Inv.Nr. WI 999 in der Schausammlung zu sehen ist.² Das außerordentlich große Interesse der Städte an der neu entwickelten Räderuhr führte ab der Mitte des 14. Jahrhunderts zu einer ganz Europa umfassenden Beschaffungswelle. Bereits um 1400 befanden sich in allen größeren Städten Uhren, bis 1500 auch in den Kleinstädten.³

Für die Formgebung der Zähne von Zahnradern früher Räderuhren standen vermutlich keine anderen



Alle Abbildungen: Jürgen Musolf, Germanisches Nationalmuseum Nürnberg

3 Igor A. Jenzen: Uhrzei-
ten. Die Geschichte der
Uhr und ihres Gebrauchs.
Katalog, Historisches
Museum Frankfurt, Frank-
furt a. M. 1989, S. 52.

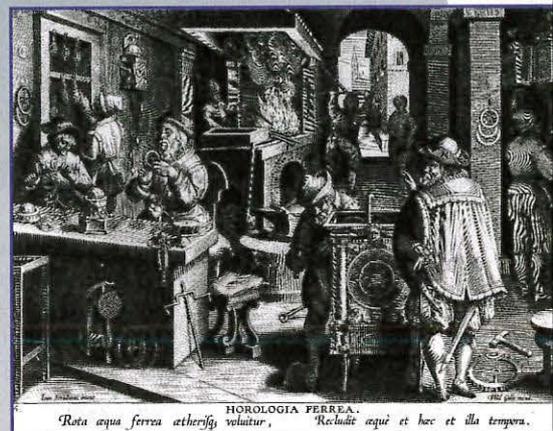
4 Klaus Maurice: Von
Uhren und Automaten.
Das Messen der Zeit. Bi-
bliothek des Germani-
schen Nationalmuseums
Nürnberg zur Deutschen
Kunst- und Kulturge-
schichte, hrsg. v. Ludwig
Grote, Bd. 29, München
1968, S. 28.

Hilfsmittel als Zirkel oder Schablone,
Feile und Säge zur Verfügung. Sorg-
falt, Geschicklichkeit und Erfahrung
der traditionellen Metallhandwerker,
wie Schlosser und Schmiede, bestimm-
ten das Gelingen der Arbeit. So ist bei-
spielsweise das 1509 angefertigte
»Männleinlaufen« an der Nürnberger
Frauenkirche eine Arbeit des Schlos-
sers Hans Heus und des Kupfer-
schmiedes Sebastian Lindenast.⁴ Eine
genaue Vorstellung von der Ausstat-
tung und Arbeitsweise einer Uhrma-

cherwerkstatt Ende des 16. Jahrhun-
derts vermittelt ein nach Jan van der
Straet gestochener und überlieferter
Kupferstich.⁵ Detailgenau illustriert er
das Feilen und Prüfen eines Zahnra-
des, das Zurichten einer »Horologia
Ferrea« (Eisernen Uhr), das Justieren
von Gewichten oder das in der Esse
lodernde Schmiedefeuer.

Erst mit der zunehmenden Diffe-
renzierung der Handwerke konstitu-
ierte sich in verschiedenen kunsthand-
werklichen Zentren des Reiches nach

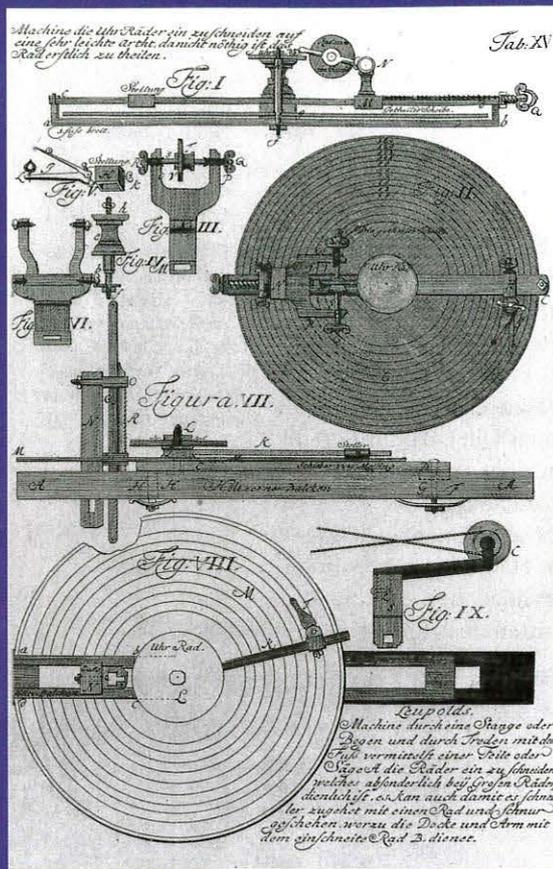
5 Kupferstich »Horolo-
gia Ferrea«, Jan van der
Straet, Stecher Hans
Collaert, Antwerpen, nach
1586, 20,3 x 26,7 cm. Ger-
manisches Nationalmuse-
um Nürnberg, Graphische
Sammlung, Inv. Nr. HB
2277, Kapsel 1225.



HOROLOGIA FERREA.
Rota aqua ferrea aetherisq; voluitur, Recluit aq; et hec et illa tempora.

Blick in eine Uhr-
macherwerkstatt.
Kupferstich
»Horologia
Ferrea«, Jan van
der Straet, Stecher
Hans Collaert,
Antwerpen, nach
1586

Zahnrad-Schneid-
maschine mit
Teilungsscheibe
zum Einteilen und
Schneiden von
Zahnradern.
Johann Leonhard
Schütze, Augsburg,
1792



Radierung einer Zahnrad-Schneidmaschine. In: Jacob Leupold: *Theatrum Maschinarum Generale*. Leipzig, 1724, Tafel XV

6 Für die Stadt Augsburg ist mit dem Jahr 1441 die erste Aufnahme eines Uhrmachers im frühesten Zunftbuch der Schmiede verbürgt. Stadtarchiv Augsburg, Zunftbuch der Schmiede von 1442, f 20 v. Vergleichbar mit anderen Städten blieb in Augsburg bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts das Handwerk der Uhrmacher, wie auch der Schlosser, Büchsenmacher, Ring- und Windenmacher, der Schmiedezunft einverleibt.

7 Stadtarchiv Augsburg, Ratsprotokolle, 10.12.1558, f 93 v. Zit. nach Maximilian Bobinger: *Kunstuhnmacher in Alt-Augsburg*, Augsburg 1969, Anm. 27, S. 16.

8 Eva Groiss: *Das Augsburger Uhrmacherhandwerk*. In: Klaus Maurice, Otto Mayr: *Die Welt als Uhr*. Deutsche Uhren und Automaten 1550-1650. Katalog, Bayerisches Nationalmuseum München, München/Berlin 1980, zit. nach S. 70.

der Mitte des 16. Jahrhunderts eine eigene Zunft der Uhrmacher.⁶ So erhielten in Augsburg die Uhrmacher, getrennt nach Groß- und Kleinuhrmachern, im Jahr 1558 innerhalb der Schmiedezunft eine eigene Ordnung. Die spätere Verselbständigung und Loslösung der Kleinuhrmacher als eigener Berufsstand war u.a. durch die zunehmende Miniaturisierung der Uhren beeinflusst. Während das vergleichsweise einfache Meisterstück der Augsburger Großuhrmacher in der Herstellung eines verzinnten Uhrwerks, »jede Viertelstunde schlagend, mit Sonne und Mond durch die zwölf Zeichen laufend«⁷, über Jahrhunderte gleich blieb, wurden die von den Kleinuhrmachern anzufertigenden zwei Meisterstücke: »Eine Uhr, eine Spanne hoch [ca. 20 cm; Anm. d. Verf.], ohne Gewichte, soll jede Viertelstunde schlagen. Das Astrolabium soll mitlaufen. Ein flaches Uhrlein oder Äpflein mit dem Mondschein; der Mondschein soll mit dem Zeiger gehen«,⁸ ab 1577 noch deutlich erschwert. In diesem Jahr forderten die Geschaumeister der Uhrmacher die Einführung fünf neuer, archivalisch genau beschriebener Meisterstücke sowie einer obligatori-

schen Halsuhr, mit der Begründung, die Konstruktion der alten Meisterstücke sei durch Abzeichnen und Pausen so erleichtert, daß »es durchaus kein kunst mehr« sei, die alten Aufgaben nach Abschluß der Lehre fertigzustellen.⁹ Über 155 Jahre galt diese Forderung.

Den neuen Aufgaben entsprechend wurden im Umfeld der Uhrmacher, durch die sich im Laufe der Zeit allmählich auf die Herstellung von einzelnen Bestandteilen spezialisierenden Handwerker, spezielle Werkzeuge und Maschinen konstruiert, die jene Präzision der Arbeit ermöglichten, die bei der Uhrenherstellung notwendig geworden war: u.a. Gewindegewinde, Urmacherdrehstühle, Hilfseinrichtungen zum genauen Feilen der Triebe, Schneidemaschinen zum Herstellen bzw. Einteilen der Zahnräder. Die älteste erhaltene Teilungsscheibe befindet sich im Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon in Dresden. Sie wurde vermutlich 1564 von Eberhard Baldewin für Kurfürst August I. von Sachsen angefertigt. Durch das gewachsene Ansehen, das die Uhrmacherei infolge ihrer Prestigeobjekte und aufgrund ihrer Rolle als Schlüsseltechnologie errang, entstanden im 18. Jahrhundert lehrbuchartige Abhandlungen zur Uhrmacherei, wie dem 1717 in Paris herausgegebenen und immer wieder erweiterten Werk »Règle artificielle du temps« von Henry Sully, das von Antoine Charles, Lemgo 1754, ins Deutsche übersetzt wurde. Eine Zusammenfassung des um 1800 erlangten Gesamtwissens auf dem Gebiet der Uhrentechnik, unter besonderer Berücksichtigung der englischen und französischen Quellen, findet sich in einem zehnbändigen Werk, das J.G. Geißler 1793-1799 in Leipzig unter dem Titel »Der Uhrmacher, oder Lehrbegriff der Uhrmacherei« publizierte. Vergleichsweise spät zeichnet sich hingegen die wissenschaftlich-mathematische Auseinandersetzung zur Herstellung und Be-

9 Stadtarchiv Augsburg, Handwerksakten Schmiede II, 5.12.1577. Zit. nach Bobinger, a.a.O., S. 66, 67.

10 Phillipe de la Hire: *Traité des épicycloïdes*. In: *Memoires de l'Académie Royale des Sciences*. Paris 1730.

11 Ch. E. Chamus: *Sur la figure des dents des roues et des ailes des pignons pour rendre les horloges plus parfaites*. In: *Memoires de l'Académie des Sciences*. Paris 1733.

12 Nicolas Bion: *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique*. Paris 1709. Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Bibliothek, Inv. Nr. 4° Dep. Nw. 2233 b.

13 Jacob Leupold: *Theatrum Maschinarum Generale*. Leipzig 1724, Tafel XV. Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Bibliothek, Inv.Nr. 4° V. 485 a.

14 Ebenda, S. 53 f., Cap. V. von Rädern und Getriebe. Tab XV., § 93.

15 Nicolas Bion: *Mathematische Werck-Schule*. Frankfurt, Leipzig und Nürnberg 1712, S. 100-103. „Von der Zubereitung einer Theil-Scheiben / mit welcher man die Zähne der Uhr-Räder theilen und einschneiden kann“, Tab. X. Germanisches Nationalmu-

rechnung der Zahnräder in der technologischen Literatur ab. Phillipe de la Hire (1640-1718), seit 1678 Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Paris, legte 1694 eine Abhandlung über die Epizykloiden mit einer systematischen Untersuchung von Rollkurven für Zahnflanken und theoretisch richtigen Zahnformen vor.¹⁰ Den Uhrenzahnradern im Besonderen widmete sich Ch. E. Camus (1699-1768), der in seiner 1733 vorgelegten Abhandlung eine Verzahnung mit geraden Fußflanken und epizykloiden Kopfflanken beschreibt und das Verzahnungsgesetz formuliert.¹¹

Eine erste Beschreibung und Abbildung einer Maschine zum Einteilen und Schneiden von Zahnrädern legte wahrscheinlich der französische Mathematiker Nicolas Bion (1652-1733) 1709 vor.¹² Das 1724 in Leipzig erschienene »Theatrum Maschinarum Generale« von Jacob Leupold zeigt die Abbildung einer »Maschine die Uhr-Räder einzuschneiden auf eine sehr leichte Arth, da nicht nöthig ist das Rad erstlich zu theilen« ab.¹³ Es handelt sich hierbei um die von Bion entworfene Maschine, die Leupold etwas veränderte. Im der Abbildung zugehörigen Kapitel »Von Abtheilung und Einschneiden der Zähne durch Maschinen« nennt Leupold die Quelle: »Die Maschine hat Bion in der Mathematischen Werck-Schule, nach der Teutschen zu Nürnberg gedruckten Edition pag. 100. Tab. X. Fig. A beschrieben, so aber hier in etwas geändert worden.«¹⁴ Vermutlich benutzte Leupold die Nürnberger Edition von 1712.¹⁵

Mit den zum Teilen und Schneiden der Zahnräder zu Verfügung stehenden Geräten, konnten nun Zahnräder mit gleichmäßiger Teilung hergestellt werden, womit eine Grundbedingung für die Herstellung genauer Zahnräder und einer verbesserten Ganggenauigkeit erfüllt war. Die Ganggenauigkeit von Uhren ist jedoch keine Größe per se, sondern sie definiert sich aus dem Vergleich mit anderen Zeitgebern. Bis zum 18. Jahrhundert richtete sich die gesellschaftliche Zeit-

norm nach den mehrfach wiederholt reparierten öffentlichen Turmuhren mit ihrem ungleichmäßigen Lauf. Auch nach der gegen Ende des 17. Jahrhunderts erfolgten Erfindung des Pendels als Gangregler wurden die öffentlichen Turmuhren immer noch, sofern die Sonne schien, nach Sonnenuhren mit relativ grober Zeitangabe gestellt. Trotzdem bildeten sie für das städtische Leben den einzig relevanten Zeitstandard. Deshalb spielte die Ganggenauigkeit bei privaten (nicht astronomischen) Uhren zwar keine untergeordnete Rolle, war aber auch nicht von primärer Bedeutung. Was hätte es für einen Sinn gemacht, Uhren für den privaten Gebrauch zu bauen, deren Ganggenauigkeit größer als die der öffentlichen Uhren gewesen wäre.¹⁶ Man hätte sie ohnehin täglich nach den öffentlichen Zeitgebern stellen müssen, nach denen sich das städtische Leben und das seiner Bürger richtete. Was die Zahnrad-Schneidmaschinen mit Teilungsscheiben nicht gewährleisten konnten, war die Fertigung der genauen Zahnform respektive des Zahnprofiles. Die Räder wurden nämlich mit der Maschine zunächst nur »eingeschnitten«; es wurden ausschließlich kleine Schlitzte gefräst. Der bisherige Arbeitsprozeß, das Auftragen der Teilung mit Zirkel oder Schablone und das Einsägen und/oder Einfeilen der Zahnlücken, konnte seit der Einführung von Räderschneidmaschinen mit Teilungsscheiben nun leichter und genauer ausgeführt werden. Die endgültige Fertigstellung des Zahnprofils erfolgte hingegen nach bisheriger Tradition auch weiterhin freihändig, durch Augenmaß und Feilen. Erst später wurden Vorrichtungen und Maschinen entwickelt, mit denen die Zähne mittels Formfeilen bearbeitet wurden. Ab etwa 1830 wurden in der Schweiz sogenannte Arrondiermaschinen verwendet, bei denen vielzahnige und scheibenförmige Formfräser die endgültige Form der Radzähne bestimmten. Etwa ab der Mitte des 19. Jahrhunderts, im Zuge der fortschreitenden Industrialisierung, wurde es in

16 Grundsätzlich muß bei der Beurteilung der angestrebten Ganggenauigkeit zwischen Privatuhren, die einem öffentlichen Zeitraster unterlagen, und den wissenschaftlichen, astronomischen Uhren unterschieden werden, die sich nach der astronomischen Zeitnorm richteten; deren Ganggenauigkeit konnte nicht hoch genug sein. Weder die Konstrukteure und Hersteller noch Käufer und Auftraggeber der beiden Uhrengattungen waren identisch.

17 Andere vergleichbare Räderschneidmaschinen sind beispielsweise die von Johann Melchior Wetschgi, Augsburg, um 1710-20 (Mainfränkisches Museum, Würzburg) und von Caspar Schultz, Hamburg, 1713 (Württembergisches Landesmuseum, Stuttgart) oder nochmals von Johann Melchior Wetschgi, Augsburg, um 1720 (Maximilians-Museum, Augsburg).

Turmuhren mit Stundenschlag und 16-Stunden-Zählung, Nürnberg, Anfang 15. Jahrhundert. Diese Turmuhr rief den Turmwächter der Nürnberger Hauptkirche St. Sebald zur Pflicht, mittels eines 120 Pfund schweren Schlaghammers auf der großen Schlagglocke »Benedicta« die jeweiligen Stunden anzuschlagen.

vielen Uhrenfabrikationen üblich, die Räder paketweise in mehreren Arbeitsschritten bis zur endgültigen Form zu sägen und zu fräsen.

Die vorliegende Zahnrad-Schneidmaschine wurde zusammen mit einem Konvolut von Werkzeugen und anderen Hilfsmitteln vom Germanischen Nationalmuseum erworben. Neben Einzelwerkzeugen fanden sich auch ein Zapfenpolierstuhl zum Nachformen und Polieren eingelaufener Rad- und Unruhzapfen, ein Spitzendrehstuhl, ein Poliergerät zum Kürzen und Polieren der Schrauben, eine Räderwärmemaschine zum Nachfräsen der Zahnkränze und als frühestes datiertes Instrument besagte Zahnrad-Schneidmaschine mit Teilungsscheibe für den Uhrmacher. Diese Maschine, 1792 von Johann Leonhard Schütze in Augsburg angefertigt, besteht aus Messing und Eisen/Stahl. Sie hat eine Höhe von etwa 17 cm und eine Breite von 22 cm. Zugunsten einer überwiegend sachlichen Gestaltung wurde auf den mitunter vorhandenen gravierten Dekor, insbesondere der Fräserwellenhalter, verzichtet. Das Instrument setzt sich zusammen aus der Wange, dem darauf sitzenden Schlitten mit einem drehbar gelagerten Fräserhalter, der Fräserwelle und der im Durchmesser 21,6 cm großen Indexscheibe (Teilungsscheibe) mit 32 radialen Lochkreisen, zwischen denen die zur Verfügung stehenden Zähnezahlen eingraviert sind.¹⁷ Für den eigentlichen Arbeitsvorgang wird der Block der Maschine derart in den Schraubstock gespannt, daß die große durchbrochene Flügelschraube zum Uhrmacher zeigt. Eine rund abgedrehte Radscheibe, das spätere Zahnrad, wird auf die zentrale Welle aufgesetzt und mit einer Vierkantsmutter montiert. Danach wird der nach dem Teilkreisdurchmesser und der für die Zähnezahl errechneten Teilungsweite bestimmte

Fräser auf die Fräserwelle aufgeschoben und befestigt. Die Antriebsschnur wird über die Schnurrolle gelegt und der Fräserwellenhalter bis zur Waagerechten heruntergedreht und fixiert. Die gewünschte Zähnezahl wird über den Indexhebel und seinen nach unten gerichteten Dorn eingestellt. Dabei wird der Dorn auf eine mit einem Spitzfräser eingebrachte Punktierung der Indexscheibe gesetzt und nach dem ersten Fräsvorgang um einen oder mehrere Punkte weiter versetzt, so daß die Radscheibe sich Zahn um Zahn weiterdreht. Während des Fräsvorganges wird der über die Schnurrolle in schnelle Drehung versetzte Fräser mit Hilfe der großen rückwärtigen, durchbrochenen Flügelschraube gegen die Radscheibe geschoben. Der Antrieb selbst erfolgt über ein Vorgelege durch ein mit dem Fuß angetriebenes Schwungrad. Wurde die erste Teilung, die Zahnücke, herausgefräst, mußte die Stellung der Flügelschraube beachtet und zurückgedreht werden, um den Indexhebel bei der Drehung der Indexscheibe auf die nächste gewünschte Punktierung zu setzen.

Als kultur- und technikgeschichtliches Zeugnis steht die Zahnrad-Schneidmaschine am Ende einer Entwicklung, die von den ausschließlich mit der Hand und nach Erfahrung gefertigten Zahnradern der frühen Räderuhren durch die traditionellen Metallhandwerker, über die zunehmende Spezialisierung der Kleinuhrmacher und Miniaturisierung der Uhren bis zur mathematischen Formulierung des Verzahnungsgesetzes reicht. Gut eine Generation nach der Herstellung dieser Zahnradfräsmaschine wird die manuelle Arbeitsweise durch industrielle Fertigungsverfahren abgelöst, die ihrerseits durch niedrige Produktionskosten die Verbreitung von Uhren begünstigten. Heute, und das machen die überwiegend manuell gefertigten Räderuhren mit ihren Zahnradern deutlich, scheint die mechanische Uhr wieder das zu werden, was sie schon einmal war, ein Prestigeobjekt und Sammlerstück.

Roland Schewe ist studierter Kunsthistoriker und gelernter Restaurator im Germanischen Nationalmuseum Nürnberg.

