

# Die Theorie in der Uhrmacherei

Vortrag des Herrn Prof. L. Strasser, Direktor der Deutschen Uhrmacherschule in Glashütte,  
gehalten am vierten Bundestage des Deutschen Uhrmacher-Bundes zu Berlin

Von der Leitung des Deutschen Uhrmacher-Bundes ist mir der ehrenvolle Auftrag zuteil geworden, zum Uhrmacher-Bundestage einen Vortrag zu halten, und es wurde dabei der Wunsch zum Ausdruck gebracht, daß ich über die Theorie in der Uhrmacherei sprechen sollte. Diesem Wunsche will ich gern nachkommen; jedoch bitte ich, mir gestatten zu wollen, von dieser Richtschnur auch etwas abzuweichen zu dürfen, wenn dies im Interesse des besseren Verständnisses für meine Ausführungen liegen sollte.

Es darf wohl behauptet werden, daß in keinem Gewerbe so sehr wie in der Uhrmacherei im allgemeinen die Meinung vertreten ist, daß Theorie und Praxis wenig miteinander übereinstimmen und daß theoretische Kenntnisse in der eigentlichen Praxis, namentlich in der Reparatur, von verhältnismäßig geringem Werte seien. Man findet es zwar für nötig, daß ein Uhrmacher, der in seinem Fache auf der Höhe stehen will, auch »etwas« von der Theorie verstehen müsse, meint aber, daß, wie bereits bemerkt, kein allzgroßer Wert darauf zu legen sei. Sie verzeihen, geehrte Herren, meine Freimütigkeit, wenn ich sogar noch einen Schritt weiter gehe: Es gibt hervorragende Praktiker in unserem Fache, die man geradezu als Künstler bezeichnen kann, die aber von der Theorie überhaupt keine Meinung haben, ja sogar verächtlich von ihr sprechen.

Wir wollen nun einmal untersuchen, ob diese Anschauung berechtigt ist und welche Ursachen dahin geführt haben. Die praktische Ausübung der Uhrmacherei stellt an den Uhrmacher sehr hohe Ansprüche; es bedarf jahrelanger erster Arbeit, bevor der Uhrmacher die Handfertigkeit und hohe Geschicklichkeit erreicht hat, die für die Ausübung seines Berufes nötig sind. In der Lehre ist in den meisten Fällen keine Gelegenheit geboten und wohl auch keine Zeit vorhanden, wirkliche theoretische Studien zu betreiben; auch fehlt es vielfach an der dazu nötigen Vorbildung. Aus diesen Gründen steht im allgemeinen das praktische Können des Uhrmachers weit über seinem theoretischen Wissen, und es kann deshalb dem Uhrmacher auch kein Vorwurf daraus gemacht werden, daß seine theoretischen Kenntnisse nicht auf derselben Höhe wie sein praktisches Können stehen.

Was so gemeinhin unter Theorie verstanden wird, ist eine Anhäufung von Regeln, die auf gewisse einzelne Fälle Anwendung finden. Wenn nun diese Regeln, die sich auf den einfachsten Grundsätzen der Mechanik aufbauen, auf schwierigere Probleme in der Uhrmacherei angewandt werden, so wird es vorkommen, daß sie entweder nur nahezu stimmen oder sogar Widersprüche ergeben, sodaß der Praktiker unwillkürlich zu der Anschauung gelangt, daß zwischen der Theorie und der Praxis wenig Übereinstimmung bestehe. Der Widerspruch löst sich jedoch sofort, wenn man sich überlegt, daß diese einfachen Regeln nicht das Wesen der Theorie ausmachen können. Die Theorie

erfordert ein eingehendes, jahrelang dauerndes Studium, ebenso wie die Aneignung des praktischen Könnens. Wer einige Kenntnisse in der elementaren Mathematik und theoretischen Mechanik besitzt, darf sich noch nicht für einen Theoretiker halten. Da dies aber leider vielfach geschehen ist, so war es unausbleiblich, daß die Theorie in der Uhrmacherei namentlich bei den hervorragenderen Praktikern in Mißkredit geraten mußte. Um die verwickelteren Probleme der Uhrmacherei theoretisch zu behandeln, dazu gehört eine in jeder Beziehung vollendete wissenschaftlich-technische Ausbildung. Ich möchte hier ein Beispiel anführen.

Es wird Ihnen noch bekannt sein, daß vor kurzem in fast allen Fachzeitschriften die Reibungsfrage behandelt wurde. Es handelte sich darum, den Reibungswiderstand zwischen zwei sich aufeinander bewegendenden Teilen zu bestimmen. Verschiedene Schriftsteller sind dabei zu ganz verschiedenen Ergebnissen gelangt. Wie läßt sich dies erklären? — Die vielleicht gewünschte »einfache« Antwort läßt sich zunächst gar nicht geben, denn die Aufgabe erweist sich als eine äußerst verwickelte, wenn man sie näher betrachtet. Der Reibungswiderstand hängt, wie wir alle wissen, zunächst von der Größe des Druckes an den einander berührenden Punkten ab. Der Druck ist von der Form und Lage der einander berührenden Teile abhängig, ist deshalb in jedem Augenblicke der Bewegung ein anderer, und somit ist auch der Reibungswiderstand in jedem Augenblicke ein anderer. Was jedoch bisher zu wenig oder gar nicht beachtet wurde, ist der Umstand, daß der Druck außerdem auch von der Art der Bewegung abhängig ist. Wenn die Teile sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen und der Druck an einer bestimmten Stelle eine bestimmte Größe hat, so ist der Druck an derselben Stelle sofort ein bedeutend größerer, wenn die Bewegung eine zunehmende, und ein bedeutend kleinerer, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung eine abnehmende ist. Da nun die Geschwindigkeit gleichförmig oder auch ungleichförmig zu- und abnehmen kann, so folgt hieraus, daß der Reibungswiderstand zwischen denselben Teilen an derselben Stelle außerordentlich verschieden sein kann.

Sie sehen also hieraus, daß man von einem Reibungswiderstand überhaupt nicht sprechen kann und daß die gestellte Frage nicht mit einigen Worten zu erledigen ist. Es erklärt sich hieraus auch, daß die verschiedenen Schriftsteller, die diese Frage behandelt haben, zu so verschiedenen Ergebnissen gelangt sind. Sie sehen also, wie vielseitig die Aufgabe ist und daß bei einer theoretischen Behandlung dieser Frage die Form, die Lage der miteinander arbeitenden Teile und die Art der Bewegung berücksichtigt werden muß, wenn die Ergebnisse der Theorie mit der Wirklichkeit übereinstimmen sollen.

Eine große Verwirrung hat bei der Reibungsfrage auch der Begriff der »eingehenden Reibung« hervorgerufen. Man ver-

stand darunter ursprünglich den Reibungswiderstand, der bei einem Räderingriffe bei der Führung vor der Mittellinie stattfand. Später hat man diesen Begriff auch auf andere Fälle ausgedehnt. Untersucht man den Einfluß der Reibung bei der Führung vor der Mittelpunktslinie genauer, so ergibt sich, daß er gar nicht so groß ist, als man gewöhnlich annimmt, daß vielmehr Fehler in der Teilung und der Zahnform sich bei der Führung vor der Mittelpunktslinie in erhöhtem Grade bemerkbar machen und daß dadurch auch der Reibungswiderstand vermehrt wird. Es ist also nicht die »eingehende Reibung« an sich, die den Widerstand bei der Führung vor der Mittelpunktslinie erhöht, sondern die Teilungs- und Formfehler sind es, die erst diese erhöhte Reibung hervorrufen. Die »eingehende Reibung« ist im Laufe der Zeit zu einem bequemen Sündenbock geworden, wenn sich infolge von Konstruktionsfehlern und Ungenauigkeiten größere Bewegungswiderstände, als man erwartete, zeigten.

Denn eben, wo Begriffe fehlen,  
Da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein.

Ich möchte nun auch einen interessanten Fall vorführen, der zeigt, daß praktische Versuche, die ohne eine wissenschaftliche Grundlage angestellt werden, zu groben Irrtümern führen können. Das Sprichwort »Probieren geht über Studieren« ist durchaus nicht in allen Fällen zutreffend. Vor einer Reihe von Jahren wurde einmal die interessante Frage eingehend behandelt, unter welchen Bedingungen die Übertragung der Kraft vom Rade zum Anker am vorteilhaftesten sei, und man glaube, diese Frage am besten durch den Versuch lösen zu können. Man fand, daß bei Sekundenpendeluhren ein bedeutend geringeres Gewicht gebraucht wurde, wenn der Anker über viele Zähne griff, sodaß z. B., wenn der Anker über  $12\frac{1}{2}$  Zähne griff, ein nur  $\frac{1}{2}$  so großes Gewicht notwendig war, als wenn man in das gleiche Werk einen über  $6\frac{1}{2}$  Zähne greifenden Anker einsetzte. Dieser Versuch ist vielfach mit dem gleichen Erfolge wiederholt worden, und man zog daraus den scheinbar berechtigten Schluß, daß die Kraftübertragung mit zunehmender Länge der Ankerarme sich immer vorteilhafter gestalte.

Der Ihnen allen bekannte französische Uhrmacher Saunier, der ein großes Werk über die Uhrmacherei herausgegeben hat, interessierte sich ebenfalls sehr für diese Frage und glaubte sie auch durch den praktischen Versuch am besten lösen zu können. Er stellte zu diesem Zwecke einen sehr gut durchdachten Apparat her, der in seinem Werke eingehend beschrieben ist, und fand nun mit Hilfe dieses Apparates auf Grund wiederholter Versuche, daß sich die Kraftübertragung mit dem Kürzerwerden der Ankerarme vorteilhafter gestalte. Es waren also auf Grund eingehender Versuche zwei einander direkt widersprechende Ergebnisse zustande gekommen. Der praktische Versuch hat in diesem Falle die Frage nicht entschieden, sondern sogar noch eine größere Verwirrung hervorgerufen, und es standen lange Zeit die beiden Ansichten einander schroff gegenüber. Ich bespreche hierzu, daß die Versuche tatsächlich mit aller Sorgfalt und wiederholt angestellt wurden und immer das gleiche widersprechende Ergebnis hatten. Was sagt nun hierzu die Theorie?

Wenn man diese Aufgabe unter der (selbstverständlichen) Berücksichtigung aller Verhältnisse behandelt, so ergibt sich, daß die Länge der Ankerarme überhaupt gar keinen Einfluß auf die vorteilhafteste Kraftübertragung hat — vorausgesetzt, daß der Hebungswinkel der gleiche bleibt —, daß vielmehr die vorteilhafteste Kraftübertragung nur von der Neigung der Hebefläche abhängt und daß die vollkommenste Kraftübertragung erreicht wird, wenn die Neigung der Hebefläche ungefähr 45 Grad beträgt.

Wie lassen sich aber nun hiermit die erwähnten schroffen Widersprüche erklären? Eine kleine Zeichnung wird Ihnen dies sofort erläutern. Sie sehen hier für den gleichen Hebungswinkel drei verschiedene Ankerarme und sehen, daß sich der Neigungswinkel der Hebefläche bei dem gleichen Hebungswinkel mit der Länge der Arme ändert. Wenn nun der

Hebungswinkel, wie bei den Sekundenpendeluhren, 1 Grad beträgt, so muß der Ankerarm sehr lang werden, bis die Neigung der Hebefläche 45 Grad erreicht. Die Versuche mit Pendeluhren haben deshalb zu dem Ergebnis geführt, daß mit dem Längerwerden der Ankerarme die Kraftübertragung vollkommener werde.

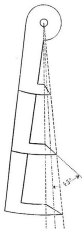
Saunier hat aber seine Versuche mit einem Anker angestellt, der nicht 1 Grad, sondern nahezu 7 Grad Hebung hatte, und der Zufall fügte es, daß bei dem kürzesten der Ankerarme seines Apparates die Neigung der Hebefläche nahezu 45 Grad betrug. Deshalb erhielt Saunier bei dem kürzesten seiner Ankerarme die vorteilhafteste Kraftübertragung. Saunier hielt dieses Ergebnis für so wichtig, daß er sogar in seinem Werke einen Lehrsatz daraus gestellt hat.

Sie sehen also, daß in dem hier betrachteten Falle nicht der sorgfältige praktische Versuch, sondern die Theorie endgültig entschieden hat. Ich könnte dieses Beispiel noch um verschiedene vermehren, will jedoch Ihre Geduld nicht zu sehr in Anspruch nehmen und zu etwas anderem übergehen.

Zu allen Zeiten war in der Uhrmacherei das Bestreben dahin gerichtet, den Gang einer Uhr möglichst gleichförmig zu machen. Die Regleure (Feinsteller), die nach vieler Mühe und auf Grund jahrelanger Erfahrung die geeigneten Wege gefunden zu haben glaubten, hielten ihr Verfahren möglichst geheim. Einheitsliche Grundsätze gab es überhaupt nicht; jeder hatte seine besondere Methode. Da entwickelte nun im Jahre 1860 der französische Ingenieur Phillips seine Theorie über die Endkurven der Spiralfeder und wies ganz allgemein nach, daß es möglich sei, den Gang einer tragbaren Uhr durch eine geeignete Form der Endkurven der Spiralfeder zu einem sehr regelmäßigen zu machen, sodaß die Uhr bei großen wie bei kleinen Umrundungswinkeln und in verschiedenen Lagen möglichst regelmäßig gehe. Es dauerte ziemlich lange, bis diese Theorie, die anfänglich überhaupt wenig beachtet wurde, sich Eingang verschaffte. Wohl erst zwanzig Jahre später konnte man wahrnehmen, daß diese Theorie anfang, Gemeingut zu werden.

Man hört heute noch oft, daß man in der Praxis zuweilen bedeutend von den durch die Theorie festgelegten Kurvenformen abweichen müsse, um einen wirklichen Erfolg zu haben. Es war mir nun in einigen Fällen, die mich besonders interessierten, möglich, die Sache zu untersuchen, und es stellte sich dabei heraus, daß die Formen, die angeblich bedeutend von den theoretischen abwichen, fast genau mit den theoretischen übereinstimmen. Es folgte hieraus unfehlbar, daß entweder die ursprüngliche Zeichnung unrichtig oder die Übertragung der Zeichnung auf die Spirale ungenau war.

Dies führt mich gleich zu einem besonders wichtigen Punkt. Um das Ergebnis einer sorgfältig entwickelten Theorie für die Praxis nutzbar zu machen, ist nötig, es durch Maß und Zahl zu übertragen. Bis vor kurzem war dies in entsprechender Weise kaum möglich, da die in der Uhrmacherei vorhandenen Meßinstrumente dazu ganz ungeeignet waren. Mit den bekannten »Tanzmeistern«, Lochmaßen und anderen sogenannten Meßwerkzeugen lassen sich theoretische Ergebnisse nicht in die Wirklichkeit übertragen. Es ist daher als ein bemerkenswerter Fortschritt zu bezeichnen, daß in neuerer Zeit die Studable, das Zehntelmaß und der Mikrometertaster, der 1 Hundertstel-Millimeter zu messen gestattet, sich immer mehr bei den Uhrmachern einführen. Nur durch Anwendung dieser Maße ist es möglich, ein theoretisches Ergebnis für die Praxis in entsprechender Weise nutzbar zu machen. Es muß deshalb auch dem Uhrgegenstandsverbände als ein Verdienst angerechnet werden, daß er bestrebt ist,



einheitliche, auf dem Metersystem beruhende Maße für die Funktionen einzuführen.

Betrachten wir die nach neueren Grundsätzen eingerichteten Uhrenfabriken, so finden wir, daß auch da das bisher übliche Zusammenprobiersystem aufgegeben worden ist und daß dort genau so wie in einer neuzeitlichen Maschinenfabrik alles nach Zeichnung und genauer Berechnung ausgeführt wird.

Vielfach ist man noch in Uhrmacherkreisen der Meinung, daß bei der Feinheit der in der Uhrmacherei vorkommenden Arbeiten es gar nicht möglich sei, ohne Zusammenprobieren auszukommen. Und doch ist dies bei geeigneten Einrichtungen möglich. Nehmen wir ein praktisches Beispiel: das Einpassen eines Zapfens in ein Steinloch. Vielfach wird der Zapfen durch Probieren eingepaßt, und man glaubt, es gehe anders gar nicht, und doch ist dies auf sicherere Weise ohne Probieren mit Hilfe der sogenannten Maßzapfen möglich. Man sucht einen Maßzapfen heraus, der genau in das Steinloch paßt, bestimmt mit Hilfe des Mikrometers seinen Durchmesser (vielfach ist dieser schon an dem Maßzapfen angegeben) und macht den anzufertigenden Zapfen, je nach seiner Größe,  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{2}$  oder  $\frac{3}{4}$  Grad des Mikrometers kleiner, so wird der auf diese Weise hergestellte Zapfen genauer passen, als es durch den Versuch festzustellen möglich ist. Bei dünnen Unruhzapfenlöchern in Präzisionsuhren kann man überhaupt nur auf diese Weise einen Zapfen richtig einpassen. Außerdem kommt man auf diesem Wege noch viel schneller zum Ziel als durch das Einprobieren. So lassen sich viele Arbeiten angeben, die mit Hilfe von Maß und Berechnung sich in kürzerer Zeit richtig ausführen lassen als mit der üblichen Probiermethode mangelhaft. — Verzeihen Sie mir diese kleine Abschweifung von meinem eigentlichen Thema.

Wenn wir die bedeutenden Fortschritte überblicken, die in der letzten Zeit an den Uhren, namentlich an den Präzisionsuhren gemacht wurden, so verdanken wir diese fast ausschließlich der Theorie. Die Anwendung der Spiralfeder-Endkurven — namentlich in neuerer Zeit der inneren Kurve, die sich gegen den Widerstand der rein praktischen Regleure eingeführt und große Erfolge beim Regulieren in den verschiedenen Lagen der Uhr gebracht hat —, ferner die Anwendung des Nickelstahles für Pendel, die auch zu Neukonstruktionen der Kompensationspendel führte, die in ihrer Wirkung den älteren Kompensationspendeln so bedeutend überlegen sind, dann die Anwendung des Nickelstahles für Chronometerunruhen nach dem System des Prof. Guillaume, bei deren Verwendung der sogenannte sekundäre Kompensationsfehler fortfällt und dadurch das Regulieren in extremen Temperaturen so bedeutend erleichtert wird und überhaupt zu genaueren Resultaten führt, die Anwendung von Nickelstahl-Spiralfedern, die in Taschenuhren die Anwendung einer Kompensationsunruh überflüssig machen, —

alle diese Errungenschaften verdanken wir der Theorie. Mancher Chronometer-Regleur, der, stolz auf seine Erfolge, geringschätzig lächelnd auf die Theorie blickt, verdankt unbewußt seine Erfolge außer seinem hervorragenden praktischen Können der Theorie.

Ich möchte nun bitten, nicht anzunehmen, daß ich ein einseitiger Lobredner der Theorie sei. Ich stehe im Gegenteil auf dem Standpunkte, daß auch die schönste Theorie keinen Wert hat, wenn es nicht ausgezeichnete Praktiker gibt, die diese Theorien mit Verständnis in die Praxis übertragen, und daß das Verdienst des Praktikers ebenso hoch zu schätzen sei. Wenn meine Ausführungen dazu beitragen sollten, den hervorragenden Praktiker zu einer besseren Würdigung der Theorie zu veranlassen, gleichwie der wirkliche Theoretiker dem Praktiker von jeher seine Schätzung zuteil werden ließ, so würde ich mich für meine kleine Mühe reichlich belohnt finden. —

Zum Schluß möchte ich auf eine vorhin an mich ergangene Anfrage hin noch auf eine Anwendung der Theorie in der Reparaturpraxis aufmerksam machen.

Man wird z. B. sehr schnell mit der Regulierung einer Pendeluhr zustande kommen, wenn man sie auf der Grundlage einer einfachen Rechnung ausführt. Man braucht hierbei nicht, wie sonst üblich, ganze Tage abzuwarten oder die Differenz auf 24 Stunden umzurechnen. Hat man in einer gewissen Zeit eine Differenz beobachtet, so braucht man nur die doppelte Differenz mit der vorher gemessenen Pendellänge zu multiplizieren und dann durch die Beobachtungszeit zu dividieren, um sofort nach Maß bestimmen zu können, um wieviel das Pendel verkürzt oder verlängert werden muß. Man hat jedoch dabei zu beobachten, daß Differenz und Beobachtungszeit durch die gleiche Zeiteinheit (gewöhnlich Minuten oder Bruchteile von Minuten) ausgedrückt werden.

Zum Beispiel: Man habe beobachtet, daß eine Uhr in 8 Stunden 3 Minuten zu spät gegangen sei, und die vorhandene Pendellänge betrage 160 mm. Die Rechnung würde dann ergeben:

$$\frac{2 \times 3 \times 160}{8 \times 60} = 2 \text{ mm,}$$

um die das Pendel verkürzt werden müßte. Die Pendellänge kann für den Zweck dieser Rechnung hinlänglich genau bestimmt werden, indem man das Maß vom Biegepunkte der Pendelfeder bis Mitte der Linse mißt.

Die gleiche Methode läßt sich auch auf die Spiralfeder anwenden, wenn man statt der Pendellänge die Spiralfederlänge einführt. Diese Länge ergibt sich sehr einfach, wenn man den inneren und den äußeren Spiralfeder-Halbmesser addiert und dann mit 3,14 und der Anzahl der Windungen multipliziert. —

Ich bin nun am Schluß meines Vortrags angelangt, und ich danke Ihnen für die Aufmerksamkeit, mit der Sie meinen Ausführungen gefolgt sind.