

**Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch,  
welches Sie hier erwerben können:  
[www.uhrenliteratur.de](http://www.uhrenliteratur.de)**

Klaus Menny

**Die Uhr  
und ihre Mechanik**  
Für Sammler  
und Liebhaber

© [www.uhrenliteratur.de](http://www.uhrenliteratur.de)

Michael Stern (Hrsg.)

## Über den Autor

Klaus Menny wurde 1930 in Potsdam geboren. Nach seinem Abitur studierte er das Fach Maschinenbau an der Berliner Technischen Universität.

Als Diplom-Ingenieur arbeitete er dann bei der Firma Voith in Heidenheim, Baden-Württemberg.

Danach lehrte er als Professor an der Fachhochschule in Hannover das Fach Maschinenbau. Sein Spezialgebiet waren die Strömungsmaschinen, über die er auch einige Bücher publizierte.

Dem Hobby „mechanische Uhren“ widmete er seine Freizeit. In diesem Rahmen übersetzte er Uhrenbücher und Fachartikel vom Englischen ins Deutsche (z. B. Penman „Alte Uhren reparieren“, Smith „Standuhren reparieren“) und schrieb dieses Uhrenbuch.

Leider blieb sein letztes Projekt – die Konstruktion und der Bau einer HolZRäderuhr – unvollendet.

Klaus Menny verstarb 2007 in Hannover.



## Inhalt

Vorwort.....	9	<b>Schlagwerke und Weckeinrichtungen</b> .....	61
<b>Zeit und Zeitmessung</b> .....	11	Übersicht.....	61
Einleitung.....	11	Schlossscheibenschlagwerke.....	62
Aufbau und Funktionsweise einer einfachen mechanischen Uhr.....	13	Rechenschlagwerke.....	65
<b>Bauteile von Uhren</b> .....	15	Viertelstundenschlagwerke.....	66
Antrieb.....	15	Melodieschlagwerke und Figurenautomaten.....	69
Zahnräder.....	21	Wecker.....	71
Lager.....	25	<b>Aufzugssysteme von Kleinuhren</b> .....	73
Werkgestell.....	29	Einleitung.....	73
<b>Gangregler</b> .....	31	Aufzug und Zeigerstellung.....	73
Pendel.....	31	Automatischer Aufzug.....	75
Unruh und Feder.....	35	<b>Reparaturen</b> .....	77
<b>Hemmungen</b> .....	39	Vorbemerkung.....	77
Zweck.....	39	Zerlegen.....	77
Rückführende Hemmungen.....	39	Reinigen.....	78
Ruhende Hemmungen.....	42	Zusammensetzen.....	79
Freie Hemmungen.....	45	Reparieren.....	80
Freie Pendelhemmungen.....	51	<b>Exkurs</b> .....	83
Tourbillons.....	52	Von der mechanischen zur elektronischen Uhr.....	83
<b>Zeiger- und Kalenderwerke</b> .....	53	<b>Begriffserklärungen</b> .....	87
Zeigerwerke.....	53	<b>Abbildungen</b> .....	89
Kalender.....	56	<b>Literaturhinweis</b> .....	105
Chronographen.....	58	<b>Abbildungsnachweis</b> .....	105
		<b>Register</b> .....	107

Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch,  
welches Sie hier erwerben können:  
[www.uhrenliteratur.de](http://www.uhrenliteratur.de)

© [www.uhrenliteratur.de](http://www.uhrenliteratur.de)

## Vorwort

*Jeder Mensch  
treibt seine Liebhabereien sehr ernsthaft,  
meistens ernsthafter  
als seine Geschäfte.  
(Goethe)*

Mechanische Uhren gibt es seit dem 13. Jahrhundert. Sie gehören damit zu den ältesten Erzeugnissen „moderner“ Technik. Der in ihnen verwirklichte Erfindungsreichtum, ihre komplizierte und sinnreiche Mechanik und nicht zuletzt ihre Schönheit haben von jeher nicht nur den Fachmann begeistert, sondern auch und gerade solche Menschen, deren berufliche Aufgaben nichts mit der Fertigung oder der Reparatur dieser Werke zu tun hatten. In unserer Zeit, da die mechanischen Uhren zunehmend von ihren elektronischen Nachfolgern verdrängt werden, hat diese Faszination eher noch zugenommen. Ja gerade dass sie beginnen, unmodern zu werden, verleiht den mechanischen Uhren einen nostalgischen Reiz.

Es gibt eine ganze Reihe guter Bücher über die Geschichte der Zeitmessung. Mit diesen Standardwerken zu wetteifern, die durch ihre aufwendigen Bildteile auch meist sehr teuer sind, ist nicht meine Absicht. Vielmehr habe ich mich bemüht, den Umfang des vorliegenden Buches durch die Beschränkung auf den technischen Aspekt bewusst knapp zu halten. Ohne auf künstlerische oder stilkundliche Fragen zur Gestaltung der Gehäuse einzugehen, habe ich versucht, die Technik mechanischer Uhren einigermaßen vollständig zu behandeln, wenn auch wirkliche Vollständigkeit bei diesem Thema kaum zu erreichen ist. Ich denke, dass es Uhrenfreunde geben wird, die gerne verstehen möchten, welche mechanischen Abläufe in Uhren vorgehen, welche Gesichtspunkte bei ihrer

Konstruktion und Fertigung beachtet worden sind und welche klugen Erfindungen gemacht wurden, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Zeitmesser zu verbessern oder auch den Komfort für den Benutzer zu erhöhen. Obgleich elektromechanische und elektronische Uhren nicht zum eigentlichen Thema gehören, ist ihnen ein kurzer Abschnitt im Anhang gewidmet worden.

Irgendwelche Vorkenntnisse werden nicht vorausgesetzt, auch keine mathematischen. Lediglich im Kapitel über die Gangregler bin ich der Versuchung erlegen, einige wenige Formeln anzugeben. Einfacher als in der Sprache der Mathematik lassen sich manche Zusammenhänge nicht beschreiben. Aus Rücksicht auf solche Leser, die allein schon durch den Anblick von Gleichungen erschreckt und abgestoßen werden, habe ich aber versucht, wo immer mir das möglich war, theoretische Berechnungen durch anschauliche Zeichnungen oder Diagramme zu ersetzen. Einige Fachbegriffe habe ich im Anhang zum raschen Nachschlagen knapp erläutert. Ich hoffe, auch auf diese Weise einen vernünftigen Kompromiss zwischen der nötigen Klarheit und der erwünschten leichten Lesbarkeit gefunden zu haben.

Herrn Uhrmachermeister Habinger in München danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts und manche guten Ratschläge.

In dieser korrigierten Auflage wurden Kleinigkeiten korrigiert und die neue deutsche Rechtschreibung verwendet.

Klaus Menny  
Ronnenberg 2002

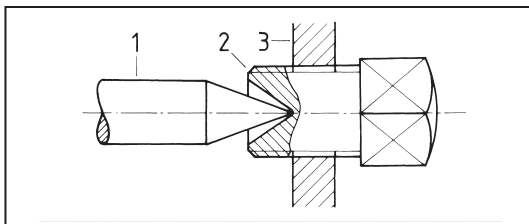
## Unruhlager

Für den zuverlässigen Gang eine Kleinuhr in den verschiedenen Lagen, wie sie beim Tragen in der Tasche oder am Handgelenk auftreten, ist die Lagerung der Unruhwelle besonders wichtig. Hier wird zusätzlich zum Lochstein ein Deckstein vorgesehen, auf dem das kugelige Ende des Zapfens läuft, um Lagerbelastungen in axialer Richtung aufzunehmen. Zur Verringerung der Lagenfehler soll die Lagerreibung auf der Zapfenflanke ähnlich klein sein wie auf dem Zapfenende. Auf der Oberseite ist der Lochstein gewölbt („Bombierung“), zwischen ihm und dem Deckstein ist ein kleiner Spalt, sodass eine Ölkammer gebildet wird, in der die Kapillarkräfte das Öl festhalten und immer zur Mitte hinziehen (Abb. 2.24, S. 27). Außerdem haben heute die Unruhlagersteine eine „Olivierung“ (Abb. 2.23d, S. 27), um die Lagerreibung zu senken.

## Stoßsicherung

Die sehr feinen Zapfen der Unruhwelle sind bei einer etwaigen Stoßbelastung besonders gefährdet. Um die Bruchfestigkeit so gut wie möglich zu erhöhen, wird der Übergang vom Wellen auf den Zapfendurchmesser elliptisch gestaltet, und zusätzlich wird oft durch eine elastisch nachgiebige Lagerung eine Stoßsicherung geschaffen, wie das bei modernen Taschen- und Armbanduhren fast immer der Fall ist.

Die bekannteste Art der Stoßsicherung ist in Abbildung 2.24 (S. 27) gezeigt. Hier werden der Loch- und der Deckstein durch eine lyraförmige Feder gehalten und zentriert, können aber bei einer Stoßbelastung nachgeben. Erfolgt der Stoß in der Längsrichtung der Welle, so federt das Steinfutter mit den beiden darin sitzenden Steinen axial aus, und die Welle setzt sich mit ihrem ebenen Absatz bei a auf die Fassung und entlastet damit Zapfen und Steine. Bei einem Stoß in radialer Richtung verschiebt sich das Steinfutter in



2.25 Spitzenlager  
1 Unruhwelle, 2 Körnerschraube, 3 Platine

der kegeligen Sitzfläche b, sodass die zylindrische Absatzfläche bei c mit der Bohrung in der Fassung zur Anlage kommt.<sup>2</sup>

In beiden Fällen sorgt die Stoßsicherungsfeder dafür, dass das Steinlager alsbald wieder in seine zentrische Lage zurückkehrt. In den Spalten zwischen der Welle und den Auflageflächen, die notwendigerweise ziemlich eng sein müssen, darf sich kein Öl oder Schmutz befinden, die den Gang der Unruh behindern würden.

## Spitzenlager

Bei vielen Weckern und anderen preiswerten Gebrauchsuhren gibt es eine ganz andere Art der Lagerung der Unruhwelle, das Spitzenlager (Abb. 2.25). Welle und Körnerschraube bestehen hier beide aus Stahl, also aus dem gleichen Material, was sonst verpönt ist. Die Auflagefläche ist aber klein, und so lange Wellenende und Lager wirklich spitz sind, ist die Reibung gering. Die Lebensdauer ist aber bei weitem nicht so groß wie bei einem guten Steinlager. Sie lässt sich aber bei diesem Lagertyp durch galvanische Überzüge oder einen Honnkörnerstein verbessern.

## Öle

Durch einen Ölfilm an den gleitenden Flächen lässt sich die Reibung bewegter Teile beträchtlich herabsetzen. Dieser erwünschte Effekt wird aber gemindert, wenn das Öl durch Oxidation mit dem Luftsauerstoff oder durch Verschmutzung mit dem allgegenwärtigen Staub seine Schmierfähigkeit einbüßt. Bei einer Großuhr reicht die Antriebskraft meist noch aus, um das Räderwerk zu bewegen, selbst wenn die Uhr seit Jahren kein frisches Öl mehr erhalten hat, was aber der Uhr im Allgemeinen nicht gut bekommt. Mit zunehmender Miniaturisierung sind die Anforderungen an die Uhrenöle immer größer geworden. Sie sollen nicht altern, keine Metall angreifenden Säuren bilden und sie sollen nicht verlaufen, sondern am Ort ihrer Aufgabe bleiben. Eine charakteristische Eigenschaft vieler Öle ist nämlich, dass sie sich auf einer Fläche unbegrenzt auszubreiten suchen. Mit einer Epilaminierung kann man dem entgegenwirken.

2 Wunderbare Animationen zur Stoßsicherung und zu vielen Uhren-Hemmungen finden Sie unter [www.uhrentechnik.de](http://www.uhrentechnik.de)!

## Dies ist ein Auszug aus einem Fachbuch, welches Sie hier erwerben können:

[www.uhrenliteratur.de](http://www.uhrenliteratur.de)

Früher wurden in Uhren Öle pflanzlicher oder tierischer Herkunft benutzt, die aus Olivenkernen, Delphinknochen oder Rinderklauen gewonnen wurden. Die heutigen Uhrenöle sind synthetischer Natur und es gibt sie je nach dem Verwendungszweck in verschiedenen Sorten. So wird in den Hemmungen der Taschen- und Armbanduhren ein anderes Öl verwendet als für die Lagerzapfen und wieder ein anderes für die Zugfedern.

... und mehrere Lagerstellen zusammengefasst sind. Bei modernen Armbanduhren wird gern eine Brücke für das Räderwerk und eine andere für den Aufzugmechanismus mit dem Federhaus und der Einrichtung zum Stellen der Zeiger vorgesehen. So ist es möglich, die Zugfeder zu ersetzen, ohne das Räderwerk zerlegen zu müssen. Fast immer hat der Anker seine eigene Brücke und die Unruh ihren Kloben.

### Werkgestell

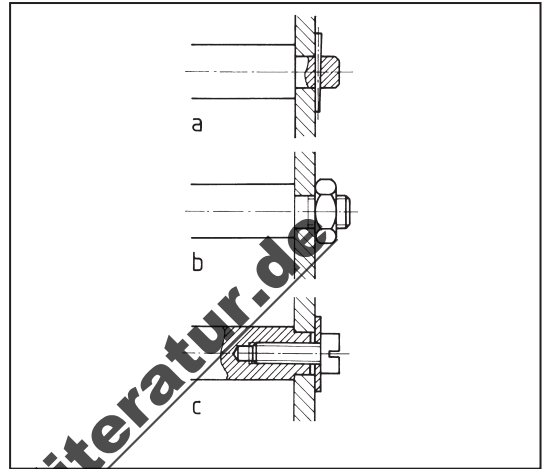
#### Großuhren

Das Werkgestell besteht in aller Regel aus zwei Werkplatten oder Platinen, die durch Pfeiler im richtigen Abstand gehalten werden, um Räderwerk, Hemmung und Federhaus unterzubringen. Mindestens eine von beiden Platinen ist demontierbar und wird durch Vorsteckstifte, Muttern oder Schrauben gehalten (Abb. 2.26). Werkteile, die gesondert gelagert werden sollen, sitzen unter Kloben oder Brücken (Abb. 2.27), oder sie sind fliegend auf einem Anrichtstift gelagert (Abb. 2.28). Ein Kloben ist einseitig und eine Brücke beidseitig auf der Platine befestigt. In beiden Fällen sorgen Passstifte für einen definierten Sitz, sodass bei einem Wiedereinbau stets die gleiche Lage gefunden wird.

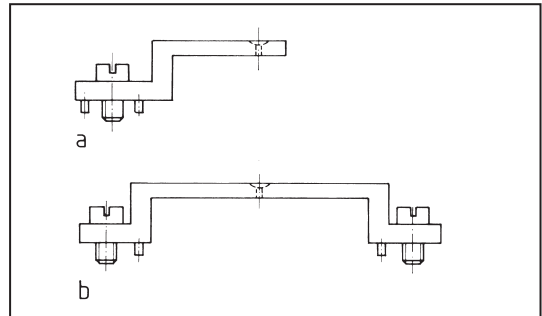
Als Material für Platinen, Kloben und Brücken kommt fast ausschließlich Messing in Frage. Nur bei alten Uhren wurde auch Eisen verwendet wie z. B. bei den Hochburgunderuhren oder aber Holz bei den älteren Schwarzwalduhren.

#### Kleinuhren

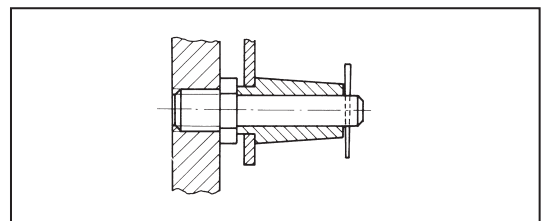
Taschenuhren hatten ursprünglich ebenfalls Werke mit zwei Platinen und Pfeilern und einem besonderen, oft kunstvoll verzierten Kloben für die Unruh. Daraus haben sich die moderneren Formen entwickelt. Die Bodenplatte auf der Zifferblattseite der Uhr ist keine einfache Platte mehr, sie hat zur platzsparenden Unterbringung der Werkteile Einfräsungen unterschiedlicher Durchmesser und Tiefen. Auf der Werkoberseite gibt es Brücken für die einzelnen Wellen des Räderwerks oder auch Halb- oder Dreiviertelplatinen,



2.26 Lösbare Befestigung der Platinen an den Pfeilern  
a) mit einem konischen Vorsteckstift,  
b) mit einer Mutter,  
c) mit Unterlegscheibe und Schraube



2.27 a) Kloben  
b) Brücke



2.28 Lagerung eines Hebels auf einem Anrichtstift

## Pendel

### Mathematisches Pendel

Ein Uhrenpendel besteht aus einem meist linsenförmigen Körper, in dem fast die ganze Masse des Pendels konzentriert ist, und aus einem Pendelstab, auf dem die Linse verschiebbar angeordnet ist, und der an seinem oberen Ende beweglich, meist mittels einer einfachen oder doppelten Blattfeder, aufgehängt ist (Abb. 3.1a). Die Form der Pendellinse ergibt sich aus der Forderung nach einem geringen Luftreibungswiderstand. Die Verschiebbarkeit ist nötig, um die Schwingungszeit regulieren zu können.

In Abbildung 3.1b ist eine ältere Form der Pendelaufhängung dargestellt. Hier ist der Pendelstab in eine Fadenschleife eingehängt, deren eines Ende mit einem Knoten gesichert ist, während das andere um eine Regulierwelle geschlungen ist. Indem diese von der Zifferblattscheiter mittels eines Vierkantschlüssels gedreht wird, lässt sich die Pendellänge zur Regulierung der Schwingungszeit einstellen.

Die Pendelschwingung kommt durch ein Wechselspiel von Gewichtskraft und Trägheitskräften zustande. Zum leichteren Verständnis wird ein abstraktes mathematisches Modell benutzt, man denkt sich die gesamte Masse  $m$  des Pendels in einem Punkt konzentriert und an einem masselosen Faden der Länge  $l$  aufgehängt (Abb. 3.2b). Eine kleine Bleikugel an einem Stück Nähfaden bildet eine gute Annäherung an das mathematische Pendel, mit der sich experimentieren lässt. Um die Ergebnisse dieses Abschnitts auf ein wirkliches Uhrenpendel anwenden zu können, setzt man  $l$  gleich der reduzierten Pendellänge, das ist die Länge eines mathematischen Pendels gleicher Schwingungsdauer. Der Punkt des Uhrenpendels, dessen Abstand vom Biegungspunkt der Aufhängung gleich der reduzierten Pendellänge ist, heißt Schwingungsmittelpunkt. Er liegt etwas oberhalb

des Linsenschwerpunktes. Als Aufhängepunkt wird bei der üblichen Federaufhängung ein Punkt angenommen, der um ein Drittel der Federlänge von deren Einspannungspunkt entfernt ist.

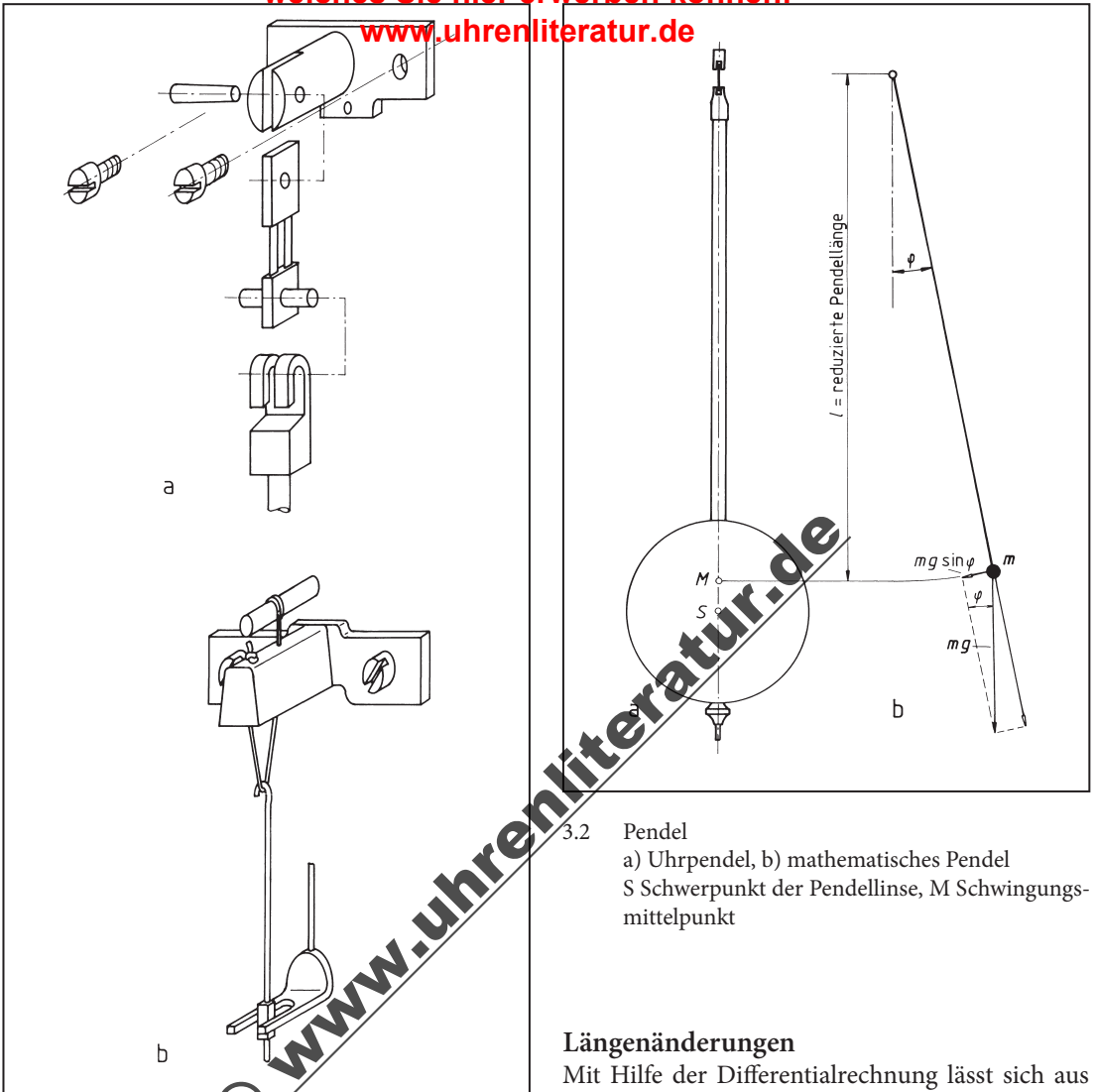
Auf die Pendelmasse wirkt die nach unten gerichtete Gewichtskraft. Diese hat in der vom Faden vorgegebenen Bewegungsrichtung eine Komponente, die ungefähr der Auslenkung, also dem Winkel  $\varphi$ , proportional ist. Dies ist zwar nur ungefähr richtig, doch wenn wir diese kleine Ungenauigkeit zunächst einmal hinnehmen, so haben wir es mit einem Vorgang zu tun, der allgemein als harmonische Schwingung bezeichnet wird, und dessen Kennzeichen das Auftreten einer Rückstellkraft ist, die zur Auslenkung aus der Gleichgewichtslage proportional ist. Das Bewegungsgesetz, das den Pendelausschlag  $\varphi$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  beschreibt, lautet unter den vorliegenden Bedingungen:

$$\varphi = \varphi_0 \cos \left( \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot t \right) \quad \text{Gl. 3}$$

Dabei ist  $\varphi_0$  der Maximalausschlag, die Amplitude der Schwingung, und  $g$  die Konstante der Erdanziehung oder Fallbeschleunigung. Die Zeit, nach der der Vorgang sich wiederholt, ergibt sich zu

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{Gl. 4}$$

Diese letzte Gleichung wird oft ohne den Faktor 2 angegeben. Das liegt daran, dass die Uhrmacher gerne mit Halbschwingungen statt Vollschnwingungen rechnen. Zu einer Vollschnwingung entsprechend einer Periode der cos-Funktion in Gleichung 3 gehört ein Ausschlagen des Pendels bis zum Umkehrpunkt, das Zurückschnwingen und Ausschlagen in die Gegen-



3.1 Pendelaufhängung:  
a) mit einem Faden,  
b) mit einer Pendelfeder

3.2 Pendel  
a) Uhrpendel, b) mathematisches Pendel  
S Schwerpunkt der Pendellinse, M Schwingungsmittelpunkt

### Längenänderungen

Mit Hilfe der Differentialrechnung lässt sich aus Gleichung 4 der Zusammenhang zwischen einer Änderung der Pendellänge  $\Delta l$  und der zugehörigen Veränderung der Schwingungszeit  $\Delta T$  berechnen

$$\Delta l = 2 l \Delta T / T \quad \text{Gl. 5}$$

richtung und schließlich nach erneuter Richtungs-  
umkehr das Rückschwingen in die Ausgangslage.

Zum Beispiel wird ein Pendel mit einer Halb-  
schwingungszeit von einer Sekunde als Sekunden-  
pendel bezeichnet. Hier ist also  $T = 2$  s, und die  
erforderliche reduzierte Pendellänge ergibt sich  
aus Gleichung 4 zu

$$l = \frac{T^2 \cdot g}{4 \pi^2} = \frac{4 \text{ s}^2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{4 \pi^2} = 0,993961 \text{ m}$$

Geht z. B. eine Uhr mit Sekundenpendel, also  
mit  $l = 0,994$  m, am Tage um 4,5 min nach, so ist

$$\Delta T / T = \frac{-4,5 \text{ min}}{24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min/h}} = -0,003125$$

und

$$\Delta l = 2 \cdot 0,994 \text{ m} \cdot (-0,003125) = -0,0062 \text{ m} = -6,2 \text{ mm}$$

Zur Korrektur ist also die Pendellinse um etwa  
6 mm höher zu setzen.

## Anisochronismus

Da die Fallbeschleunigung  $g$  für einen bestimmten Aufstellungsort konstant ist, hängt die Schwingungszeit  $T$  nach Gleichung 4 allein von der Pendellänge  $l$  ab. Sie ist insbesondere nicht von der Schwingungsweite  $\varphi_0$  abhängig und somit „isochron“, als gleich lang bleibend. Leider gilt diese erfreuliche Feststellung wegen der eingeführten Vereinfachungen nur in der Theorie, aber nicht für die reale Pendelschwingung. Der in Wahrheit vorhandene Anisochronismus hat seine Ursache aber nicht, wie man nach Gl. 5 vielleicht denken könnte, in der unrealistischen Idealisierung des mathematischen Pendels. Er liegt vielmehr an der nur ungefähr richtigen Annahme einer dem Pendelausschlag proportionalen Rückstellkraft, die in Wahrheit nur mit dem Sinus des Ausschlags anwächst (Abb. 3.2b). Dieser kleineren Rückstellkraft entsprechend wird ein Pendel mit größerem Ausschlag langsamer, die Schwingungszeit also größer. Statt der Gleichung 4 gilt

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot K$$

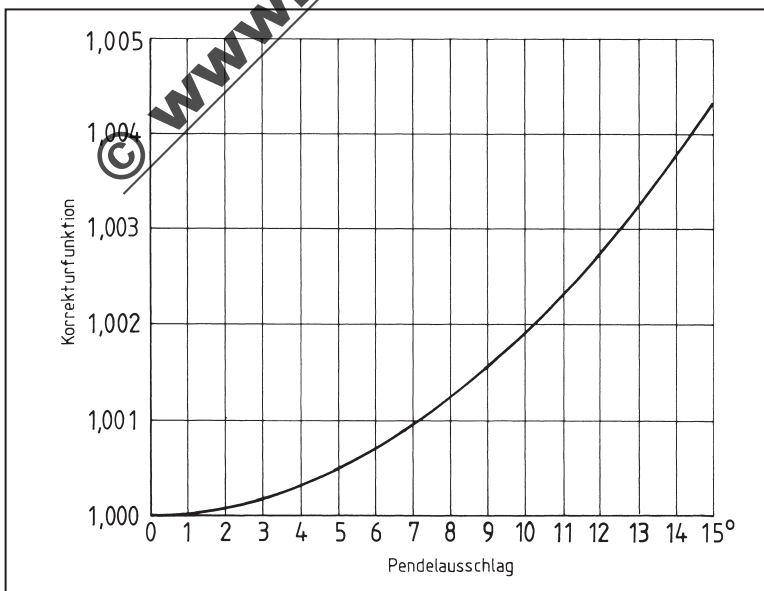
zusammen mit der Korrekturfunktion  $K$  nach der Abbildung 3.3.

Man sieht leicht, dass die Werte nur ganz geringfügig von 1 abweichen. Für Winkelausschläge

bis zu  $7^\circ$  nach beiden Seiten, und so weit schwingt kaum ein Uhrenpendel, bleiben die Abweichungen unter einem Promille. Auch würde der Anisochronismus für die Zeitmessung überhaupt keine Rolle spielen, wenn die Ausschlagweite des Pendels immer die gleiche bliebe. Das kann man aber nicht unbedingt voraussetzen, denn die Antriebskraft einer Zugfeder ist nicht konstant, Ungenauigkeiten in der Kraftübertragung des Räderwerkes sind möglich und schließlich auch allmähliche Veränderungen der Zähigkeit des Öles. Wie sich das auswirkt, macht ein kurzes Rechenbeispiel deutlich. In einer Uhr soll sich der Pendelausschlag von  $5^\circ$  auf  $4^\circ$  verringern. Der Wert der Korrekturfunktion ändert sich dann nach Abbildung 3.3 von 1,00048 auf 1,0003, also um 0,00018.

Das bedeutet, dass die Uhr nun in jeder Sekunde um 0,00018 Sekunden vorgeht und demnach in 24 Stunden um  $0,00018 \text{ Sekunden} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 = 15,5 \text{ Sekunden}$ . Also an sich ein unbedeutender Fehler, der im Alltagsleben keine Rolle spielt, sich aber in mehreren Tagen zu einer merklichen Abweichung addiert und in einer Uhr hoher Genauigkeit nicht zu tolerieren ist.

Moderne Präzisionsuhren sind so konstruiert, dass sie mit nur sehr geringen Pendelausschlägen unterhalb von  $1^\circ$  auskommen. In diesem



3.3 Korrekturfunktion