Räderwerkberechnungen und Konstruktionshinweise zu „astronomischen" und ähnlichen Kunstuhren

Von Ing. Lothar M. Loske

Die Grundlagen zur Berechnung von komplizierten Räderwerken sowie der konstruktive Aufbau von Bewegungsmechanismen für „astronomische Kunstuhren", Automaten oder ähnliche mechanische „Wunderwerke" gehören zweifellos in das Wissensgebiet der Uhrmacherei.

Da aber die Anfertigung solcher Uhren mehr und mehr als völlig unwirtschaftlich zu betrachten ist und kaum — außer in besonderen Einzelfällen — eine Änderung erwartet werden dürfte, ist es nicht verwunderlich, daß keinerlei ausgereifte Methoden und Unterlagen in der geläufigen Fachbücherei zu finden sind und wohl auch kaum noch Aufnahme finden können.

Diese Feststellung soll natürlich keinerlei Beanstandung gegen unsere Fachschriften-Verleger sein, denn schließlich leben wir nicht mehr im Zeitalter der Kunstuhren und Automaten, wie einst, wo phantasievolle Werke hervorgebracht wurden, bei denen die Begegnung genialen Schöpfertums mit reichlichem Spieltrieb geheimnisvoll verschwistert waren.

Es ist aber die Tätigkeit, die den Menschen glücklich machen kann; doch nur der kennt der Arbeit wahres Glück, der um der Arbeit willen den Lohn vergessen kann!

Womit ich wünschen möchte, daß auch heute noch mancher Uhrmacher seine Ideen zu einer außergewöhnlichen Uhr finden möge, die ihm als sein „hobby" und kleines besonderes Lebenswerk viel Freude in den Alltag tragen kann.

Die nachstehenden Ausführungen wollen hierzu einige Unterstützung bieten und nach Möglichkeit verhindern, daß ein lobenswerter Entschluß vor den theoretischen Schranken zusammenbrechen muß.

Wenn zwei Räder die gleiche Zahnzahl haben und ineinandergreifen, so werden sie, in Bewegung gesetzt, auch die gleiche Anzahl von Umdrehungen machen. Ist die Zahnzahl des einen Rades zweimal größer als die des anderen, so wird es in der Bewegung nur die Hälfte der Umdrehung machen. Ohne weitere Erklärung, die sich ohnehin an dieser Stelle erübrigen darf, läßt sich das Verhalten der Zahnräder zusammenfassen, indem man sagt, daß die Geschwindigkeit zweier ineinandergreifender Räder im umgekehrten Verhältnis zu ihren Zahnzahlen stehen. Es werden demnach die Geschwindigkeiten bei einem Eingriff von 60 und 6 Zähnen gleich 6 und 60, und bei einem solchen von 30 und 10 gleich 10 und 30 sein. Es geht weiterhin daraus hervor, daß man, um die Anzahl der Umgänge eines Triebes bei einer Umdrehung des Rades, welches es führt, zu erhalten, die Zahnzahl des Rades durch die Zahnzahl des Triebes dividieren muß.

Mit dem Beispiel 144 Radzähne und 12 Triebzähne ergibt sich eine Umdrehungszahl von 12 für das Trieb bei einer Umdrehung des Rades. Sitzt auf einem solchen Trieb wiederum ein Rad mit 144 Zähnen, welches ebenfalls in ein 12zähniges Trieb eingreift, so besteht diese Gruppe aus 3 Achsen, und es ergibt sich:

Jede Umdrehung des ersten Triebes veranlaßt das zweite Trieb, 12 Umgänge zu machen, woraus bei einer Umdrehung des ersten Rades das zweite Trieb zu 12 mal 12 Umdrehungen — gleich 144 — angeregt wird.

$$\frac{144}{12} \times \frac{144}{12} = 144 \text{ oder } \frac{144 \cdot 144}{12 \cdot 12} = \underline{144.}$$

Hieraus folgt die allgemeine Regel, die einem Uhrmacher als das Übersetzungsverhältnis aus mehreren Rädern und Trieben gut bekannt ist. Sind demnach die Triebzahnzahlen und die Radzahnzahlen bekannt, so ist das Ergebnis der Übersetzung leicht zu errechnen, und weniger schwer ist es auch, wenn aus dieser Reihe das eine oder andere Rad, beziehungsweise Rad mit Trieb, fehlen.

Bedeutend schwieriger wird es allerdings, wenn die Aufgabe umgekehrt gestellt wird, und wenn das Ergebnis keinerlei Anlehnung an die gewohnte Tätigkeit finden kann; was zu Ehren unserer Uhrmacherahnen nicht immer so war. Die unzähligen großen und kleinen astronomischen Kunstuhren sind Zeugen großen Bemühens und werden demjenigen völlig klar, der einmal den Versuch gemacht hat, annähernd genaue Laufwerke herzustellen, die mit den Bewegungen von Himmelskörpern oder ähnlichem korrespondieren.

Die theoretischen Vorbereitungen hierzu sind sehr langwierig und sicherlich peinlich, wenn keinerlei Hilfsmittel zur Verfügung stehen, annähernd günstige Zahnzahlen zu finden. Günstig insofern, daß ihre Zahnzahlen möglichst niedrig bleiben und daß die kaum vermeidlichen Differenzen so gering sind, daß sie erst nach Jahrzehnten einen merkbaren Einfluß ausüben können.

Als ein Beispiel soll die Forderung gestellt werden, daß an einem Uhrwerk eine Welle in einem Jahr eine Umdrehung machen soll. Das Jahr besteht aus 365 Tagen, 5 Stunden, 48 Minuten, 48 Sekunden, oder aus 31 556 368 Sekunden. Ein Tag setzt sich aus 24 Stunden oder 86 400 Sekunden zusammen, so daß sich ein Umdrehungsverhältnis von $\frac{31\,556\,368}{86\,400}$ ergeben wird. Würde man nun den Zähler — nach dem Verfahren aus unseren Uhrmacher-Rechenbüchern — in seine Faktoren zerlegen, so würde man durch eine Reihe Primfaktoren auf Zahnzahlen stoßen, die viel zu hoch liegen und als Räder schwer herstellbar wären. Es bleibt somit nichts anderes übrig, als durch wiederholte Versuche zwei Zahlen zu suchen, welche ein Verhältnis bilden, das dem gegebenen sehr nahekommt.

Die folgenden drei Zahlengruppen sind hierzu sehr annähernde Resultate, aus denen die nachstehenden Zahlengruppen entworfen werden können.

$$\frac{105\,555}{289} = \frac{\text{Räder}}{\text{Triebe}}\ \frac{5 \cdot 93 \cdot 227}{1 \cdot 17 \cdot 17} \text{ Differenz } 0{,}7''$$

$$\frac{164\,359}{450} = \frac{\text{Räder}}{\text{Triebe}}\ \frac{13 \cdot 47 \cdot 269}{2 \cdot 9 \cdot 25} \text{ Differenz } 0{,}1''$$

$$\frac{58\,804}{161} = \frac{\text{Räder}}{\text{Triebe}}\ \frac{4 \cdot 61 \cdot 241}{1 \cdot 7 \cdot 23} \text{ Differenz } 1{,}2''$$

Hierzu versteht sich von selbst, daß die zu niedrigen Rad- und Triebzahnzahlen durch Multiplikation erhöht werden müssen, indem man oben und unten eine Gruppe mit der gleichen Zahl multipliziert. Es würden sich hiernach folgende drei Rädergruppen zur Verwirklichung einer Übersetzung von einer eintäglichen Umdrehung zu einer einjährlichen Umdrehung ergeben:

$$\frac{30 \cdot 93 \cdot 227}{6 \cdot 17 \cdot 17} \qquad \frac{39 \cdot 47 \cdot 269}{6 \cdot 9 \cdot 25} \qquad \frac{32 \cdot 61 \cdot 241}{8 \cdot 7 \cdot 23}$$

Die oben angeführten Differenzen können ohne weiteres akzeptiert werden und sind insofern unbedeutend, da sie sich auf die Gangdauer von einem Jahr beziehen.

Um einen weiteren Begriff von diesem Verfahren zu erhalten, soll noch das Experiment mit dem Verhältnis $\frac{367}{101}$ angeführt werden.

Da sich nun aus diesen beiden Zahlen keine Räder und Triebe bilden lassen, opfert man eine Einheit des Zählers und erhält dann $\frac{366}{101}$. Damit entsteht zwar ein Fehler von $\frac{1}{101}$, aber man erhöht die Möglichkeit eines Ergebnisses. Ein besonders günstiges Verhältnis mit 101 im Nenner ist damit noch nicht gegeben, und man geht dazu über, auch diesen Nenner um eine Einheit zu vermindern. Es ergibt sich somit $\frac{366}{100}$, ein Verhältnis, aus dem man bequem ein Laufwerk zusammensetzen kann.

Soll allerdings eine Konstruktion die größtmögliche Genauigkeit aufweisen, so muß man die Annäherung an das ursprüngliche Verhältnis noch weiter fortsetzen und die Differenz vermindern. Erreichen läßt sich das, indem man dem gegebenen ursprünglichen Verhältnis eines der zuletzt gefundenen Verhältnisse hinzufügt.

$$\frac{367 + 366}{101 + 101} = \frac{733}{202} \quad \text{oder} \quad \frac{367 + 367}{100 + 101} = \frac{734}{201}$$

Mit diesen beiden neuen Verhältnissen verfährt man nochmals in der gleichen Weise, und es ergibt sich

$$\frac{734 + 366}{201 + 101} = \frac{1100}{302}$$

Werden alle diese Brüche beziehungsweise deren Zahlen miteinander addiert, so sind die Ergebnisse den jeweils gegebenen Verhältnissen beinahe gleich. Durch die Addition nähern sie sich den ursprünglichen Verhältnissen immer mehr, und bei sorgfältiger Bemühung gelangt man schließlich zu kürzbaren Ausdrücken, die ihrerseits zu günstigen Rad- und Triebzahnzahlen führen.

Differential-Räderwerke oder die sogenannten verschiebbaren Räderwerke sind allerdings noch weit genauer als die Methode des vorgenannten Annäherungsverfahrens. Mit einem Differential-Räderwerk lassen sich schließlich die Übersetzungsverhältnisse ohne Differenzen in die Praxis umsetzen. Dieser Mechanismus findet in unzähligen Variationen in Apparaten und Maschinen seine Anwendung, und es ist ratsam, bei der Konstruktion einer astronomischen Kunstuhr seine Vorteile nicht zu übersehen.

Von diesem geistreichen Mechanismus und seinem System zugrunde liegenden theoretischen Lehren seien nachstehend einige Erklärungen gegeben.

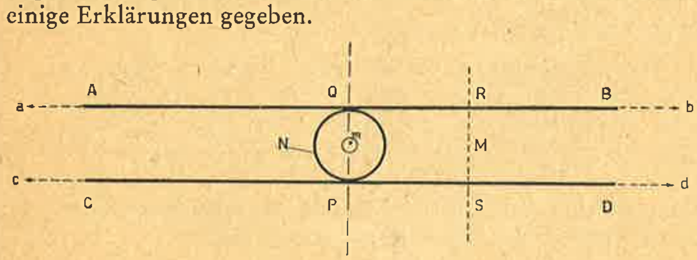


Abb. 1

Betrachten wir an dem Schema Figur 1 die beiden Lineale AB und CD; zwischen ihnen eine Rolle N, die mit ihrem Mittelpunkt m entweder nach rechts oder links verschoben werden kann. Würden sich beide Lineale gleichzeitig in derselben Richtung nach b bzw. d bewegen, so wäre gewiß, daß sich die Scheibe nicht dreht, und nur der Mittelpunkt wäre um das gleiche Maß in Richtung M gewandert. Das gleiche Ergebnis für den Mittelpunkt der Scheibe wäre zu erreichen, wenn sich die Lineale einzeln, eines nach dem anderen, von Q—R und P—S bewegten.

Es liegt nun selbstverständlich kein Grund vor, weshalb etwa das eine Lineal der Scheibe eine größere Bewegung mitteilen sollte als das andere; woraus folgt, daß jedes die Scheibe um die Hälfte des eigenen Weges verschiebt. Aus diesem Vorgang läßt sich schließen, daß die Verschiebung des Mittelpunktes m gleich der Hälfte der Summe der Verschiebungen beider Lineale ist; bei Bewegung beider Lineale in der gleichen Richtung.

Hierzu ein Beispiel in Zahlen: Legt das obere Lineal 16 mm zurück, das untere 12 mm, so wird eine Verschiebung des Mittelpunktes in der gleichen Richtung von $\frac{16 + 12}{2} = 14$ mm erzeugt.

Verfolgen wir weiterhin die Verhältnisse zwischen den Linealen und der Scheibe, und zwar, was geschieht, wenn sich die beiden Lineale in der entgegengesetzten Richtung bewegen.

Bewegt sich also das obere Lineal von Q nach A und das untere von P nach D, so wird, vorausgesetzt, daß die Bewegung beider Lineale gleich groß ist, der Mittelpunkt der Scheibe N seinen Standort nicht verändern. Würde jedoch die Bewegung des einen Lineals kleiner sein als die des anderen, so würde auch die Scheibe eine Bewegung erfahren. Gemäß einem Beispiel hierzu ergibt sich: die Bewegung von Lineal AB nach A beträgt 12 Millimeter, und diejenige von CD nach D hin nur 8 Millimeter; was nach vorangegangener Regel zu folgendem Ergebnis führt:

$$\frac{12}{2} = 6 \text{ in der Richtung nach A}$$

$$\frac{8}{2} = 4 \text{ in der Richtung nach D;}$$

die Gesamtbewegung des Mittelpunktes m entspricht 6 minus 4 = 2 Millimeter.

Entsteht also eine Bewegung der Lineale in entgegengesetzem Sinne, so zeigt sich eine Verschiebung des Mittelpunktes m gleich der Hälfte der Differenz der Verschiebung der beiden Lineale, und die Scheibe wandert in Richtung des Lineals, welches die größte Bewegung entwickelt hat.

Geht man schließlich mit diesen Erkenntnissen dazu über, ein Räderwerk zu konstruieren, so werden die beiden Lineale durch Kronenräder ersetzt, und die Scheibe N wird zu einem Stirnrad — siehe Figur 2.

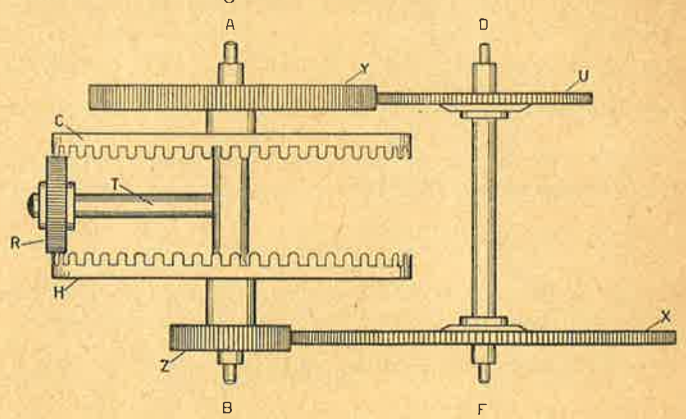


Abb. 2: Schema eines Differential-Räderwerkes.

Rechtwinklig zur Welle AB befindet sich ein Lagerbolzen für das Stirnrad R. C und H sind zwei auf der Welle AB drehbare Kronenräder. Beide Räder greifen in das Stirnrad R ein, welches seinerseits um die Achse AB verschiebbar ist. Diese drei im Eingriff stehenden Räder können auch als Kegelräder ausgeführt werden, was vorteilhafterweise im Rahmen moderner Konstruktionen auch getan wird.

Die Verschiebungsbeispiele mit den beiden Linealen und der Scheibe — in Figur 1 — werden hier zu Bewegungsphasen nach gleicher Grundlage. Dreht sich das Rad C, während Rad H feststeht, so wird das Rad R mitgeführt, und auch die Welle AB wird sich bewegen, und zwar in der gleichen Richtung wie das Rad C. Im umgekehrten Verhältnis würde auch das gleiche geschehen, wenn sich das Rad H bewegt und das Rad C feststeht. Die Bewegung kann in gleicher oder entgegengesetzter Richtung stattfinden, stets wird das Rad R die Welle AB unter jenen Bedingungen mitbewegen, die man aus dem Experiment mit den Linealen entnehmen konnte. Zusammenfassend läßt sich folgende Regel für die gesamten Wirkungen aufstellen:

Greifen zwei Kronenräder (auch Kegelräder) in ein verschiebbares Stirnrad (Kegeltrieb), welches der gleichen Achse der Räder angehört, so ist die Geschwindigkeit der gemeinsamen Achse dieser drei sich drehenden Körper gleich der halben Summe der Geschwindigkeiten der beiden Kronenräder, wenn sie sich in der gleichen Richtung bewegen, und gleich der halben Differenz der Geschwindigkeiten, wenn sie sich im entgegengesetzten Sinne drehen.

Die Zahnzahlen dieser drei Räder nehmen keinen Einfluß auf die vorgenannte Regel, solange die beiden horizontalen Räder die gleiche Zahnzahl aufweisen.

Nachstehend noch einige Beispiele mit Zahlen zu dieser sinnreichen Einrichtung und günstigen Vorrichtung für den Bau komplizierter Räderwerke. Dieser Mechanismus kann dazu dienen, Geschwindigkeiten zu addieren oder den Unterschied zwischen zwei Geschwindigkeiten anzugeben.

Nehmen wir an, daß eine zweite Welle DF zwei Räder X und U trägt, welche mit zwei anderen Rädern Y und Z im Eingriff stehen, und daß diese wiederum mit je einem Kronenrad verbunden sind. Die Zahnzahlen von X sind 60, von U 40, von Y 10 und von Z 5, so daß sich folgende Umdrehungsverhältnisse ergeben:

$$\frac{X}{Z} = \frac{60}{10} = 6 \quad \text{und} \quad \frac{U}{Y} = \frac{40}{5} = 8$$

Ist die Drehrichtung von Y und Z die gleiche, so ergibt sich für die Geschwindigkeit der Welle AB im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Welle FD ein Wert von: $\frac{8+6}{2} = \frac{14}{2} = \frac{7}{1}$

Wenn also die Welle FD einen Umgang ausführt, so macht die Welle AB in der gleichen Zeit sieben Umgänge. Auffallend ist hierzu, daß im Gegensatz zu allen üblichen Räderwerksberechnungen in keiner der beteiligten Zahnzahlen der Faktor 7 enthalten ist, obwohl das Verhältnis am Ende $\frac{7}{1}$ beträgt.

Würde man durch ein Zwischenrad (Schaltrad) vor dem Rad Z bewirken, daß sich dieses im entgegengesetzten Sinn zu Rad Y drehte, so wäre das Verhältnis: $\frac{8-6}{2} = \frac{2}{2} = \frac{1}{1}$

Beide Wellen AB und DF würden sich jetzt mit derselben Geschwindigkeit drehen, und das Beispiel zeigt, daß ein einfaches Zwischenrad das Drehungsverhältnis von $\frac{1}{7}$ auf $\frac{1}{1}$ ändern kann.
Die Welle AB dreht sich in beiden Fällen in der gleichen Richtung wie das Kronenrad H.

Sollte erreicht werden, daß sich die Welle AB in entgegengesetzter Richtung von dem Rad H drehen muß, so wäre das Zwischenrad nicht zwischen Z und X einzuschalten, sondern zwischen den Rädern U und Y; das Endverhältnis wäre aber dennoch $\frac{1}{1}$

Als nächstes noch einige Beispiele, die im direkten Zusammenhang mit der Konstruktion astronomischer Kunstuhren stehen, und die Anwendung der Differential-Räderwerke bei Drehungsverhältnissen mit großen und unzerlegbaren Zahlen aufzeichnen.

Da die Geschwindigkeit der Welle AB immer die Summe oder Differenz zweier Geschwindigkeiten geteilt durch 2 ist, können wir den Ausdruck des Geschwindigkeitsverhältnisses der Welle AB mit 2 multiplizieren. Man erspart dabei den Divisor, der während der Berechnung stören könnte.

Aus den stets vorangegangenen astronomischen Berechnungen ist beispielsweise $\frac{25\,101}{850}$ ein gegebenes Verhältnis, welches man anwendet, um die Bewegung des Mondes — von einem Neumond zum andern — mechanisch nachbilden zu können.

Abgeändert kann das Verhältnis auch $\frac{14101 + 11000}{850}$ oder auch $\frac{14\,101}{850} + \frac{11\,000}{850}$ lauten. Wird der gemeinsame Nenner mit 2 multipliziert, so ergibt sich $\frac{14\,101}{1700} + \frac{11\,000}{1700}$

In diesen beiden Verhältnissen sind die Zahnzahlen der beiden zusammenwirkenden Laufwerke enthalten. Einmal diejenigen, die auf das Rad H einwirken, und jene des Räderwerkes, die auf Rad C Einfluß nehmen.

Ein erster Versuch könnte folgendes Ergebnis bringen: $\frac{239 \cdot 59}{50 \cdot 34}$ und $\frac{110 \cdot 100}{50 \cdot 34}$ Eine mögliche Lösung wäre dies schon, nur sollten allgemein — der Herstellungs- und Raumfrage wegen — keine Räder mit mehr als 150 Zähnen einkalkuliert werden.

Eine andere Lösung ergibt sich, wenn man das Verhältnis $\frac{25\,101}{1700}$ folgendermaßen zerlegt:

$$\frac{25\,101}{1700} = \frac{15\,000}{1700} + \frac{10\,101}{1700} = \frac{150 \cdot 100}{50 \cdot 34} + \frac{111 \cdot 91}{50 \cdot 34}$$

Es wäre selbstverständlich möglich, noch eine Vielzahl anderer Lösungen zu erhalten, aber die soeben gefundene Gruppe wird sich zweifellos praktisch erweisen, und man kann die Aufgabe als gelöst betrachten.

Bei beiden vorangegangenen Lösungen drehen sich die zwei Kronenräder in der gleichen Richtung, weil sich die Verhältnisse aus einer Addition ergeben.

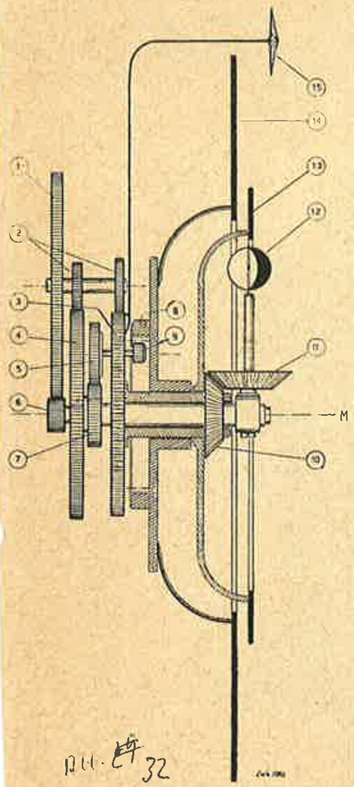
Es steht einer Konstruktion jedoch nichts im Wege, wenn es aus irgendeinem anderen Zusammenhang günstiger wäre, eines der Kronenräder in entgegengesetzter Richtung laufen zu lassen. Die Verhältnisse würden dann den Regeln der Subtraktion unterliegen. Die Stückzahl der Räder würde allerdings zunehmen, indem ein führendes Zwischenrad, beziehungsweise ein Rad und Trieb, hinzugefügt werden muß.

Hierzu ein Beispiel mit den gleichen Verhältnissen für den Mondlauf:

$$\frac{25\,101}{1\,850} = \frac{25\,101}{1700} = \frac{30\,000}{1700} - \frac{4899}{1700} =$$
$$\frac{100 \cdot 100 \cdot 30}{34 \cdot 25 \cdot 20} - \frac{71 \cdot 69}{34 \cdot 50}$$

Das komplette Räderwerk würde sich demnach aus 5 Rädern, 5 Trieben, dem Stirnrad R und den beiden Kronenrädern C und H mit beliebiger Zahnzahl zusammensetzen.

Um die vollständige Zweckmäßigkeit dieser Rädergruppen und ihrer Anordnungen richtig zu erfassen, ist es ratsam, sich in diesen Rechnungsarten einige Übung zu erwerben. Und als besondere Anregung und Möglichkeit zu solcher Weiterbildung sollte der Versuch gemacht werden, die schematische Skizze Figur 3 im wesentlichen zu verstehen. Es handelt sich dabei um einen Entwurf zu einem Sonnen- und Mondkalender mit denkbar wenigen Rädern und verhältnismäßig sehr niedrigen Zahnzahlen.



		Zähnezahl
1 =	Wechselrad	80
2 =	Wechseltriebe gleicher Zahnzahl	19
3 =	Stundenrad	57
4 =	Tagesrad	59
5 =	Schaltrad	60
6 =	Viertelrohr	10
7 =	Mondrad	59
8 =	Tierkreisrad mit Innenverzahnung	73
9 =	Schalttrieb	6
10 + 11 =	Mondkegelräder gleicher Zahnzahl	15
12 =	Mondkugel (halb dunkel, halb hell)	
13 =	Scheibe mit Mondkalender-Einteilung	
14 =	Scheibe mit Sonnenkalender, Tierkreissternbilder und Zodiak	
15 =	Sonnenornament (fest am Rad 3)	

Abb. 3: Räderwerk zu einem Sonnen- und Mondkalendarium von L. M. Loske.

Das System ist von ganz besonderer Eigenart, und es wurde schon in ähnlicher Weise vor Jahrhunderten für Turmuhren verwendet. Charakteristisch hierzu ist die Einteilung des Zifferblattes in 2 mal 12 Stunden — vergleiche hierzu frühere Abbildungen in der Kunstdruckbeilage der „Uhr".

Außer der Achse des Wechselrades 1 (mit Trieben 2) dreht sich das ganze Räderwerk einschließlich der Zifferblätter 13 und 14 mit ihren kalendarischen Einteilungen und Sinnbildern täglich einmal um seine Mittelachse M. Liegt der Stundenreif mit den erwähnten 2mal 12 Stundenzahlen außerhalb der Kreisbahn des Sonnenornaments, so kann dieses gleichfalls als Stundenzeiger fungieren. Trotzdem dadurch die „Sonne" um je 15 Grad in einer Stunde am Zifferblattumfang fortschreitet, bleibt ihre Beziehung zum Tierkreisring und dessen Einteilungen auf der Scheibe 14 bewahrt; weil — wie bereits gesagt — das ganze System den täglichen Umlauf mitmacht.

Die erforderlichen Verschiebungen zwischen der Sonne, dem Mond und ihren kalendarischen Einteilungen werden schließlich durch die sinnreichen Rädergruppen innerhalb der Gesamtbewegung vorgenommen. Somit eilt beispielsweise der Tierkreisring täglich der Sonne um 1 Grad voraus, so daß ein ständiges Fortschreiten der Sonne — entgegen der Zeigerdrehrichtung — in Augenschein tritt.

Die Bezugnahme der Mondkugel zu seinem Zifferblatt 13 verhält sich in gleicher Weise. Beides bewegt sich mit der täglichen Umdrehung des Räderwerkes, aber dennoch entsteht eine Verschiebung untereinander, die den Verhältnissen in der Natur entspricht. Die zusätzliche Bewegung der Mondkugel um sich selbst — durch Kegelrad 11 — findet in der Natur nicht wirklich statt; was jedoch damit erreicht werden kann, ist die optische Wiedergabe des Mondphasenwechseles. Zu diesem Zweck ist die eine Hälfte der Kugel dunkel und die andere hell gefärbt. Ein schmaler frontaler Reif sperrt die Sicht zur rück-

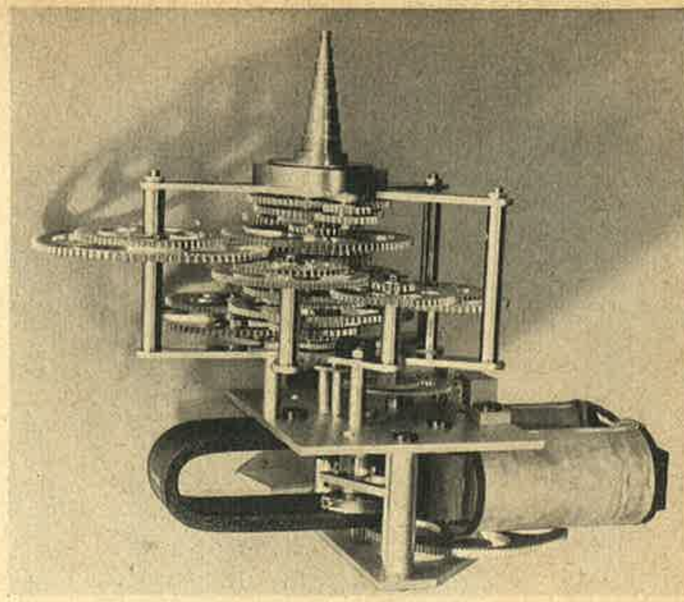


Abb. 4

wärtigen Halbkugel, und so entsteht von vorn gesehen das Wechselspiel der Phasen: 🌕 🌒 🌑 🌘.

Ein spezielles Räderwerk für die Bewegung der 9 Planeten unseres Sonnensystems zeigt die Abbildung 4. Es ist eine Gruppe von 40 Rädern und 4 Trieben, die gemeinsam um eine Mittelwelle ein Übersetzungsverhältnis ins Langsame von

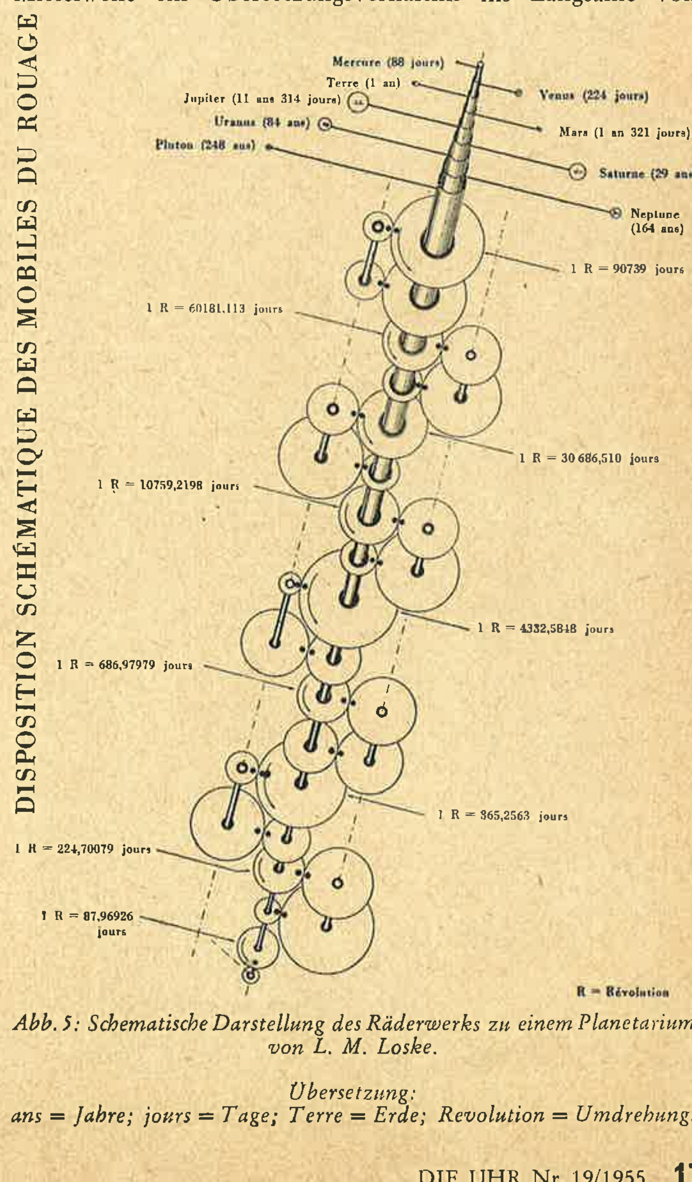


Abb. 5: Schematische Darstellung des Räderwerks zu einem Planetarium von L. M. Loske.

Übersetzung:
ans = Jahre; jours = Tage; Terre = Erde; Revolution = Umdrehung.