Über Auf- und Abwerke.

(Das Auf- und Abwerk der Schneckenuhren. — Auf- und Abwerke mit Differentialgetrieben.)

Von M. Loeske.

Wie wohl allgemein bekannt ist, hat das Auf- und Abwerk den Zweck, die seit dem letzten Aufziehen verstrichene Zeit und somit den jeweiligen Stand der Federspannung anzuzeigen, damit, wie das bei Präzisions- und Beobachtungsuhren, die nicht durch Gewichtzug betrieben werden, sonst leicht möglich, ein Ablaufenlassen ohne Verschulden des mit der Wartung der Uhr Beauftragten nicht vorkommen kann.

Dieser Mechanismus, von dem man verlangen muss, dass er, um seiner Aufgabe wirklich zu entsprechen, stetig, nicht ruckweise, wirke, und dass er seinen Zeiger während der Aufzieh- wie der Ablaufperiode eine gleichgrosse Winkelbewegung machen lasse, die jedoch keinen vollen Umlauf erreicht, ist bei allen Werken, in denen sich die Aufziehwelle auch beim Ablaufen der Uhr dreht, also bei den Uhren mit Schnecke, wie den Schiffschronometern, von äusserster Einfachheit: ein auf der Schneckenachse sitzendes Trieb greift in ein Rad ein, das auf einem Anrichtstifte sitzt und auf seinem Rohre den Auf- und Abwerkzeiger trägt. Rad und Trieb sind so proportioniert, dass ersteres während des ganzen Aufzugsvorganges, also auch während der ganzen Gangdauer (der Ablaufperiode) der Uhr, etwas weniger als einen Umgang macht; dies ist deshalb Bedingung, weil man sich sonst, wenn der Zeiger gerade im Nullpunkt eines vollen Ziffernkreises stände, in Ungewissheit befinden könnte, ob die Uhr ganz aufgezogen oder abgelaufen ist. Bei den Schiffschronometern ist die Einrichtung in der Regel so getroffen, dass der Zeiger $^4/_5$, $^5/_6$ oder, in seltenen Fällen, $^{17}/_{20}$ eines vollen Kreises zurücklegt.

Die folgende kleine Tabelle dürfte vielleicht von einigem Nutzen sein, wenn Rad oder Trieb oder beide Teile verloren gegangen sind; sie berücksichtigt nur tatsächlich vorkommende Verhältnisse.

Anzahl der Schnecken-umdrehungen	Trieb auf der Schnecken-achse	Rad	Der Zeiger bestreicht
4	10er	48 Zähne	$^5/_6$ (300°) des Zifferblattumkreises
4	12er	60 „	$^4/_5$ (288°) „ „ „
$4^1/_3$	10er	52 „	$^5/_6$ (300°) „ „ „
$8^1/_2$ (zweitäg. Gangdauer)	10er	102 „	$^5/_6$ (300°) „ „ „
$8^1/_2$ (zweitäg. Gangdauer)	12er	120 „	$^{17}/_{20}$ (306°) „ „ „
16 (achttägige Gangdauer)	10er	192 „	$^5/_6$ (300°) „ „ „

Die Feststellung, welche Winkelbewegung der Zeiger eines Auf- und Abwerkes macht, ist ganz einfach: Macht z. B. die Schnecke $8^1/_2$ Umdrehungen, ist das Trieb ein 12er, und hat das mit diesem im Eingriff stehende Zeigerrad 120 Zähne, so wird letzteres bei einer Schneckenumdrehung, also auch bei einer Umdrehung des Aufziehvierecks, $\frac{12}{120}$ und bei $8^1/_2$ Umdrehungen $\frac{12}{120} \times \frac{17}{2} = \frac{17}{20}$ (etwas weniger als $^6/_7$) einer Umdrehung machen.

Gilt es ein verloren gegangenes Auf- und Abwerk einer Schneckenuhr bei vorhandenem Zifferblatt zu ersetzen, so muss man zunächst die Anzahl der Schneckenumdrehungen feststellen. Handelt es sich um $8^1/_2$ Umdrehungen, und stehen dem Zeiger 5 Teile des in 6 Teile geteilten kleinen Zifferblattkreises zur Verfügung, so ist

$$\frac{\text{Radzahnzahl}}{\text{Triebzahnzahl}} = \frac{8^1/_2}{^5/_6} = \frac{51}{5}.$$

Das Trieb wird somit eine Zahnzahl haben müssen, die ein Vielfaches von 5 ist, und dementsprechend muss die Radzahnzahl ein gleiches Vielfaches von 51 sein; wir können also setzen:

Rad	= 102 Zähne	bezw.	153 Zähne
Trieb	= 10 „	„	15 „ .

Wenn eine besondere Kaliberanordnung es zu einer Unmöglichkeit macht, das Trieb auf der Schneckenachse direkt in das Zeigerrad eingreifen zu lassen, so muss man ein Rad zwischen beide schalten. Dadurch wird nun freilich die Bewegungsrichtung des Zeigers die entgegengesetzte als bei direkter Verbindung zwischen Trieb und Zeigerrad;

soll sich aber der Auf- und Abwerkzeiger während des Gehens der Uhr unbedingt im Sinne der Uhrzeiger drehen, so müssen statt des einen zwei Schalträder angebracht werden. Die Zahnzahlen dieser Schalträder sind ohne jeden Einfluss auf das zwischen Trieb und Zeigerrad bestehende Übersetzungsverhältnis, also gleichgültig; wem das nicht ohne weiteres klar ist, der braucht sich nur vorzustellen, dass jedes dieser Räder aus einem Rade und einem eine gleiche Anzahl von Zähnen besitzenden Triebe besteht. Bei Anwendung der allbekannten Räderwerkberechnung (Division des Produktes der Zahnzahlen der führenden Laufwerkteile durch das Produkt der Zahnzahlen der geführten Laufwerkteile) kommt man dann zu der obigen Wahrnehmung.

So einfach es ist, ein Auf- und Abwerk in solchen Uhren einzurichten, bei welchen sich die Aufzugsachse sowohl beim Aufziehen, wie beim Ablaufen der Uhr dreht, so umständlich gestaltet sich die Aufgabe bei Uhren mit gezahntem Federhause insbesondere auch deshalb, weil das Federhaus in derselben Richtung abläuft, nach der der Federstift gedreht wird. Es gibt nun eine ganze Anzahl von Auf- und Abwerken für Uhren letzter Art, und einige von ihnen zeichnen sich auch durch sinnreiche Kombination aus, aber keines von ihnen entspricht allen Anforderungen in Hinsicht auf stetige und stets genaue Angabe der Federspannung und auf absolut gleiche Winkelbewegung des Zeigers beim Aufziehen und beim Ablaufen in dem Grade, wie jene Auf- und Abwerke, welche unter Hinzuziehung eines Differentialgetriebes arbeiten.

Die namhaftesten dieser Mechanismen sollen hier ausführlich beschrieben werden, und zwar wollen wir mit jenen Systemen beginnen, welche ausschliesslich einfache Stirnräder aufweisen. Zu dieser Kategorie gehört auch das Auf- und Abwerk von *A. Lange und Söhne* in *Glashütte*: es ist in folgender Weise eingerichtet: Auf den länger als gewöhnlich gehaltenen unteren Zapfen des Minutentriebes M (siehe Fig. 1, welche der Deutlichkeit halber in erheblich über-

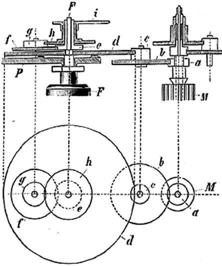

Fig. 1.

triebenen Massen ausgeführt ist und in der oberen Partie den Längendurchschnitt, in der unteren die Ansicht von oben der in gerader Linie angelegt gedachten Einrichtung darstellt) ist ein Trieb *a* fest aufgepasst; dieses greift in das Rad *b*, dessen Trieb *c* entweder auf einem Anrichtstifte steckt oder auf Zapfen läuft. Mit diesem Triebe *e* steht das grosse Rad *d* im Eingriff, welches frei auf einem glatten Ansatze der hier sehr langzapfigen Federwelle *F* zwischen der Werkplatte *P* und dem auf dieselbe Welle *F* fest aufgeschlagenen Triebe *e* sitzt. Auf der Fläche des Rades *d* ist ein Rad *f* mit Trieb *g* drehbar angebracht; während jenes in das schon erwähnte Trieb *e* eingreift, steht das Trieb *g* mit einem auf dem Rohre des Triebes *e* sitzenden Rade *h* im Eingriff, das auf seinem Rohre den Zeiger *i* trägt; dies ist der Auf- und Abwerkzeiger.

Was diesem Räderwerk das Merkmal der Besonderheit verleiht, ist die Wirkungsweise des Rades *f*, das eine zweifache Bewegung hat, indem es sich bei der Drehung des Rades *d* sowohl um seine eigene Achse dreht, als auch um das Trieb *e* herumbewegt; die Berechnungsweise des gewöhnlichen Räderwerkes wird hier unanwendbar.

Sehen wir nun zu, wie dieses Räderwerk beim Aufziehen und beim Ablaufen der Uhr arbeitet:

Wenn die Federwelle *F* gedreht wird, so dreht sich mit ihr, während das, wie schon erwähnt, lose auf einem runden Ansatz der Welle sitzende Rad *d* in Ruhe verbleibt, das fest aufgeschlagene Trieb *e*, das hier eine Art Viertelrohr — cum grano salis — darstellt, indem es in das Rad *f* eingreift, dessen Trieb *g* das Rad *h* mit dem Zeiger *i* bewegt. Die Wirkungsweise dieser Räder und Triebe ist ganz diejenige eines Zeigerwerkes, nur mit dem Unterschiede, dass die Drehungsrichtung die entgegengesetzte und das Übersetzungsverhältnis ein anderes ist; jedenfalls ist hier von einer Differentialgetriebewirkung noch keine Rede.

Anders jedoch während des Ablaufens der Uhr: Hierbei muss sich, da das auf der Federwelle sitzende Trieb e nun feststeht, das vom Minutentriebe M aus durch Vermittelung der Triebe und Räder a, b, c, d getriebene Rad f sowohl um seine Achse, als um die der Federwelle F drehen, und der Erfolg ist bei Anwendung angemessener Zahnzahlen der, dass sich der Zeiger i in genau jener Zeit, die der durch die Anzahl der Federhaus- und Minutentriebzähne und der Federhausumdrehungen gegebenen Gangdauer der Uhr entspricht, im Sinne der Uhrzeigerdrehung um denselben Winkel dreht, den er während der den Federhausumdrehungen entsprechenden Anzahl der Federwellenumdrehungen in entgegengesetzter Richtung zurückgelegt hat.

Welche Zahnzahlen sind nun erforderlich, um dieses Ziel zu erreichen?

Nehmen wir an, es sei die Bedingung gestellt, dass der Auf- und Abwerkzeiger bei 4 Umgängen der Federwelle eine Winkelbewegung von 300° mache, d. h. $^5/_6$ des kleinen Ziffernkreises bestreiche. Während also das Trieb e 4 Umdrehungen macht, soll das Rad h $^5/_6$ einer Umdrehung machen; es ist somit, der gewöhnlichen Räderwerkberechnung entsprechend, wenn man von der schablonenhaften Division des Produktes der Radzahnzahlen durch das der Triebzahnzahlen Abstand nimmt und die Laufwerkteile hier als führende und geführte berücksichtigt:

$$\frac{e \times g}{f \times h} = \frac{^5/_6}{4} = \frac{5}{24}.$$

Dieses Übersetzungsverhältnis von $\frac{5}{24}$ besagt nichts anderes, als dass der letzte Räderwerkteil, das Rad *h*, $\frac{5}{24}$ einer Umdrehung vollbracht haben muss, wenn das Trieb *e*, der erste Räderwerkteil, einen Umgang gemacht hat.

Bevor wir die diesem Übersetzungsverhältnis entsprechenden Zahnzahlen aufsuchen, wollen wir uns dem Differentialwerk zuwenden, das die oben erwähnten, noch ungezahnt gedachten Räder und Triebe ebenfalls und ausserdem die Triebe *a* und *c* und die Räder *b* und *d* in Anspruch nimmt.

Das eigentliche Differentialwerk besteht aus dem Rade *d*, das hier den bei der Berechnung dieser Getriebeart eine besondere Rolle spielenden Hebel des beweglichen Rades *f* darstellt, ferner aus dem während des Gehens (Ablaufens) der Uhr feststehenden Triebe *e*, das hier den ersten Räderwerkteil darstellt, dem Triebe *g* und dem letzten Rade *h*, das den Auf- und Abwerkzeiger trägt.

Wir haben nun die Frage zu beantworten, welchen Weg der das Rad *f* tragende Hebel (d. h. Rad *d*) zurücklegen muss, bis der Zeiger des Rades *i* $^5/_6$ eines Umkreises zurückgelegt hat.

Für das Differentialwerk, dessen erstes Rad (hier Trieb *e*) feststeht, gilt — die Rücksicht auf den Raum gestattet es nicht, hier die Entwickelung der Formeln zu geben, vielmehr müssen wir uns darauf beschränken, auf die Abhandlung „Die Berechnung der Differentialgetriebe“ im Jahrgange 1899 der „Deutschen Uhrmacher-Zeitung“ zu verweisen —, wenn

a' die Zahl der absoluten Umdrehungen des ersten Differentialwerkteils,

l die Zahl der Umdrehungen des Hebels,

z die Zahl der absoluten Umdrehungen des letzten Differentialwerkteils (alle diese Umdrehungszahlen auf denselben Zeitraum bezogen),

ε (Epsilon) das Übersetzungsverhältnis des Differentialgetriebes, d. h. den Quotienten aus der Division der Zahl der relativen Umdrehungen des letzten Getriebeteiles durch die Zahl der relativen Umdrehungen des ersten Teiles,

bezeichnet, die Formel: $l = \frac{z}{1-\varepsilon}$.

Setzen wir hierin $\varepsilon = \frac{5}{24}$, da wir das zwischen den Rädern und Trieben e, f, g, h bestehende Verhältnis verwenden müssen, und $z = \frac{5}{6}$ als Weg des letzten Getriebeteiles, so erhalten wir:

$$l = \frac{5/6}{1-5/24} = \frac{5/6}{19/24} = \frac{20}{19},$$

d. h. das Rad d legt während des ganzen Weges des Zeigers i $\frac{20}{19}$ Umgänge zurück, und es muss natürlich diesen Weg zurücklegen, während das Minutentrieb, also auch das Trieb a, 30 Umgänge (wenn die ganze Gangdauer 30 Stunden beträgt) macht. Wir haben also zwischen dem Rade d und dem Triebe a das Übersetzungsverhältnis von $\frac{20 \times 1}{19 \times 30} = \frac{2}{57}$ innezuhalten, d. h. bei einer Umdrehung des Triebes a muss das Rad d als Hebel des Differentialwerkes $\frac{2}{57}$ eines Umganges zurücklegen.

Wir brauchen nun nur noch die beiden ermittelten Übersetzungsverhältnisse herzustellen, und zwar so, dass

$$\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{2}{57} \text{ und } \frac{e \times g}{f \times h} = \frac{5}{24} \text{ ist.}$$

Natürlich müssen wir, um zu brauchbaren Zahlen zu gelangen, die Nennerwerte in Primfaktoren zerlegen und dann eine Vervielfachung der Nenner- und Zählerwerte vornehmen.

Wir haben in dieser Weise z. B.:

$\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{2}{57} = \frac{2}{19 \times 3} \times \frac{5}{5} = \frac{10}{95} \times \frac{1}{3}$. Sind die Zahnzahlen 10 und 95 überhaupt anwendbar, so brauchen wir für das erste Eingriffspaar (Trieb a und Rad b), denn dieses kommt nur noch in Frage, nur Zahnzahlen zu suchen, von denen die des Rades das Dreifache jener des Triebes ist, also z. B. $\frac{10}{30}$, $\frac{12}{36}$, $\frac{14}{42}$. Massgebend für die Auswahl sind der zur Verfügung stehende Raum und im Zusammenhange damit die Erfordernisse eines absolut tadellosen Eingriffes.

Ebenso wie es für die Teile a und b nicht nur 2 ganz bestimmte Werte gibt, so auch für c und d, denn wir konnten oben auch, diesmal von der Zerlegung in Primfaktoren absehend, setzen: $\frac{2}{57} \times \frac{5}{5} = \frac{10}{57} \times \frac{1}{5}$, und wir hätten dann gehabt: $\frac{c}{d} = \frac{10}{57}$ und $\frac{a}{b} = \frac{1}{5} = \frac{10}{50} = \frac{12}{60}$; aber diese Zahnzahlen für b und d lassen hier weder einen brauchbaren Eingriff, noch eine zweckmässige Lagerung des Rades f erzielen.

Ganz in derselben Weise müssen wir beim zweiten Teile des Räderwerkes verfahren, für den das Übersetzungsverhältnis $\frac{5}{24}$ gilt.

Hier können wir setzen:

$$\frac{e \times g}{f \times h} = \frac{5}{24} = \frac{5}{24} \times \frac{2}{2} = \frac{10}{24} \times \frac{1}{2}$$

oder

$$= \frac{5}{2 \times 2 \times 2 \times 3} \times \frac{3}{3} = \frac{15}{36} \times \frac{1}{2}.$$

In beiden Fällen haben wir schon brauchbare Zahnzahlen für ein Trieb und ein Rad, und das Verhältnis $\frac{1}{2}$ können wir ohne weiteres durch ein Rad und Trieb verwirklichen, bei dem letzteres halb so viel Zähne hat als ersteres, also z. B. $\frac{16}{32}, \frac{17}{34}, \frac{18}{36}$. Bei der Wahl zwischen diesen Zahnzahlen spricht die Notwendigkeit der Erzielung völlig einwandfreier Eingriffe mit. Auf die Beschaffenheit letzterer ist besonders Gewicht zu legen, obgleich das eigentliche Uhrwerk bei der Verbindung mit diesem Räderwerk keinen besonderen Widerstand durch Federn erfährt.

Wir hätten also nun für

	$\frac{a \times c}{b \times d}$	und	$\frac{e \times g}{f \times h}$
die Werte:	$\frac{12 \times 10}{36 \times 95}$	"	$\frac{16 \times 15}{32 \times 36}$
oder:	$\frac{14 \times 10}{42 \times 95}$	"	$\frac{17 \times 15}{34 \times 36}$

Soll das Uhrwerk bei unveränderter Anzahl der Federwellenumgänge eine andere Gangdauer, z. B. von 32 Stunden, haben, so ändert sich nur das

Übersetzungsverhältnis zwischen den Teilen a und d und wird aus $\frac{2}{57}$ zu $\frac{20 \times 1}{19 \times 32} = \frac{5}{152}$.

Soll jedoch eine Federstellung mit 5 statt 4 Umgängen angewandt werden, so muss nach der Bestimmung der Gangdauer aus dieser Umgangszahl und den Zahnzahlen von Federhaus und Minutentrieb die ganze Berechnung von neuem durchgeführt werden; das dürfte nach den vorangehenden leichtverständlichen Ausführungen keine Schwierigkeiten bereiten.

Es mag noch bemerkt sein, dass man ein bereits fertig vorliegendes Auf- und Abwerk dieser Art einem Kaliber mit anderer als der vorgesehenen Mittelpunktsentfernung zwischen Minutentrieb und Federhaus anpassen kann, indem man, wie in nebenstehender Skizze (Fig. 2) dargestellt, zwischen Minutentrieb bezw. Trieb a und Rad b, sowie zwischen Federhauswelle und Trieb e Zwischenräder einschaltet, so dass keine Änderung des Übersetzungsverhältnisses, sondern eine blosse Übertragung stattfindet. So sehen wir hier z. B. das 14er Trieb a auf dem Minutentriebe durch das gleichgrosse 14er Trieb a^1 mit dem Rade b im Eingriff stehen, und das 17er Trieb e steht durch die unterhalb des Rades d liegenden 17-zähnigen Rädchen e^1 und e^2 mit der Federwelle, auf welche letzteres aufgeschlagen ist, in Verbindung, so dass es das gleiche ist, als ob die Federwelle F (Fig. 1) das Trieb e direkt führte.

Dass die Stellungen von Uhren mit Auf- und Abwerken besonders kräftig und sorgfältig ausgeführt werden müssen, bedarf kaum der Erwähnung, denn es liegt ja auf der Hand, dass jede Beschädigung der Stellung die Angaben des Zeigers zu unrichtigen machen muss.

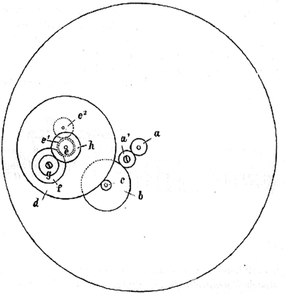

Fig. 2.

Wie das eben beschriebene, so arbeitet auch das in Fig. 3 in der Seitenansicht dargestellte Auf- und Abwerk von *Stanley* mit gewöhnlichen Stirnrädern und Trieben.

Mit dem Federhause *b* (Fig. 3) steht ein Rad *a* im Eingriff, das ausserhalb seiner Mitte ein Trieb *c* trägt, welches in zwei übereinander lagernde gleichgrosse Räder *e* und *d* von verschiedenen Zahnzahlen eingreift und sich um beide bewegt bezw. um sie herumrollt. Die durch das Mittelloch des Rades *a* gehende untere Welle des Rades *e* ragt durch die Unterplatte und trägt unterhalb dieser den Auf- und Abwerkzeiger *f*, während die kürzere obere Welle das Rad (oder, wenn man will, Trieb) *d* hält. Das Rohr dieses letzteren Teiles ragt durch die Oberplatte und trägt oberhalb dieser ein Rad *g*, das durch ein Rad *h* mit dem auf der Federwelle *j* sitzenden Triebe *i* verbunden ist.

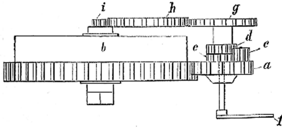

Fig. 3.

Wird die Uhr aufgezogen, so dreht das Trieb *i* durch Vermittelung der Räder *h* und *g* das Rad *d*; dieses treibt das Trieb *c*, das seinerseits wieder auf das Rad *e* einwirkt, und mit letzterem dreht sich der Zeiger *f*.

Ist hingegen der Aufzug in Ruhe und die Uhr im Gange, so wird der Mechanismus durch das Federhaus betrieben: das mit dem jetzt feststehenden Rade *g* verbundene Rad *d* bleibt unbewegt (fungiert also hier als feststehendes erstes Rad), während sich mit dem Rade *a* das Trieb *c* um die Achse dieses Rades dreht und gleichzeitig über die Zahnungen der Räder d und e rollt; letzteres rotiert hierbei nach Massgabe der Abweichung seiner Zahnzahl von der des feststehenden Rades d, und die Folge ist die, dass sich der Zeiger f jetzt in entgegengesetztem Sinne bewegt als beim Aufziehen.

Nehmen wir nun an, die Federwelle mache 4 Umgänge, das Federhaus habe 90 Zähne und das Minutentrieb sei ein 12er, die Gangdauer betrage also $\frac{90}{12} \times 4 = 30$ Stunden. Der Auf- und Abwerkzeiger f soll $^5/_6$ eines Kreises bestreichen.

Hier kommt, da d das erste Rad, e das letzte Rad, c das bewegliche Rad bez. Trieb, Rad a den Hebel (siehe Seite 62) vorstellt, also $a' = 0$ ist, die Formel $l = \frac{\varkappa}{1-\varepsilon}$ in Anwendung.

Setzen wir $\varkappa = {}^5/_6$ als Weg des letzten Rades e, und nehmen wir versuchsweise als Verhältnis der relativen Geschwindigkeiten von d und e $\varepsilon = \frac{17}{18}$ an (d. h. wenn Rad d 17 Zähne hat, so muss Rad e deren 18 haben; das die Verbindung beider herstellende Trieb c mit, sagen wir, 10 Zähnen ändert nichts an dem zwischen den Bewegungen der Räder d und e bestehenden Verhältnis, denn es ist ja $\frac{d \times c}{c \times e} = \frac{d}{e}$), so haben wir:

$$l = \frac{\varkappa}{1-\varepsilon} = \frac{^5/_6}{1-{}^{17}/_{18}} = \frac{^5/_6}{^1/_{18}} = 15,$$

d. h. das Rad a muss sich während des 4maligen Umlaufes des 90-zähnigen Federhauses 15 mal um seine Achse drehen, um die $^5/_6$-Drehung des Zeigers

f zu bewirken; es wird daher, da $4 \times 90 = 15 \times a$ sein muss, Rad a $\frac{4 \times 90}{15} = 24$ Zähne haben müssen.

Wir hätten nun von den beim Aufziehen in Wirksamkeit tretenden Trieben und Rädern i, h, g, d, c, e die Zahnzahlen der erstgenannten drei Räderwerkteile zu bestimmen. Da 4 Umgänge der Federwelle bezw. des Triebes i eine $^5/_6$-Drehung des Zeigers bezw. des Rades e bewirken sollen, so wird letzteres bei einem Umgange des Triebes i $\frac{5}{6 \times 4} = \frac{5}{24}$ einer Umdrehung machen; dieser Wert stellt das Übersetzungsverhältnis des jetzt als gewöhnliches Räderwerk wirkenden Mechanismus dar.

Wir haben daher

$$\frac{i \times h \times d \times c}{h \times g \times c \times e} = \frac{i \times d}{g \times e} = \frac{5}{24}.$$

Die Möglichkeit, h und c zu eliminieren, tut dar, dass die Zahnzahlen dieser Teile unerheblich sind und nur von den Erfordernissen eines tadellosen Eingriffes bezw. des zur Verfügung stehenden Raumes diktiert werden.

Um nun aus diesem Übersetzungsverhältnis die 4 Zahnzahlen unter Verwendung der schon als brauchbar erkannten Zahnzahlen der Räder d und e zu erhalten, müssen wir setzen:

$$\frac{d}{e} \times \frac{i}{g} = \frac{5}{24} = \frac{5}{2 \times 2 \times 2 \times 3} \times \frac{3}{3} \times \frac{17}{17} = \frac{17}{18} \times \frac{15}{68},$$

woraus sich ergibt, dass auf i 15 und auf g 68 Zähne entfallen.

Das Auf- und Abwerk von *Lewis Donne & Son*, welches wir nun beschreiben wollen, verlangt die Anwendung von Kronrädern und erfordert überhaupt erheblich mehr Arbeit und Sorgfalt in der Ausführung als das vorangehend beschriebene.

Eine Spindel oder Welle *a* (Fig. 4) ist an einem Ende drehbar in der Oberplatte befestigt, während das andere in einem besonderen Kloben der Unterplatte lagert. Auf das über diesen Kloben hervorstehende Spindelende ist ein Trieb *b* aufgesetzt, welches mit dem Rade *c* im Eingriff steht, das den Auf- und Abwerkzeiger *d* trägt.

Nahe ihrem unteren Ende ist auf die Spindel *a* ein loses Rad *e* aufgepasst, das mit dem Federhause

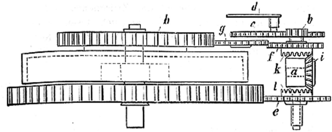

Fig. 4.

(in der Figur, die eine Federhauspartie mit festem Federhause darstellt, mit dem Federrade) im Eingriff steht, und am entgegengesetzten Ende der Spindel sitzt unterhalb des Triebes *b* ein gleichfalls loses Rad *f*, das mittels eines Zwischenrades *g* mit dem Aufzugsrade *h* verbunden ist. Jedes der beiden losen Räder *e* und *f* hat an seiner Innenfläche einen Kranz (siehe *k* und *l*) von Kronradzähnen, die ständig mit einem entsprechend gezahnten Zwischenrade *i* im Eingriff stehen. Dieses Zwischenrad *i* sitzt, um eine Ansatzschraube drehbar, auf der Spindel *a* so, dass seine

Achse zu der der beiden losen Räder *e* und *f* im rechten Winkel steht.

Durch diese Einrichtung kann der Spindel *a* mit ihrem Triebe *b* durch Vermittelung jedes einzelnen der losen Räder *e* und *f* eine Bewegung mitgeteilt werden, an der das andere lose Rad nicht teilnimmt. Wird also z. B. das Aufzugsrad *h* gedreht und dessen Bewegung durch Vermittelung des Schaltrades *g* dem Rade *f* mitgeteilt, so erfährt der Zeiger *d* durch Vermittelung des auf der Spindel *a* festsitzenden Triebes *b* und des Rades *c* eine Drehung in bestimmter Richtung, während das Zwischenrad *i* frei über die Kronradzahnung des an sich losen, aber infolge seines Eingriffs mit dem Federhause festliegenden Rades *e* rollt.

Und während des Ablaufens der Uhr ist es das Federhaus oder Federrad, welches das lose Rad *e* mitnimmt, dessen Kronradzahnung *l* das Zwischenrad *i* und mit diesem die Spindel *a*, das Trieb *b* und das Rad *c* bezw. den Zeiger *d*, aber in entgegengesetzter Richtung als beim Aufziehen, führt, während jetzt das lose Rad *f* festliegt und die Zähne des Zwischenrades *i* frei über dessen Kronradzähne rollen.

(Anstatt der Kronradzahnungen der Räder *e* und *f* könnten auch Winkelradzahnungen angewandt werden doch müssten dann diese Räder, um eine saubere Zahnung erzielen zu lassen, aus je zwei Teilen zusammengesetzt sein.)

Wir haben hier, im Gegensatz zu den ersten Systemen, eine Konstruktion vor uns, bei der sowohl beim Aufziehen, wie beim Ablauf ein Differentialgetriebe tätig ist.

Beim Aufziehen ist das Rad e, das erste Rad des Getriebes, fest, und es wird die Geschwindigkeit l des Getriebehebels, d. h. der Spindel a, in Beziehung zur Geschwindigkeit x des Rades f wieder ausgedrückt durch die Formel:

$$l = \frac{x}{1 - \varepsilon}.$$

Nimmt man an, die Räder e und f oder vielmehr ihre Kronradzahnungen haben gleiche Zahnzahlen, so ist, da sie sich bei der Drehung des Zwischen- oder Schaltrades i in entgegengesetztem Sinne bewegen, $\varepsilon = -1$; also haben wir:

$$l = \frac{x}{1 - (-1)} = \frac{x}{2}.$$

Beim Ablauf der Uhr ist das Rad f, das letzte Rad des Getriebes, fest; es ist deshalb die Geschwindigkeit l des Hebels bezw. der Spindel a in Beziehung zur Geschwindigkeit a' des Rades e gleich

$$l = \frac{a' \varepsilon}{\varepsilon - 1} = \frac{a'}{1 - \frac{1}{\varepsilon}} = \frac{a'}{1 - \frac{1}{-1}} = \frac{a'}{2}.$$

Betrachtet man jedes der Räder e und f, wie hier, nach einander als fest und dann als beweglich, so erkennt man zunächst, dass das Zwischenrad i und die von diesem geführte Spindel a sich in demselben Sinne dreht wie das geführte Rad, und daraus erhellt die Notwendigkeit, das Aufzugsrad h durch ein Schaltrad g mit dem Rade f zu verbinden, um beim Aufziehen die entgegengesetzte Drehung der Spindel a bezw. des Zeigers d zu erzielen als beim Ablaufen der Uhr. Und schliesslich geht aus den obigen Ausrechnungen hervor, dass sich die Spindel a bei, der Voraussetzung entsprechend, gleichmässigen Kronradzahnungen der Räder e und f halb so schnell drehen wird als diese Räder. Letztere können aber, um bei diesem Mechanismus zum Ziele zu führen, nur an den Kronradzahnkränzen, nicht aber an der Peripherie gleichmässig verzahnt sein.

Wenn das Federhaus mit z. B. 92 Zähnen während der ganzen Gangdauer 4 Umgänge macht und wir dem Rade e versuchsweise 23 Zähne zuerkennen, so wird es (ebenso wie ein Rad e mit 24 Zähnen bei einem 96-zähnigen Federhause) während der ganzen Ablaufperiode $\frac{92 \times 4}{23} = 16$ Umdrehungen machen; die Spindel wird also, wie wir vorhin gefunden haben, halb so viele, d. h. 8 Umdrehungen gemacht haben, und ebensoviele Umgänge des Triebes b müssen das Rad c um einen bestimmten Winkel (z. B. um einen $\frac{4}{5}$- oder $\frac{4}{6}$-Umgang) drehen. Die Zahnzahl des Rades c müsste im ersten Fall 10 mal, im zweiten 12 mal so gross sein als die des Triebes b, also gleich 80 $\left[\text{denn } \frac{8}{80} \times 8 = \frac{4}{5}\right]$ bezw. 96 $\left[\text{denn } \frac{8}{96} \times 8 = \frac{4}{6}\right]$.

Beim Aufziehen muss das Aufzugsrad h während seiner 4 Umdrehungen das Rad f ebenfalls 16 Umgänge machen lassen, damit sich die Achse a wiederum, aber jetzt in entgegengesetzter Richtung, um 8 Umgänge dreht. Das zwischen diesen beiden Rädern erforderliche Übersetzungsverhältnis von 4 : 1 wird angemessen hergestellt, wenn man z. B. dem Rade h 60 und dem Rade f 15 Zähne gibt. Bei einem Umgange des Aufzugsrades h macht dann das Rad f, ungeachtet der Zahnzahl des Schaltrades g, 4 Umgänge, bei den der Gangdauer entsprechenden 4 Umdrehungen also 16 Umgänge; diese bewirken 8 Umläufe der Spindel *a* bezw. des 8er Triebes *b*, und letzteres lässt hierbei das 80 bezw. 96 Zähne (siehe oben) enthaltende Rad *c* eine Drehung um $\frac{8}{80} \times 8 = \frac{4}{5}$ bezw. $\frac{8}{96} \times 8 = \frac{4}{6}$ eines Kreises machen.

An letzter Stelle sei das Auf- und Abwerk beschrieben, welches *E. Antoine* in *Besançon* in seinen

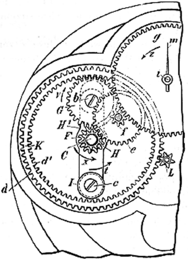

Fig 5.

Taschenuhren mit langer, in der Regel 56-stündiger Gangdauer anwendet.

Auf der Federwelle *C* (Fig. 5) sitzt lose ein

Trieb F, das in ein Rad (sogenanntes Planetenrad) G eingreift, welches um die Ansatzschraube b frei drehbar ist und durch diese an dem einen Ende des Hebels H befestigt ist. Dieser Hebel sitzt fest auf der Federwelle und trägt am jenseitigen Ende eine Leitrolle I, welche gleichfalls um eine Ansatzschraube (c) drehbar ist und zur Führung des konzentrisch zur Federwelle gelagerten Zahnreifens K dient, der mit einer inneren (d') und einer äusseren (d) Verzahnung versehen ist. Der innere Zahnkranz d' steht mit dem Planetenrade G, der äussere, d, mit dem auf der Minutentriebachse sitzenden Triebe L im Eingriff.

Das auf der Federwelle C lose sitzende Trieb F ist mit dem darüber sitzenden, kleineren Triebe H fest verbunden, welches seine Bewegung durch Vermittelung des Rades e und des Triebes f auf das Rad g überträgt; letzteres sitzt fest auf einer in einem Achsenloch drehbaren Welle i, und diese trägt oberhalb des Zifferblattes (die Figur stellt den Mechanismus bei abgenommenem Zifferblatte dar) den Auf- und Abwerkzeiger m.

Der doppeltgezahnte Zahnreifen K wird, wie sich aus Vorangehendem ergibt, durch Rolle I, Rad G und Trieb L in seiner konzentrischen Lage zur Federachse gehalten; ein besonderer Kloben, der mit ihm auch die Räder e und g verhindert, sich zu heben, ist in der Zeichnung nicht dargestellt.

Die Verhältnisse zwischen den Zahnzahlen der Triebe und Räder H, e, f, g sind keine ganz bestimmt vorgeschriebenen, aber sowohl von der Winkelbewegung, die der Zeiger m, also das Rad g, während der Gangdauer der Uhr ausführen soll, wie von der

Lage der Achse dieses Rades g abhängig. Dass sie auf jeden Fall so gewählt werden müssen, dass der Zeiger m im Maximum einen Umgang macht — im Eingange dieser Ausführungen ist angegeben, aus welchem Grunde dieses Maximum vermieden werden muss —, bedarf kaum noch der Erwähnung.

Sehen wir nun zu, wie der beschriebene Mechanismus funktioniert:

Beim Aufziehen dreht sich die Federachse C im Sinne des Pfeiles t, wobei der Hebel H' und mit ihm die Rolle I und das Rad G in gleicher Richtung geführt werden, während die Zahnung des Rades G auf der inneren Zahnung d' des Zahnreifens K, der sich wegen seines Eingreifens in das Trieb L nicht drehen kann, abrollt. Bei diesem Vorgange macht das Rad G mit 28 Zähnen während jeder vollen Umdrehung der Federwelle C — der Zahnreifen K hat innen wie aussen je 70 Zähne — $2^1/_2$ Umdrehungen um seine Achse im Sinne des Pfeiles v, und es bewirkt dabei infolge seiner kombinierten Bewegung um seine Achse und um die Federachse (d. i. die sogenannte Planetenbewegung), dass das Trieb F, welches 14 Zähne hat, entsprechend der Berechnung der Differentialgetriebe (siehe „Deutsche Uhrmacher-Zeitung", 1899, Nr. 4, Seite 88) $1 + \frac{70}{14} = 6$ Umgänge im Sinne des Pfeiles x macht. Diese Bewegung des Triebes F wird durch das mit ihm fest verbundene Trieb H und das Rad e und Trieb f auf das Rad g übertragen, und der auf dessen Achse i sitzende Zeiger m wird sich nun im Sinne des Pfeiles z, also linksherum, verstellen.

Bei 4 Umgängen der Federwelle — denn das Federhaus macht trotz der langen Gangdauer dieser Antoine'schen Uhren nur 4 Umdrehungen bei einem Federhause mit 112 Zähnen und einem 8er Minutentriebe, so dass diese Gangdauer gleich $\frac{112 \times 4}{8} = 56$ Stunden ist — wird also das Trieb F 24 Umdrehungen machen und bei angemessen gewählten Zahnzahlen für die Teile H, e, f, g den Zeiger m auf seinem Zifferblatte einen Bogen beschreiben lassen, der sich nicht zu einem Kreise schliesst.

Nach erfolgtem Aufzuge bleibt der Hebel H' fest stehen, da er mit der Federwelle C fest verbunden ist, während nun das mit der äusseren Zahnung d des Zahnreifens K im Eingriff stehende Trieb L, das auf das Minutentrieb aufgetrieben ist, diesen Zahnreifen K im Sinne des Pfeiles l dreht. Bei diesem Vorgange treibt die innere Zahnung d' das Rad G im entgegengesetzten Sinne als Pfeil e anzeigt, um seine Achse, und dieses Rad führt seinerseits wieder das Trieb F in dem der Richtung des Pfeiles x entgegengesetzten Sinne. Diese Bewegung des Triebes F wird dann durch Rad H, Rad e und Trieb f auf das Rad g übertragen, so dass sich der Zeiger m nun in der dem Pfeile x entgegengesetzten Richtung dreht.

Hier sind also gewöhnliche Räderwerkübertragungen im Spiele, und während der ganzen 56-stündigen Gangdauer der Uhr wird das Trieb F:

$$\textit{Gangdauer} \times \frac{L}{d} \times \frac{d'}{G} \times \frac{G}{F} = 56 \times \frac{6}{70} \times \frac{70}{28} \times \frac{28}{14}$$

24 Umdrehungen um die Federachse machen, so dass also Rad g bezw. Zeiger m mit derselben

relativen Geschwindigkeit geführt werden als beim Aufziehen der Uhr, aber in entgegengesetzter Richtung.

Für die Zahnzahlen der Triebe und Räder H, e, f, g ist nur die Winkelbewegung, die der Zeiger m machen soll, massgebend. Wird z. B. verlangt, dass er im Ganzen $^4/_5$ eines Kreises bestreiche, so hätten wir also bei 24 Umdrehungen des Triebes F eine $^1/_{30}$-Drehung des Rades g herbeizuführen. Das zwischen beiden Teilen bestehende Übersetzungsverhältnis $\frac{1}{30}$ $\left(\text{nämlich } \frac{1}{24} \times \frac{4}{5}\right)$ wird am besten verwirklicht, indem man dem Triebe H 10, dem Rade e 30, dem Triebe f 8 und dem Rade g 80 Zähne gibt. Doch lassen sich mit Hilfe des weiter vorne angegebenen Verfahrens bequem noch andere Werte für

$$\frac{H \times f}{e \times g} = \frac{1}{30}$$

feststellen, deren Anwendbarkeit freilich von dem zur Verfügung stehenden Raume bezw. von den Mittelpunktsentfernungen abhängt.

Betrachten wir noch kurz den Fall, wir hätten ein Auf- und Abwerk geschilderter Art für eine Uhr mit 5 Federhausumgängen zu berechnen, und das Federhaus hätte 110, das Minutentrieb 10 Zähne, die Gangdauer betrüge also $\frac{110 \times 5}{10} = 55$ Stunden, so würde, wenn man dem Triebe L des besseren Eingriffes halber 8 Zähne gäbe und einen Zahnreifen K mit innen wie aussen z. B. 66 Zähnen anwendete, ein Rad G mit z. B. 22 Zähnen während jeder voller Umdrehung der Federwelle 3 Umdrehungen um seine Achse machen und dabei infolge seiner

Planetenbewegung ein Trieb F mit z. B. 22 Zähnen (diese Zahnzahl ist ebenso wenig eine durchaus erforderliche wie die des Zahnreifens, des Rades G u. s. w., aber sie lässt im gegebenen Falle gute Verhältnisse erzielen) $1 + \frac{66}{22} = 4$ Umgänge im Sinne des Pfeiles x machen lassen, also $4 \times 5 = 20$ Umgänge während der ganzen Gangdauer. Während des Ablaufs der Uhr ergäben sich natürlich ebensoviele Umdrehungen, aber im entgegengesetzten Sinne, denn wir haben: $55 \times \frac{8}{66} \times \frac{66}{22} \times \frac{22}{22} = 20.$

Für die Teile H, e, f, g tritt das Übersetzungsverhältnis $\frac{H \times f}{e \times g} = \frac{1}{20} \times \frac{4}{5} = \frac{1}{25}$ in Kraft, wenn wir die $^4/_5$-Teilung anwenden wollen.

Es wird nicht gerade viele Uhrmacher geben, an welche zuweilen die Aufgabe herantritt, Auf- und Abwerke der hier geschilderten Arten auszuführen oder zu reparieren; aber man sollte nichtsdestoweniger von jedem besseren Uhrmacher ein gewisses Verständnis für diese interessanten Mechanismen, durch welche zwei verschiedene Bewegungen auf einen Zeiger übertragen werden, ohne dass die eine Bewegung die andere beeinträchtigt, verlangen dürfen, und da unsere Literatur den Lernbegierigen in diesem Betracht im Stich lässt, so darf wohl angenommen werden, dass die hier gegebene Darstellung als nützlich anerkannt werden wird.