

# Auf- und Abwerke als Gangreserve-Anzeiger

Ein Beitrag zur Kinematik der Uhr

Von Georg Schindler, München

Kinematik (von Kinema = Bewegung) ist die Wissenschaft, die den räumlichen und zeitlichen Verlauf von Bewegungen der Körper erforscht.

Die Getriebekinetik hat ihrerseits die Aufgabe, den Aufbau und die Bewegungen der Mechanismen zu untersuchen. Dabei sollen die für eine bestimmte Funktion geeignetsten Getriebe gefunden werden. Die „Getriebeanalyse“ soll damit zu einer „Getriebesynthese“ hinführen.

Der Hauptzweck eines Mechanismus besteht in der Übertragung und Umwandlung einer Bewegung, wobei letztere zwangsläufig erfolgen kann. Durch dieses letztere Merkmal unterscheidet sich ein Mechanismus (Uhr) vom Gerät.

Gangreserve-Anzeiger sind Mechanismen, die den Spannungszustand (aufgespeicherte Formenergie) einer Zugfeder anzeigen sollen. Dies geschieht durch ein Anzeigewerk mit Zifferblatt und Zeiger, die entweder die aufgezogenen bzw. abgelaufenen Federumgänge registrieren oder den Zeitablauf der Gangdauer anzeigen. Letzteres ist heute die Regel.

## I. Die Verwendung von Gangreserve-Anzeigern in unseren heutigen Uhren

Zu Beginn sei die Frage gestellt: Sind Gangreserve-Anzeiger überhaupt notwendig und wo sollen Auf- und Abwerke vorhanden sein?

In gewöhnlichen Taschen- und Armbanduhren wird man mit Recht auf sie verzichten können. Sie verteuern nur das Werk, eine direkte Notwendigkeit, sie anzuwenden, besteht keinesfalls. Der Ablauf bis zum Stehenbleiben hat keinerlei Folgen, meist werden diese Uhren von ihrem Träger mehr oder minder regelmäßig alle 24 Stunden aufgezogen. Der auftretende Zugfeder- oder Isochronismusfehler wird bei der Feinstellung nicht zu berücksichtigen sein. Bei voll aufgezogener Feder wird in der Regel eine Ankeruhr vorgehen, später geht sie nach. Gangabweichungen gleichen sich somit innerhalb 24 h teilweise aus.

Für die Feinstellung sehr guter Uhren (Beobachtungsuhr, Präzisionsuhr) ist eine Gangreserve-Anzeige schon notwendig. Für die Zuverlässigkeit dieser Uhren ist es wichtig, daß sie bei vollem Aufzug den gleichen Gang haben wie bei fast abgelaufener Feder, also bei kleiner Schwingungsweite der Unruh. Beim Regulieren dieser Uhren pflegt man innerhalb 24 h 4 bis 5 Zwischenbeobachtungen zu machen, um den Zugfeder- oder Isochronismusfehler zu kennen. Eine Spannungsanzeige der Zugfeder ist für diese Zwischenbeobachtungen von Vorteil. Bei Präzisionsuhren mit längerer Gangdauer und Federantrieb bestand immer eine gewisse Notwendigkeit der Gangreserve-Anzeige, besonders wenn es sich um feine Uhren mit höchsten Anforderungen in bezug auf Ganggenauigkeit handelt. In Seechronometern sind deshalb Auf- und Abwerke unerlässlich. Bei diesen Beobachtungsuhrn darf ein Stehenbleiben aus naheliegenden Gründen auf keinen Fall erfolgen.

Uhren mit automatischem Aufzug werden heute mit Gangreserve-Anzeigern (Spannungsanzeigern) versehen. In Uhren mit Chronograf-Einrichtungen, Kalenderwerken und gegebenenfalls Mondphasen-Anzeige, die einen großen Energiebedarf haben, wird der Spannungsanzeiger geradezu zum Kontrollorgan für die nötige Spannung der Zugfeder.

## II. Kinematische Voraussetzungen

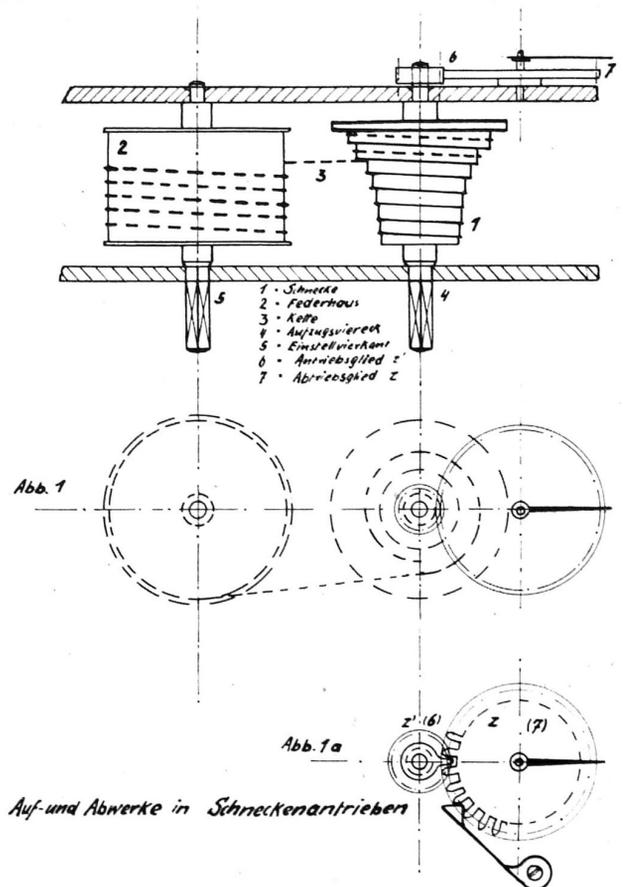
Der Zweck eines Getriebes ist stets die Übertragung von Kräften und Bewegungen. Ein Getriebe für Gangreserve-Anzeiger wird deshalb aus Bauteilen bestehen müssen, die in der Kinematik überall verwendet werden und welche die Aufgabe haben, eine zwangsläufige Bewegung zu übertragen. Unter einer zwangsläufigen Bewegung wird in der Kinematik im allgemeinen die Bewegung auf einer bestimmten Bahn, nach einer bestimmten Richtung mit Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, die für jeden Zeitpunkt bekannt sind, verstanden.

Die überall verwendeten Bauteile in der Kinematik werden als kinematische Elementepaare, kinematische Glieder und Ketten bezeichnet.

Für das richtige technische Funktionieren der hier zu betrachtenden Getriebe ist Zwangsläufigkeit eine Voraussetzung. Sie sollen das „Auf“ und „Ab“ der Federspannung anzeigen, daher die Bezeichnung „Auf- und Abwerke“.

Welche Bewegungen sollen diese Getriebe übertragen?

Jede Bewegung eines Mechanismus kann eine drehende, gleitende oder schraubende sein. Damit die Bewegung als solche



zwangsläufig erfolgt, ist es notwendig, die Bewegungsfreiheit der Bauteile zu begrenzen, das heißt, sie in geeigneter Weise so miteinander zu verbinden, daß ein kinematisches Paar (Elementepaar) entsteht.

Drei einfache kinematische Paare sind in der Technik weit verbreitet, und diese sind auch für die hier betrachteten Spannungsanzeiger-Getriebe von Bedeutung.

Es sind dies hier:

1. Das Drehpaar für die drehende Bewegung.
2. Das Schiebepaar für die hin- und hergehende Bewegung.
3. Das Schraubenpaar für die schraubende Bewegung.

Die einzelnen Glieder dieser einfachen Getriebe können formschlüssig, z. B. im Getriebepaar Schraubenmutter-Schraube, oder auch kraftschlüssig wie bei Zahnrad-Trieb miteinander verbunden sein. Mehrere kinematische Paare können zu einer kinematischen Kette verbunden sein, wobei viele Kombinationen möglich sind. Spannungsanzeiger-Getriebe werden aus kinematischen Ketten zusammengesetzt.

Damit die geforderte Zwangsläufigkeit des Spannungsanzeigers (des Auf- und Abwerks) gegeben ist, muß ein beliebiges Glied der Kette — der „Steg“, die Stütze oder ein Gestell — unbeweglich bleiben.

Weiter muß einem anderen Glied, dem Antriebsglied, durch eine äußere Kraft, z. B. eine Zugfeder, eine vorgeschriebene Bewegung (eine gleichmäßige Drehung entsprechend der Aufzugs- und Ablaufbewegung) erteilt werden. Ferner müssen die übrigen Glieder der Getriebeketten (Abtriebsglieder) eindeutig bestimmte Bewegungen ausführen.

Die geforderte Zwangsläufigkeit der Bewegungen aller Antriebs- und Abtriebsglieder der Gangreserve-Anzeiger setzt eine geschlossene kinematische Kette voraus.

Nach dieser allgemeinen kinematischen Betrachtung wird der Aufbau der Triebwerke, die für die Gangreserve-Anzeige Verwendung finden, zu betrachten sein. Man kommt somit zu einer Getriebe-Analyse, die einer Getriebe-Synthese, das heißt einer Zusammensetzung neuer Getriebebauteile immer vorangehen sollte. Jeder Konstrukteur befaßt sich heute mit derartigen Getriebe-Analysen, und sind heute unsere Armbanduhr mit Selbstaufzug oder unsere Präzisionsuhren wirklich konstruktiv schon am Ende ihrer Entwicklung angelangt? Daß neue konstruktive Lösungen für Auf- und Abwerke möglich waren, beweist die Ausführung eines derartigen Getriebes mit einer Wandermutter, wodurch das Auf- und Abwerk zu einer genial einfachen kinematischen Kette wurde. Voraussetzung hierfür ist natürlich Raum, der in unseren Uhren nicht immer zu finden ist.

Jede getriebetechnische Betrachtung des Problems wird dem Konstrukteur weiterhelfen, vorausgesetzt, daß er mit einer gewissen Systematik und Freude an der Konstruktion, an der Lösung des Problems herangeht.

### **Auf- und Abwerke, als Getriebe für Gangreserve-Anzeiger**

Das Hauptproblem bei allen Mechanismen zur Übertragung des jeweiligen Spannungszustandes einer Zugfeder auf eine Anzeigevorrichtung besteht zweifellos darin, daß zwei Drehbewegungen (die + Drehbewegung und die — Drehbewegung) der Zugfeder auf einen Zeiger übertragen werden, der diese Bewegungen zwangsläufig und mit möglichst konstanter Winkelgeschwindigkeit (also stetig und nicht ruckweise) anzeigt.

Die Bewegungsübertragung vom Federhaus zum Spannungsanzeiger kann auf verschiedene Arten erfolgen:

1. Durch kinematische Drehpaare (Räderketten), bestehend aus:

a) zwangsläufigen An- und Abtriebsrädern (Zahnradern), die als zusammengesetzte Rädergetriebe Zahnradpaaren wirken und nur von einer Seite angetrieben werden (Chronometer-Auf- und Abwerke). Derartige Mechanismen besitzen nur einen Freiheitsgrad.

b) Sternradgetriebe in Form von Rädertrieb-Schaltwerken mit absatzweiser (ruckweiser) Drehung, angewendet in alten Chronometern und in Uhren früherer Jahrhunderte.

Es handelt sich hier ebenfalls um Mechanismen mit einem Freiheitsgrad.

c) Zusammengesetzten Rädergetrieben, aus drei kinematischen Räderketten bestehend. Die von zwei Seiten angetriebenen Räder bilden durch Kraftschluß einen Mechanismus von zwei Freiheitsgraden.

d) Räderumlaufwerken (Planetenradgetrieben), die zwei Antriebsglieder besitzen und von zwei Seiten angetrieben werden.

Diese Mechanismen besitzen ebenfalls zwei Freiheitsgrade. Die Auf- und Abwerke c) und d) eignen sich nur für Uhren mit gezahntem Federhaus. (Bei Beobachtungsuhrn für die Schifffahrt.)

2. Durch kinematische Schraubenpaare, die als Schraubentriebe gleichförmige Bewegungsumwandlungen zwischen Drehung, Schraubung und Schiebung hervorrufen. Der Antrieb erfolgt auch hier von zwei Seiten und findet Anwendung in Uhren mit gezahntem Federhaus. Auch hier ist ein Mechanismus mit zwei Freiheitsgraden vorhanden.

### **1a) Auf- und Abwerke in Schneckenantrieben**

Die Abnahme der Zugfederkraft wird bei Uhren mit Federhaus und Schnecke durch Vergrößerung des Antriebshebelarms ausgeglichen, damit beim Ablauf das zu übertragende Kraftmoment möglichst konstant bleibt.

Ein derartiger Schneckenantrieb ist in unseren Seechronometern vorhanden. Hier ist die Federwelle feststehend, das Federhaus drehbar gelagert und über eine feine Gelenkkette erfolgt der Antrieb der Schnecke. Die Aufzugwelle ist fest mit der Schnecke verbunden und trägt das lose aufgesteckte Antriebsrad.

Da die Schneckenwelle beim Aufzug und beim Ablauf zwangsläufig den Drehbewegungen der Zugfeder folgt, können diese ohne weiteres mit Hilfe einer Zahnradübertragung auf einen Zeiger übertragen werden.

Für diese gleichförmige Drehungsumwandlung genügt ein einfaches Rädergetriebe, bestehend aus einem Antriebsglied (Trieb), das auf der Schneckenwelle sitzt und einem Antriebsglied (Rad mit aufgesetztem Auf- und Abwerkzeiger). Beide sind derart im Eingriff, daß das Rad mit dem Zeiger während der Gangdauer (Ablaufperiode) der Uhr etwas weniger als einen Umgang macht.

Die Winkelbewegung des Zeigers beträgt nach M. Loeske<sup>3)</sup>  $\frac{4}{5}$  oder  $\frac{5}{6}$ , selten  $\frac{17}{20}$  Umgang.

Da es sich bei diesem Mechanismus um eine Übersetzung ins Langsame handelt ( $i > 1$ ), dann gilt das Übersetzungsverhältnis worin  $n$  und  $n'$  die Anzahl der Umdrehungen von Rad und Trieb auf der Schneckenwelle und  $z$  und  $z'$  die Zahnzahlen des Ab- und Antriebsgliedes bedeuten.

$$(1) i = \frac{n'}{n} = \frac{z}{z'}$$

Nachstehendes Beispiel zeigt die Berechnung eines Auf- und Abwerks für eine Uhr mit Federhaus und Schnecke, die bei zweitägiger Gangdauer  $\frac{8}{12}$  Schneckenumdrehungen aufweist. Die Winkelbewegung des Auf- und Abwerkzeigers soll  $300^\circ$  entsprechend  $\frac{5}{6}$  des Anzeigerkreises ( $n = \frac{5}{6}$ ) betragen.

Die für das Auf- und Abwerk erforderliche Übersetzung ergibt sich nach Formel 1

$$i = \frac{n'}{n} = \frac{z}{z'} = \frac{17 \cdot 6}{2 \cdot 5} = 10,2$$

mit 10 bzw. 15 erweitert, ergeben sich folgende Rad- und Triebzahnzahlen:

$$i = \frac{102}{10} = \frac{153}{15}$$

Das Antriebsglied (Trieb auf der Schneckenwelle) hat 10 bzw. 15 Zähne und das Abtriebsglied (Rad mit aufgesetztem Auf- und Abwerkzeiger) 102 bzw. 153 Zähne.

### 1 b) Das Sternradgetriebe

ist ebenfalls geeignet für eine Spannungsanzeige-Vorrichtung in Uhren mit Schneckenantrieb. Die Drehumwandlung erfolgt

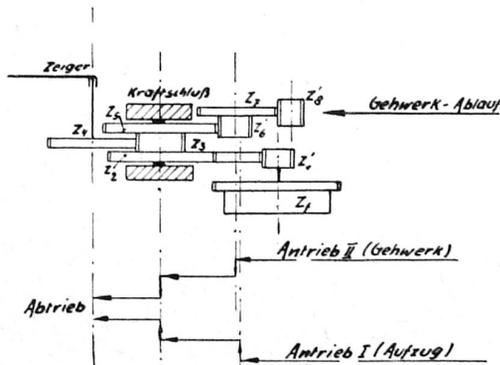


Abb. 2 Auf- und Abwerk mit zusammengesetzten Stern-Rädergetrieben

hierbei jedoch mit kurzen Beschleunigungs- und Verzögerungsperioden. Nachteilig ist das ruckweise Arbeiten des Auf- und Abwerks.

Das in Abb. 2 dargestellte Sternradgetriebe hat 4 Glieder:

1. Den Treiser  $z'$ , bestehend aus einem auf der Schneckenwelle befestigtem Transportfinger (Trieb mit der Zahnzahl 1).
2. Das Sternrad  $z$ , ein Zahnrad, das auf einem Teil des Umfangs nicht verzahnt ist, und das den Auf- und Abwerkzeiger trägt.
3. Eine Rastfeder als Halteglied für das Sternrad.
4. Ein gemeinsames Gestell (Kloben) für alle beweglichen Glieder 1 bis 3.

Die Bewegungsverhältnisse sind bei diesem Getriebe einfach. Bei jeder Umdrehung der Schneckenwelle dreht sich der Finger mit und schaltet das Sternrad um einen Zahn weiter. Der Treiber könnte hier auch aus einem Triebstock, wie er in gleicher Weise in unseren Hohltrieben vorhanden ist, bestehen.

Auch hier findet die Formel 1 für die Berechnung ihre Anwendung wie nachstehendes Beispiel zeigt:

Für das Auf- und Abwerk einer Uhr mit Federhaus und Schnecke soll das Sternradgetriebe berechnet werden. Die Uhr hat bei einer Gangdauer von 8 Tagen 16 Schneckenumdrehungen, der Schaltwinkel des Sternrades beträgt  $300^\circ = \frac{5}{6}$  des vom Zeiger bestrichenen Zifferblattumfangs. Wieviel Zähne erhält das Sternrad?

Ausgehend von der bekannten Übersetzungsgleichung berechnet sich

$$i = \frac{n'}{n} = \frac{z}{z'} = \frac{16}{5/6} = \frac{96}{5} = 19,2 : 1$$

Da der Transportfinger ein Trieb mit einem Zahn darstellt und das Sternrad nur  $\frac{5}{6}$  seines Umfangs sich dreht, sind von der Gesamtzahnzahl  $z = 23$  nur 19 zu schneiden, da beim Sternrad ein Teil des Umfangs nicht gezahnt ist.

### 1 c) Auf- und Abwerke für gezahnte Federhäuser

Da die Schneckenwelle beim Aufzug und beim Ablauf dieselben Bewegungen mitmacht, war es ohne weiteres möglich, mit Hilfe eines einfachen Rädergetriebes den jeweiligen Spannungszustand der Zugfeder anzuzeigen. Beim gezahnten Federhaus ist das unmöglich, weil zwei Bewegungen erfolgen. Die Federhauswelle führt eine Aufzugsbewegung aus, die Ablaufbewegung erfolgt über das gezahnte Federhaus selbst. Wir benötigen hier also einen Mechanismus mit 2 Freiheitsgraden (Freiheitsgraden)! Um einen Mechanismus von 2 Freiheitsgraden zu erhalten, der 2 Antriebsglieder (Antrieb I vom Federhaus und Antrieb II vom Laufwerk) aufweist, müssen 3 Räderketten gemeinsam ihre Bewegungen auf den Auf- und Abwerkzeiger übertragen.

Beim Aufziehen der Uhr erfolgt der Antrieb vom Aufzug her bzw. von der Federwelle, beim Ablauf — wenn der Aufzug stillsteht — soll ein Antrieb vom Gehwerk der Uhr möglich sein.

Das Zeigerwerk ist beispielsweise ein Mechanismus mit 2 Freiheitsgraden. Der Minutenzeiger wird vom Laufwerk bewegt, er kann dabei aber auch durch die Zeigerstellung gestellt werden. Die Viertelrohrreibung ermöglicht diese 2 Bewegungen.

Ähnlich wirkt das in Abb. 2 gezeigte Gangreserve-Anzeigergetriebe, das aus folgenden 3 kinematischen Räderketten besteht:

- I. Antriebskette, ausgehend von der Federhauswelle;
- II. Antriebskette, ausgehend vom Gehwerk;
- III. Abtriebskette ist ein Anzeige-Getriebe für den Auf- und Abwerkzeiger.

Die Sicherung des Zwangslaufes an der Eingriffsstelle des Verbindungsrades 6 erfolgt wie beim Viertelrohr durch Kraftschluß. Bei diesem wird das Eingriffsglied durch eine äußere Kraft, meist durch eine Druckfeder oder ein federndes Gestell (Kloben) gegen das Verbindungsrad gedrückt.

Die Funktion dieses Auf- und Abwerks mit zwei Freiheitsgraden ist einfach:

- a) Beim Aufziehen wirkt die Antriebskette I. Das Trieb  $z_1$  auf der Federhauswelle treibt über ein Verbindungsrad das Rad  $z_2$ , das durch Friktion mit Antriebsrad  $z_3$  das Anzeigerad  $z_4$  mitnehmen kann. Der Zeiger wandert nach links.
- b) Beim Ablauf des Gehwerks steht Antrieb I still, die zweite Antriebskette wird durch das Trieb  $z_5$  angetrieben.

Über ein Verbindungsrad mit Trieb wird Rad  $z_5$  und damit durch die Friktion wiederum das Antriebsrad  $z_3$  bewegt. Das Anzeigerad  $z_4$  dreht sich zurück und der Zeiger wandert mit.

Ein Kraftschluß, hervorgerufen durch den federnden Kloben, bremst die aufeinander gesteckten Räder  $z_2, z_3$  und  $z_5$ , wodurch der Antrieb mittels Reibung gesichert ist.

Da bei diesem kinematischen Kraftschluß die Federkraft dauernd wirkt — wenn auch in schwankender Größe — werden alle Lagerstellen eines kraftschlüssigen Rädertriebes zusätzlich belastet. Die Federkraft darf deshalb nicht zu groß sein. Der Nachteil dieses Auf- und Abwerks liegt in der Unvollkommenheit der Übertragung, hervorgerufen durch Änderung des Kraftschlusses (der Federkraft des federnden Klobens).

Die Berechnung eines derartigen Auf- und Abwerks ist diejenige einfacher Rädergetriebe, wie nachstehendes Beispiel zeigen soll:

Zu berechnen ist ein Auf- und Abwerk für eine Uhr mit 36 h Gangdauer und 4 Umgängen der Feder. Das Federhaus hat 90 Zähne, das Minutentrieb 10. Die Winkelbewegung des Auf- und Abwerkszeigers soll  $150^\circ$  entsprechend  $\frac{5}{12}$  des Umfangs des Anzeigerkreises betragen.

#### A) Antrieb I:

Die Gesamtübersetzung  $i_1$  berechnet sich zu

$$i_1 = \frac{n_1}{n_3} = \frac{z_2 \cdot z_4}{z'_1 \cdot z_3} = \frac{4}{5} = \frac{48}{5}$$

erweitert mit 96 ergeben sich folgende Räderpaare

$$\frac{z_2 \cdot z_4}{z'_1 \cdot z_3} = \frac{48 \cdot 96}{10 \cdot 48}$$

B) Antrieb II ausgehend vom Minutenradtrieb, das 36 Umdrehungen beim Ablauf macht. Wegen der zu erwartenden größeren Übersetzung muß ein Verbindungsrad und -trieb zwischengelegt werden. Die Gesamtübersetzung  $i_{II}$  ist

$$i_{II} = \frac{n_8}{n_4} = \frac{36}{5} = \frac{36 \cdot 5}{12} = 15$$

Erweitert mit 120 ergeben sich folgende Räderpaare:

$$\frac{z_7 \cdot z_5 \cdot z_4}{z'_8 \cdot z'_6 \cdot z_3} = \frac{30 \cdot 60 \cdot 96}{10 \cdot 24 \cdot 48} = 15$$

Die Antriebspartie mit dem Auf- und Abwerk kann folgende Zahnzahlen aufweisen:

Federhaus	$z_f$	=	90	Zähne
Minutentrieb	$z'_8 = z'_m$	=	10	„
Übertragungstrieb 1	$z'_1$	=	10	„
Friktionsrad	$z_2$	=	48	„
Anzeiger-Antriebsrad	$z_3$	=	48	„
Anzeigerrad	$z_4$	=	96	„
Verbindungsrad	$z_7$	=	30	„
Verbindungstrieb	$z'_6$	=	24	„
Friktionsrad	$z_5$	=	60	„

#### Umlaufrädergetriebe als Auf- und Abwerke

Durch Reibung angetriebene Gangreserve-Anzeiger werden im Laufe der Zeit ungenau anzeigen, das liegt im Wesen dieses Kraftschlusses. Zur genauen Spannungsanzeige bei gezahnten Federhäusern eignen sich die Umlaufrädergetriebe besser.

Derartige Triebwerke besitzen ebenfalls 2 voneinander verschiedene Antriebsglieder, auf die 2 Bewegungen — die Ablaufbewegung und die Aufzugsbewegung — einwirken.

Solche Umlaufrädergetriebe sind als Differentiale bei Kraftfahrzeugen seit langem verwendet worden. Steht nun beim Bewegungsablauf ein Glied still, so daß die Umlaufbewegung eines anderen Gliedes erfolgt, dann spricht man vom Planetenradtrieb (Planetenradgetriebe). Ein derartiger Mechanismus ist für die Spannungsanzeige gut brauchbar.

Bekannt ist das Auf- und Abwerk von „Stanley“, das mit gewöhnlichen Zahnrädern (Stirnrädern) ausgeführt mit der Federhauswelle und mit dem ablaufenden Räderwerk gekoppelt ist.

Dieses Planetenradgetriebe besteht aus 5 Gliedern:

1. Antriebsrad  $z_1$  als Aufzugsrad wird bewegt durch den Aufzug. Kinematisch betrachtet ist dieses Aufzugsrad zugleich das Gestell für die weiteren Getriebeglieder;
2. Antriebsrad  $z_2$ , als Ablaufrad wird es bewegt durch das ablaufende Gehwerk der Uhr;
3. Zentralrad  $z_3$ , das fest verbunden ist mit dem Antriebsrad  $z_2$  (Ablaufrad);
4. Zentralrad  $z_4$  trägt als Abtrieb den Auf- und Abwerkzeiger (Zeigerrad);
5. Umlaufrad 5 als das eigentliche Planetenrad.

Die Wirkungsweise dieses Getriebes ist folgende:

Das ausgedrehte Aufzugsrad (Rad  $z_1$ ) ist als Gestell zugleich Lager für die Zentralräder wie für das Planetenrad, die auf Anrichtstiften (a bzw. b) umlaufen können.

Beim Aufziehen der Uhr bewegt sich das Rad  $z_1$  als Aufzugsrad, das Rad  $z_2$  als Ablaufrad und damit das Zentralrad  $z_3$  sind durch das langsam ablaufende Gehwerk praktisch festgehalten. Das Planetenrad  $z_5$  wird nun im Kreis herum ablaufen und dabei das Zentralrad  $z_4$  (Zeigerrad) je Umlauf um

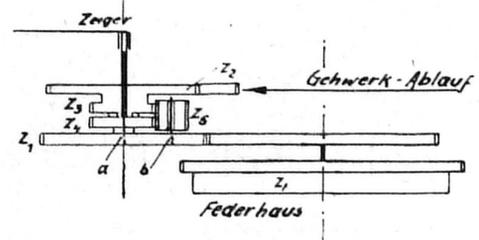


Abb.3 Auf- und Abwerk mit Umlauf-Rädergetriebe

die Differenz der Zahnzahlen von Rad  $z_3$  und  $z_4$  weiter-schalten. Der Ablauf des Gehwerks soll den Auf- und Abwerkzeiger wieder zurückdrehen. Dabei steht das Aufzugsrad  $z_1$  still, das Ablaufrad  $z_2$  dreht sich durch das ablaufende Gehwerk und damit dreht sich auch Rad  $z_3$ . Letzteres dreht das Umlauf-rad  $z_5$  in entgegengesetzter Richtung zurück, wobei das Zeiger-rad in umgekehrter Richtung zurückläuft. Durch diese Auf- und Abbewegung des Zeigerrades 4 im Umlaufräder-getriebe ist die Möglichkeit einer Spannungsanzeige gegeben.

Der Eingriffsfehler, der durch den Unterschied der Zahnzahl bei gleichem Durchmesser der Zentralräder im Eingriff mit dem Planetenrad entsteht, ist für diese Bewegungsübertragung ohne Bedeutung.

Die Berechnung eines Auf- und Abwerks mit Planetenrad-getriebe ist nicht schwer, wenn sie nach der Swampschen Regel erfolgt.

Ein nachfolgendes Beispiel soll das erläutern? In einer Uhr hat das Federhaus 80 Zähne und greift in ein Minutenradtrieb von 10 Zähnen ein. Das große Aufzugsrad soll 64 Zähne erhalten. Die Gangdauer beträgt bei 5 Federumgängen

$$t = \frac{z_f}{z'_m} \cdot n = \frac{80 \cdot 5}{10} = 40 \text{ h}$$

Der Auf- und Abwerkzeiger soll eine Winkelbewegung von  $300^\circ$ , entsprechend  $\frac{5}{6}$  des Kreisumfangs machen.

Gewählt werden für die Zentralräder folgende Zahnzahlen:

$$z_3 = 11 \text{ Zähne}$$

$$z_4 = 12 \text{ ,,}$$

Ausgehend von der Formel  $n_1 = \frac{n_4}{1-i}$  wobei  $n_1 =$  Drehzahl

des Aufzugsrades  $z_1$ ;  $i = \frac{z_3}{z_4} =$  Übersetzungsverhältnis der Zentralräder 3 und 4;  $n_4 =$  Drehzahl des Abtriebsgliedes, ergibt sich für unser Beispiel:

$n_1 = \frac{\frac{5}{6}}{1 - \frac{11}{12}} = \frac{\frac{5}{6}}{\frac{1}{12}} = 10$ . Das Aufzugsrad  $z_1$  muß also 10 Umdrehungen während des Aufzugs der 5 Federumgänge machen, um die  $\frac{5}{6}$  Drehung des Auf- und Abwerks zu bewirken.

Damit errechnen sich folgende Zahnzahlen, wenn das große Aufzugsrad  $z_A$  64 Zähne hat:

Es ist  $\frac{n_1}{n_A} = \frac{z_A}{z_1}$ . Das kleine Aufzugsrad berechnet sich daraus zu  $z_1 = \frac{z_A \cdot n_A}{n_1} = \frac{64 \cdot 5}{10} = 32$  Zähne.

Für das Planetenrad werden 12 Zähne angenommen, weil diese Zahnzahl unerheblich ist für den Eingriff und eventuell nur vom verfügbaren Raum bestimmt ist.

Die Zahnzahl des Ablaufrades berechnet sich aus folgender Überlegung: 5 Umgänge des Federhauses ( $n = 5$ ) müssen beim Ablauf der Uhr eine  $\frac{5}{6}$  Drehung ( $n_4$ ) des Auf- und Abwerkzeigers hervorrufen.

Die Gesamtübersetzung vom Federhaus (Antrieb) bis Zentralrad  $z_4$  (Abtrieb) beträgt demnach:

$$i_2 = \frac{n}{n_4} = \frac{5}{\frac{5}{6}} = 6$$

Das Ablaufrad  $z_2$  bestimmt sich aus dieser Gesamtübersetzung  $i_2$  unter Berücksichtigung eines Übertragungsrades und Triebes, weil der Ablauf des Gehwerks im Vergleich zum Aufzug sehr langsam erfolgt.

Das vom umlaufenden gezahnten Federhaus angetriebene Planetengetriebe wirkt jetzt als gewöhnliches Standardgetriebe.

Damit berechnet sich vom Getriebe aus gesehen  $i_2$  zu

$i_2 = \frac{z_F \cdot z_{\ddot{u}} \cdot z_3}{z_2 \cdot z'_{\ddot{u}} \cdot z_4}$  Die gesuchten Räder  $z_2$ ,  $z_{\ddot{u}}$  und  $z'_{\ddot{u}}$  sind aus obiger Gleichung zu berechnen.

$$\frac{z_2 \cdot z'_{\ddot{u}}}{z_{\ddot{u}}} = \frac{z_F \cdot z_3}{i_2 \cdot z_4} = \frac{44 \cdot 20}{72} = \frac{80 \cdot 11}{6 \cdot 12}$$

Werden obige Werte in die Gleichung für die Gesamtübersetzung eingesetzt, so ergibt sich

$$i_2 = \frac{z_F \cdot z_{\ddot{u}} \cdot z_3}{z_2 \cdot z'_{\ddot{u}} \cdot z_4} = \frac{80 \cdot 36 \cdot 11}{44 \cdot 10 \cdot 12} = 6$$

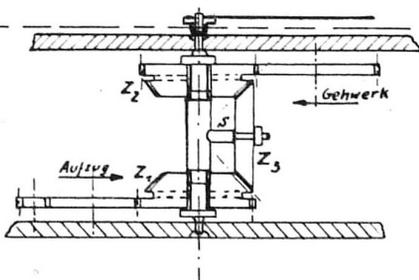


Abb 4 Gangreserve-Anzeiger mit Umlaufkegelrad

Das Auf- und Abwerk kommt damit zu folgenden Zahnzahlen:

Federhaus	$Z_F = 80$ Zähne
großes Aufzugsrad	$Z_A = 64$ ,,
kleines Aufzugsrad 1	$Z_1 = 32$ ,,
Ablaufrad 2	$Z_2 = 44$ ,,
Zentralrad 3	$Z_3 = 11$ ,,
Zentralrad 4 Zeiger-Antriebsrad	$Z_4 = 12$ ,,
Planetenrad 5	$Z_5 = 12$ ,,
Übertragungsrad Z $\ddot{u}$	$Z_{\ddot{u}} = 36$ ,,
Übertragungstrieb	$z'_{\ddot{u}} = 10$ ,,

#### Planetengetriebe mit Stegwelle zur Spannungsanzeige

Abbildung 4 zeigt ein Räderumlaufwerk mit Kegelradantrieb.

Das ebenfalls dreigliedrige Planetenradgetriebe besteht aus 2 Zentralrädern  $Z_1$ , für den Antrieb durch den Aufzug bestimmt, und  $Z_2$  von dem Ablauf des Räderwerks bewegt. Ein Umlaufrad  $Z_3$  ist vorhanden, das auf einem umlaufenden Steg sitzt.

Wird durch den Aufzug Zentralrad  $Z_1$  bewegt, dreht sich mit dem Planetenrad  $Z_3$  der Steg und damit der gegebenenfalls über ein Getriebe verbundene Auf- und Abwerkzeiger. Durch das sehr langsam ablaufende Gehwerk bleibt das Zentralrad  $Z_2$  praktisch gesperrt!

Beim Ablauf dreht sich Zentralrad  $Z_2$ , das Aufzugsrad  $Z_1$  bleibt still stehen und  $Z_3$  wird dann mit dem Steg eine rückläufige Bewegung ausführen. Im Gegensatz zu dem zuerst beschriebenen Auf- und Abwerk mit Umlaufgetriebe haben wir hier es mit einem Auf- und Abwerk zu tun, das sowohl beim Aufzug als auch beim Ablauf als Planetengetriebe arbeitet.

Die Berechnung derartiger Getriebe erfolgt ebenfalls nach der Formel 2:

Beim Aufziehen steht das Ablaufrad  $Z_2$  still. Die Drehzahl der Stegwelle berechnet sich damit zu

$$n_s = \frac{n_1}{1-i} \text{ wobei } n_1 \text{ die Drehzahl des Aufzugsrades}$$

$i = -\frac{z_2}{z_1}$ , da Drehung im entgegengesetzten Sinne ist der Quotient — zu setzen  $z_1 = z_2$  ergibt  $i = -1$ .

Damit wird  $n_s = \frac{n_1}{1-(-1)} = \frac{n_1}{2}$  Drehzahl der Stegwelle beim Aufziehen.

Beim Ablauf vollführt die Stegwelle eine Drehung im umgekehrten Sinne: Aus der Gleichung 2 wird

$$n_s = \frac{n_2}{1-\frac{1}{i}} = \frac{n_2}{1-\frac{1}{-1}} = \frac{n_2}{2}$$

Wir sehen aus den beiden Gleichungen, daß die Stegwelle durch die Übersetzung mit dem Planetenrad immer um die Hälfte der Drehung eines Zentralrades sich dreht, wenn die Zentralräder gleiche Zahnzahlen aufweisen.

Derartige Auf- und Abwerke finden noch gelegentlich Verwendung in Uhren mit viel Platz. An Stelle der Kegelräder können auch Kronenräder als Zentralräder und ein Stirnrad als Planetenrad genommen werden.

#### Auf- und Abwerke mit Wandermutter

Die Federhauswelle führt beim gezahnten Federhaus die Aufzugsbewegung aus, während das Federhaus bei stillstehender Federhauswelle im gleichen Drehsinne abläuft.

Als Ablaufanzeige-Mechanismus kommt nur der Mechanismus mit 2 Beweglichkeitsgraden in Betracht, wie bereits ausgeführt wurde.

Hierfür ist auch ein Schraubengetriebe mit Wandermutter geeignet, das die verlangten Bewegungsumwandlungen ausführen kann. Als Antrieb ist eine Drehung gegeben, diese wird mittels einer Wandermutter in eine Schiebung umgewandelt. Eine weitere Bewegungsumwandlung erfolgt dabei mittels einer Art Kurvengetriebe, das die gleichförmige Antriebsbewegung der Mutter in die vorgeschriebene Abtriebsbewegung des Auf- und Abwerkszeigers umwandelt.

Als Kurvenscheibe dient bei der Wandermutter ein Kurvenkegel. Die Sicherung des Zwangslaufes an der Eingriffsstelle erfolgt durch Kraftschluß, d. h. ein drehbarer Hebel wird als Eingriffsglied durch eine Feder gegen den Kegel der Wandermutter gedrückt.

Die Funktion dieses Auf- und Abwerks erfolgt durch die Auf- und Abbewegung der Wandermutter. Wie aus Abb. 5

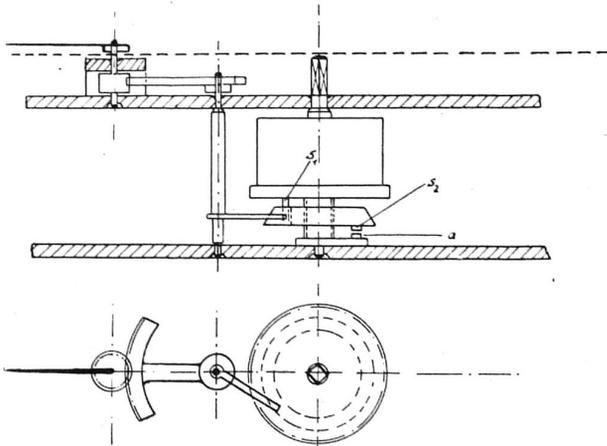


Abb. 5 Gangreserve-Anzeiger mit Wandermutter

ersichtlich ist, befindet sich am Federhaus ein Führungsstift  $s_1$ , der in die Bohrung der kegelig gedrehten Wandermutter greift.

Beim Aufzug dreht sich die Federhauswelle, mit dieser Drehung schraubt sich die Mutter hinunter bis der fest mit der Wandermutter verbundene Stift  $S_2$  gegen einen mit der Federkernwelle fest verbundenen Anschlag  $a$  läuft.

Beim Ablauf des Federhauses dreht sich durch den Führungsstift  $S_1$ , der hierbei als Mitnehmer wirkt, die Wandermutter mit. Dabei steigt die Schraubenmutter wieder auf das Federhaus zu. Die Bewegungsumwandlung der Schiebung in Drehung des Ablaufanzeigers erfolgt durch den Hebel, der federnd am Umfang des Kegels der Wandermutter liegt. Dieser Hebel dreht ein Radsegment. Die geringe Bewegung des Segments wird auf ein Trieb übersetzt, auf dessen verlängertem Zapfen der Spannungsanzeiger sitzt.

Der zurückgelegte Weg  $s$  der Wandermutter bestimmt sich aus der Gewindesteigung des normalen metrischen Gewindes (SI-Gewindeform) nach DIN 13 und DIN 14 und nach der Anzahl der Federumgänge  $n$ .

Bei einem Gewindedurchmesser von 2 mm wäre die Steigung nach DIN  $h = 0,4$  mm.

Bei 5 Federumgängen beträgt der Weg der Schraubenmutter  $s = h \cdot n = 0,4 \cdot 5 = 2$  mm ebenfalls.

Um eine ausreichend große Drehung des Radsegments zu erreichen, wird ein möglichst großer Kegel ( $\alpha = 45^\circ$ ) zu wählen sein.

Das Übersetzungsverhältnis  $i$  vom Radsegment zum Zeigertrieb berechnet sich dagegen aus dem Verhältnis

$$\frac{\text{Winkeldrehung des Zeigers} = \varphi'}{\text{Winkeldrehung des Segments} = \varphi_s}$$

Es wird somit

$$(3) \quad i = \frac{Z_s}{Z'_s} = \frac{\varphi'}{\varphi_s} \text{ sein.}$$

Die Entwicklung der Uhrentechnik hat in den letzten Jahren dem Auf- und Abwerk seine Bedeutung wiedergegeben, die es beinahe verloren hatte. Es dürfte interessieren, daß jetzt des öfteren für Armbanduhren mit Selbstaufzug Spannungsanzeiger verlangt werden.

Die für jeden Ingenieur heute so wichtige Getriebe-Kinematik wird auch dem Uhrenkonstrukteur eine Hilfe bedeuten bei der Entwicklung neuer und eventuell einfacherer Getriebe. Doch das ist durchaus nichts Neues! Altmeister C. Dietzschold schrieb bereits vor 50 Jahren im Vorwort<sup>2)</sup> zu seinem Buch „Abriß der Getriebelehre“ über die Kinematik der Uhr: „Sie wird aber auch berufen sein, die Lehre von der Uhr außerordentlich zu vereinfachen und für die Weiterentwicklung der in ihr vereinigten Getriebe und Getriebegruppen von größter Bedeutung werden.“

Die mechanische Uhr ist noch lange nicht am Ende ihrer Entwicklung, wie man einmal geglaubt hat. Das beweisen sehr viele Neukonstruktionen von Uhren mit Selbstaufzug, Zählerchronografen ohne Schaltrad mit oder ohne Datumwerk, Armbanduhren mit Kalender und Mondphasen, mit springender Sekunde u. a. m. Die Bewegungsgesetze der Mechanismen sind bei der baulichen Gestaltung der vielen Uhrengetriebe mit zu berücksichtigen. Zielstrebiges Konstruieren von neuen Getrieben verlangt neben dem Ausprobieren die intensive Beschäftigung mit kinematischen Fragen, wobei die Methoden der Getriebesynthese zur Anwendung kommen.

Das große Gebiet der Uhrenhemmungen ist bisher mehr nach baulichen und weniger nach getriebekinematischen Gesichtspunkten behandelt worden. Die Hemmungen in den Uhren haben sich im Laufe der Jahrhunderte zu immer höheren Kunstwerken entwickelt. Auch hier ist die Entwicklung noch nicht abgeschlossen, wie es z. B. der Mechanismus der springenden Sekunde in den Armbanduhren zeigt, der kinematisch gesehen ein Hemmwerk mit Umlaufsteuerung ist.

Die ganze Fülle unendlich verschiedener Getriebe in unseren Uhren kann schließlich und endlich auf nur 6 Grundgetriebe zurückgeführt werden<sup>1)</sup>. Es sind dies die Schrauben-, Kurven- und Spertriebe, die Räder-, Rollen- und Kurbeltriebe, die in mannigfaltigen Abwandlungen und Umformungen auftreten. Die Funktionsweise derartiger Getriebe wird oft dem Uhrmacher Gelegenheit bieten, sich mit der Getriebekinematik der Uhr näher zu befassen. Die Getriebelehre mit ihrer Nebeneinanderstellung aller getrieblischen Entwicklungsformen wird den Einblick in die verwickeltesten Getriebe erleichtern, wie es hier am Beispiel der Auf- und Abwerke aufgezeigt wurde. Eine eingehendere Behandlung verbot der Rahmen dieses Aufsatzes. Eines steht fest, die Beachtung von getriebekinematischen Gesichtspunkten im Bau der Zeitmesser wird nicht nur die Güte der Uhr verbessern, sondern auch das Zusammensetzen nach der Überholung vereinfachen helfen.

Literaturhinweis:

1. Jahr-Knechtel „Grundzüge der Getriebelehre“ (Leipzig 1930/1943).
2. C. Dietzscholds Uhrmacherbibliothek II. Band „Die Getriebelehre“ (Krems/Donau 1905). Siehe Vorwort Seite VIII.
3. Jahrbuch der Uhrmacherverbindung „Urania“ zu Glashütte/Sa. Band 1 (Bautzen 1904). Aufsatz von M. Loeske S. 55 und ff.
4. Alfred Helwig „Drehganguhren“ (Berlin 1927).

Quelle: Fachzeitschrift „Die Uhr“ Nr. 03 vom 09.02.1955 S. 25-28  
Nr. 04 vom 25.02.1955 S. 22-24  
Nr. 05 vom 09.03.1955 S. 20-24