



fischer Elemente der Technik

Heft 1

Bewegungen und ihre Umformung

fischer Elemente der Technik

Heft 1

**Bewegungen
und ihre Umformung**

fischer-Elemente
der Technik

Haar
Bewegungs-
und ihre Umformung

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
1. Bewegungslehre mit fischertechnik	6
2. Bewegungen und ihre Umwandlungen	7
2.1. Was ist Bewegung?	7
2.2. Es kommt auf den Standpunkt an!	7
2.3. Wie ein Körper sich bewegen und doch stillstehend erscheinen kann	8
2.4. Die 3 Grundformen der Bewegung	9
Die Translationsbewegung	9
Die Rotationsbewegung	10
Die allgemeine Bewegung	10
2.5. Bewegungen können umgewandelt werden	13
2.6. Die wichtigsten Bewegungsumwandlungen	14
2.6.1. Umwandlung einer rotierenden in eine geradlinige Translationsbewegung	14
2.6.2. Umwandlung einer geradlinigen Translationsbewegung in eine Rotationsbewegung	15
2.6.3. Umwandlung von periodischen Bewegungen	15
Umwandlung einer rotierenden in eine oszillierende Bewegung	15
Umwandlung einer oszillierenden in eine rotierende Bewegung	17
Umwandlung einer rotierenden in eine schwingende Bewegung	18
Umwandlung einer schwingenden in eine rotierende Bewegung	18
Umwandlung einer oszillierenden in eine schwingende Bewegung	19
Umwandlung einer schwingenden in eine oszillierende Bewegung	20
2.6.4. Mehrfache Umwandlungen von Bewegungen	20
<hr/>	
3. Anhang	21
3.1. Über das Messen von Bewegungen	21
3.2. Die Basiseinheit der Länge	21
3.3. Winkeleinheiten	23
3.4. Der Umfangsweg bei der Rotationsbewegung	24
4. Literatur	26
5. Bilder der Funktionsmodelle	27

Vorwort

Die Reihe »Elemente der Technik«, deren erstes Heft hier vorliegt, soll die Grundprinzipien aufzeigen, nach denen technische Einrichtungen arbeiten. Sie wendet sich sowohl an den technisch interessierten Laien als auch an den Hobby-Bastler, an den Lernenden, welcher in einer technischen Ausbildung steht, ebenso wie an den Lehrenden, der technische Bildung vermitteln soll.

Das Schwergewicht wird hierbei weniger auf die Erklärung ganzer Maschinen oder Apparate gelegt, sondern es werden vor allem die Elemente dieser Einrichtungen behandelt, welche in ihrem sinnvollen Zusammenwirken die Arbeitsweise der Maschine oder des Apparates bestimmen. An die Stelle der Zergliederung der Maschine in ihre Elemente im Sinne einer analytischen Betrachtungsweise tritt hier die synthetische Methode, wobei die oft vielgestaltigen Lösungsmöglichkeiten ein und derselben technischen Aufgabenstellung gezeigt werden. Auf diese Weise wird der Leser mit einer großen Zahl solcher Elemente bekannt und kann aus diesem Repertoire sowohl selbst Lösungen für komplexere Aufgabenstellungen finden als auch ihm unbekannte Einrichtungen als Zusammenspiel solcher Elemente enträtseln, deren Einzelaktionen er kennengelernt hat. Er vermag sich also gewissermaßen in jedem unbekanntem technischen Gebilde zurechtzufinden.

Bei der Abfassung des Textes wurde außer auf verständliche und technisch richtige Darstellung die Betonung auch auf solche Sachverhalte gelegt, welche in irgendeiner Weise »merkwürdig« sind, sei es, daß sie oft unzutreffend wiedergegeben werden, sei es, daß sie dem vielbeübten »gesunden Menschenverstand« zuwiderzulaufen scheinen. Auf Formeln und Zahlen wurde absichtlich nicht völlig verzichtet, weil eine ernsthafte Beschäftigung mit der Technik Stückwerk bleibt, wenn die Möglichkeiten und Grenzen der Berechenbarkeit von Vorgängen oder Bauteilabmessungen ausgeklammert werden.

Paradoxerweise ist ja für den Leser die Formel um so notwendiger, je ferner er den Problemen steht. Der Fachmann bemißt vieles aus Erfahrung und Gefühl, was der Laie sich erst mit Hilfe der Mathematik erarbeiten muß. Die Eleganz und Prägnanz des Ausdrucks der Naturgesetze in mathematischer Sprache ist unübertroffen, und wer einmal versucht, ein einfaches Naturgesetz rein verbal quantitativ zu formulieren und anzuwenden, wird rasch den gewaltigen Vorteil der mathematischen Gleichung einsehen. Trotzdem beschränken sich die mathematischen Anforderungen in dieser Schriftenreihe auf die Kenntnis der Bruchrechnung und den Umgang mit Gleichungen mit einer Unbekannten. Später wird hier und da für den fortgeschrittenen Leser von den Winkelfunktionen \sin , \cos und \tan Gebrauch gemacht werden, deren Handhabung durch die Verbreitung der Taschenrechner sehr vereinfacht worden ist. Noch mehr als die wenigen mathematischen Kenntnisse selbst wird aber die Bereitschaft vorausgesetzt, diese auch zu nutzen. Um jedoch für den mathematisch weniger bewanderten Leser den Text leicht verständlich zu halten, werden die mathematischen Betrachtungen jeweils in einem Anhang untergebracht.

In diesem Sinne sei dem Leser und Lernenden viel Freude und Erfolg bei der Beschäftigung mit den »Elementen der Technik« gewünscht.



1. Bewegungslehre mit fischertechnik

Versteht man unter Technik alle Methoden und Einrichtungen zur Nutzung der Naturgesetze und der naturgegebenen Energien und Rohstoffe, so ist eine der wichtigsten technischen Einrichtungen die Maschine. Ihr Zweck liegt in der Erleichterung menschlicher – körperlicher oder geistiger – Arbeit. Eine Maschine ist zunächst einmal eine Verbindung mehrerer Einzelteile, die bei Energiezufuhr nutzbringende Arbeit verrichtet oder aber die zugeführte Energie in eine andere, erwünschte Energieform umwandelt. Ganz wesentlich ist aber für die Maschine, daß sie bei ihrer Tätigkeit gesetzmäßige Bewegungen ausführt. Fehlt dieses Merkmal bei einer technischen Einrichtung, so spricht man von einem Apparat. In diesem Sinne kann ein Transformator oder ein Fernsehempfänger keine Maschine sein.

Wer nun das Wesen der Maschinen allgemein oder die Funktion einer bestimmten Maschine besser verstehen, diese sinnvoll gebrauchen, bedienen und warten oder aber gar selbst Maschinen entwerfen oder bauen will, muß sich demnach in erster Linie mit deren Bewegungen befassen. Hier interessieren die verschiedenen Bewegungsformen ebenso wie ihre Hervorbringung, Weiterleitung und Umformung. Es erscheint daher ratsam, dieses erste Heft der Reihe »Elemente der Technik« der Lehre von den Bewegungen zu widmen.

Bekanntlich ist das fischertechnik-System wegen seiner vielseitig verwendbaren, präzise gefertigten Bauteile zum Aufbau von Maschinenmodellen besonders geeignet. Die verschiedenen Einrichtungen zum Erzeugen, Weiterleiten und Umformen von Bewegungen lassen sich nahezu lückenlos in Form sogen. Funktionsmodelle herstellen. Diese machen die Wirkungsweise »begreifbar« und bilden gleichzeitig das Grundmaterial zum späteren Aufbau komplizierter Modelle. Sie sind daher nicht Selbstzweck oder als Vorlagen zum einfachen Nachbauen zu verstehen, obwohl ein Teil der Modelle wegen ihres originellen Bewegungsablaufs ohne weiteres auch als Spielmodelle dienen könnte. Ebenso wird wirklichkeitsgetreues Aussehen immer zugunsten wirklichkeitsgetreuer Funktion hintangestellt, klares Herausarbeiten des Grundgedankens und technisch richtiger Aufbau werden angestrebt. Wer das Gebotene aufmerksam durchgearbeitet hat, wird sich wundern, wieviel Geist und Erfindungsgabe auch in unscheinbaren

technischen Gebilden stecken, und er wird auch bedauern, daß die moderne Technik durch das Vordringen der Elektrotechnik und Elektronik die geistreichen Mechanismen des klassischen Maschinenbaus auf manchen Gebieten verdrängt (man denke nur an die elektronische Digitaluhr im Vergleich zum herkömmlichen Uhrwerk). Über den rein mechanisch arbeitenden Maschinen mit den einfach zu durchschauenden Wirkungsprinzipien liegt schon ein nostalgischer Hauch. Auch hierin mag für manchen ein Motiv liegen, sich mit den Bewegungen auseinanderzusetzen.

Die gezeigten Modelle sind mit der Baustufe 300 bzw. mit einer niedrigen Baustufe mit entsprechenden Zusatzteilen herstellbar. Die Besitzer von Zusatzpackungen werden vielfache Anwendungsmöglichkeiten für diese Teile finden. Durch Weglassen des motorischen Antriebs und weitere Vereinfachungen lassen sich die meisten Modelle auch mit niedrigeren Baustufen bauen. Seiner Bestimmung gemäß enthält das vorliegende Heft keine kompletten Maschinen. Wer sich für die Anwendung der hier besprochenen Elemente in fischertechnik-Maschinenmodellen interessiert, sei auf die hobby Experimentier- und Modellbücher verwiesen; Hinweise auf solche Modelle sind in diesem Heft enthalten.

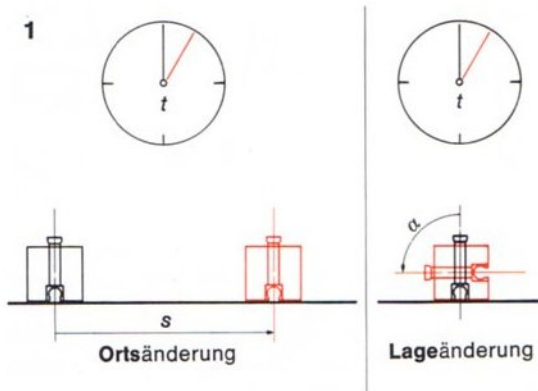
2. Bewegungen und ihre Umwandlungen

2.1. Was ist Bewegung?

Der Naturwissenschaftler nennt die Gegenstände, deren Eigenschaften er betrachtet, ganz allgemein **Körper**, gleichgültig ob es sich um Planeten, Fahrzeuge, Atom- oder Maschinenteile handelt.

Ändert ein Körper seinen Ort oder seine Lage, so spricht man von einer Bewegung.

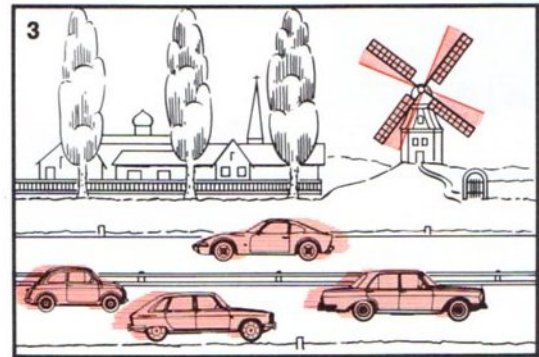
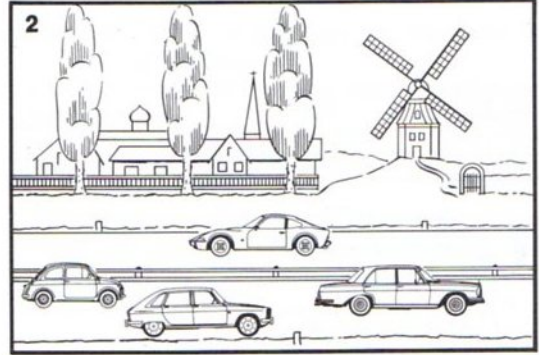
(Was mit der Änderung von Ort bzw. Lage gemeint ist, läßt sich anhand von Bild 1 verstehen.) Deshalb hängt der Begriff der Bewegung nicht nur mit dem Raum, in welchem sie stattfindet, sondern auch mit der Zeit zusammen, denn eine Bewegung läßt sich ja nur dadurch feststellen, daß man den Ort oder die Lage eines Körpers zu zwei verschiedenen Zeitpunkten vergleicht. Um die Bewegung eines Körpers erkennen zu können, sind also mindestens zwei zeitlich getrennte Messungen notwendig.



Daher kann eine fotografische **Momentaufnahme** keine Aussage über den Bewegungszustand der wiedergegebenen Körper liefern; ruhende und bewegte Körper sind auf einem solchen Bild ununterscheidbar (Bild 2), da die Beobachtung nur zu einem einzigen Zeitpunkt, nämlich dem der Aufnahme, erfolgte. Erst auf einer **Zeitaufnahme**, bei welcher zwischen Öffnen und Schließen des Kamerasverschlusses eine verhältnismäßig größere Zeitspanne verstreicht, machen sich die bewegten Körper gegenüber den ruhenden durch eine gewisse Verschwommenheit (Bewegungsunschärfe!) bemerkbar.¹

¹ Natürlich ist auch bei der kürzesten Momentaufnahme ein bewegter Körper theoretisch verschwommen, doch fällt bei genügend kurzer Belichtungszeit die Unschärfe dem Auge nicht mehr auf, weil auch Objektiv und Film nur eine begrenzte Schärfe liefern; m.a.W. die Bewegungsunschärfe geht in der allgemeinen Unschärfe des Bildes unter.

Hier geschah eben die Beobachtung nicht zu einem **Zeitpunkt**, sondern während einer **Zeitspanne** (Bild 3).

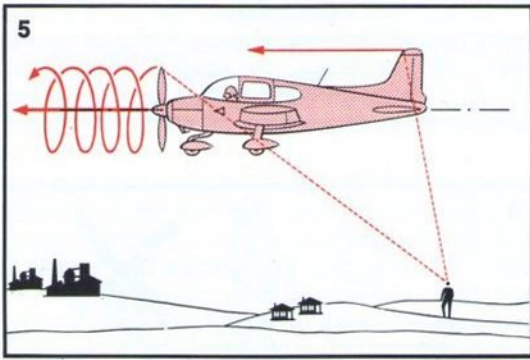
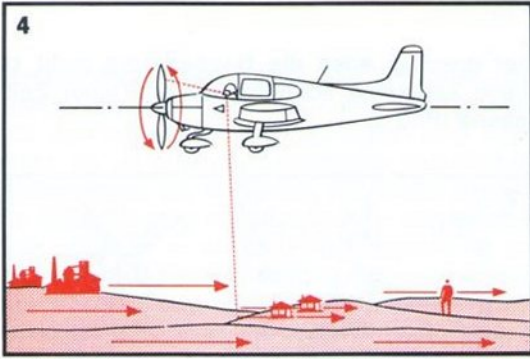


2.2. Es kommt auf den Standpunkt an!

Von welcher Art eine beobachtete Bewegung ist, hängt vom Standpunkt des Beobachters ab. So ist für den Piloten eines in gleichmäßiger Höhe geradeaus fliegenden Sportflugzeuges das gesamte Flugzeug scheinbar in Ruhe, während die Erde unter ihm zurückzugleiten und die Spitzen des Propellers einen Kreis um die Propellerachse zu beschreiben scheinen (Bild 4).

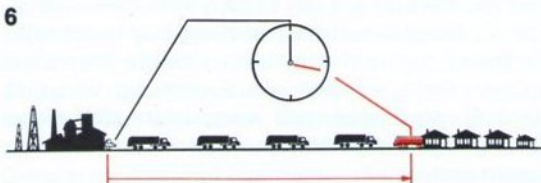
Der Beobachter auf der Erde nimmt diese natürlich als feststehend an, das Flugzeug beschreibt für ihn eine geradlinige Bahn, und die Propellerspitzen bewegen sich schraubenartig vorwärts (Bild 5). Man ahnt, wie kompliziert sich diese Bewegungen ausnehmen, wenn man sie von einem anderen Planeten aus beobachten würde,

wobei dann noch die Drehung der Erde um ihre eigene Achse und ihr Lauf um die Sonne sowie die Bewegung des Planeten eine Rolle spielen.

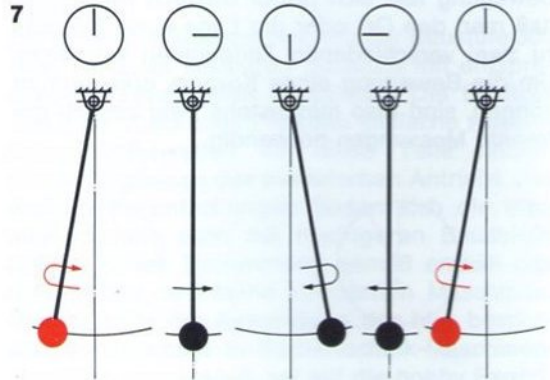


2.3. Wie ein Körper sich bewegen und doch stillstehend erscheinen kann

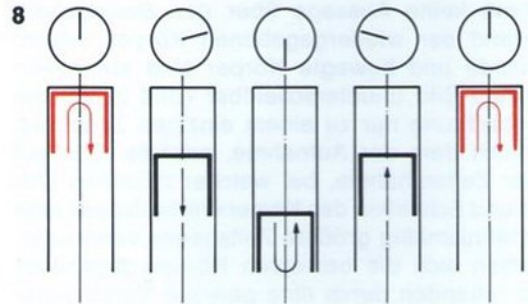
Eine besondere Art von Bewegung liegt dann vor, wenn der Körper in regelmäßigen Zeitabständen einen bestimmten Ort oder eine bestimmte Lage immer wieder einnimmt. Man spricht dann von einer **periodischen Bewegung**. Solche periodischen Bewegungen sind z. B. die Schwingungen eines Pendels, der Hin-und-Her-gang des Kolbens einer Kolbenpumpe oder eines Kolbenmotors und in einem gewissen Sinne auch die Drehbewegung einer Maschinenwelle. Periodische Bewegungen finden sich besonders häufig bei Maschinen.



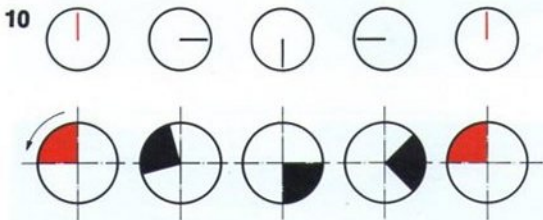
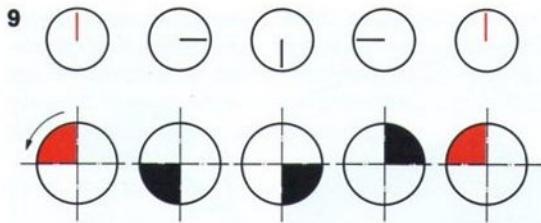
Beginnt dagegen ein Fahrzeug seine Fahrt an einem Ort, um sie nach einiger Zeit an einem zweiten zu beenden, so liegt eine aperiodische (»nichtperiodische«) Bewegung vor. Man kann sie auch **zielstrebig** nennen. Zielstrebige Bewegungen sind typisch für Verkehrsmittel (Bild 6). In Bild 7 ist die Schwingung eines Pendels dargestellt. Die über den einzelnen Stellungen gezeichneten Uhren sollen das Fortschreiten der Zeit symbolisieren. Stellt man sich vor, daß das Pendel so bemessen ist, daß ein Hin-und-Her-gang gerade eine Zeigerumdrehung der Uhr ausmacht, so sieht man, daß dieses von seiner maximalen Auslenkung nach links bis zur Mittel-lage die gleiche Zeit benötigt wie von der Mittel-lage bis zur maximalen Auslenkung nach rechts.



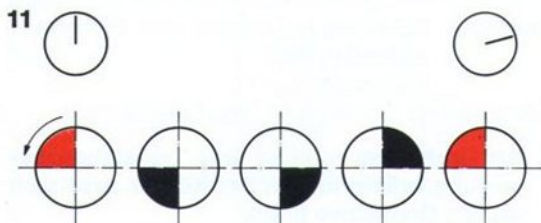
Anders ist das beim Kolben einer Kolbenmaschine. Dieser benötigt für den Weg von seiner obersten bis zur Mittelstellung eine kürzere Zeit-spanne als für denjenigen von der Mittelstellung bis zur untersten Stellung. Dies ist deutlich an den Uhren des Bildes 8 abzulesen.



In Bild 9 ist die Drehung einer Welle gezeigt. Wenn die Welle sich genau gleichförmig dreht, verstreicht für jede Vierteldrehung die gleiche Zeit. Das muß aber nicht bei jeder Drehbewegung so sein. Die Welle von Bild 10 dreht sich



ungleichförmig, wie der Vergleich zwischen der Anzeige der Uhr und der Stellung der Welle deutlich zeigt. Dieser Ungleichförmigkeit kommt man aber nur auf die Spur, wenn man genügend oft, d. h. in kurzen Zeitabständen beobachtet. Läßt man nämlich in Bild 9 und 10 die zweite und die vierte Beobachtung ausfallen, so unterscheiden sich für den Betrachter die beiden Bewegungen überhaupt nicht!



In Bild 11 wird die Welle immer dann beobachtet, wenn sie sich wieder in der gleichen Lage befindet. Obwohl die Welle sich dreht, läßt sich deren Bewegung hier nicht feststellen, denn Stellung 1 und 5 sehen genau gleich aus und sind nicht zu unterscheiden. Die Welle könnte sich genauso gut in Ruhe befinden! Man kann daraus schließen:

Beobachtet man zufällig einen sich periodisch bewegendem Körper immer gerade dann, wenn er sich wieder am gleichen Ort oder in der gleichen Lage befindet, so kann man keine Bewegung feststellen und wird den Körper als ruhend ansehen.¹

¹ Auf diesen sehr wichtigen Sachverhalt wird in einem späteren Heft anläßlich der Drehzahlmessung noch eingegangen. Hier ist nur wichtig, sich klarzumachen, daß man aus der Tatsache, daß zwei aufeinanderfolgende Beobachtungen keine Orts- bzw. Lageänderung ergeben, nicht unbedingt auf die Bewegungslosigkeit des Körpers schließen kann.

2.4. Die 3 Grundformen der Bewegung

Sämtliche Bewegungen lassen sich auf 3 Grundformen zurückführen:

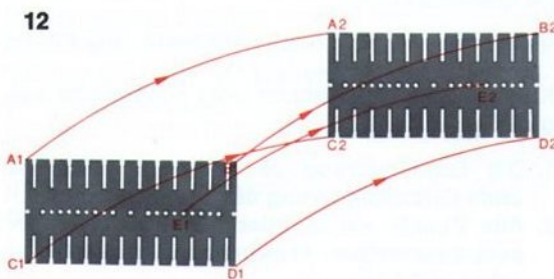
1. Die Schiebung (Translation)
2. Die Drehung (Rotation)
3. Die allgemeine Bewegung (Überlagerung von Translationen und Rotation)

Die Translationsbewegung

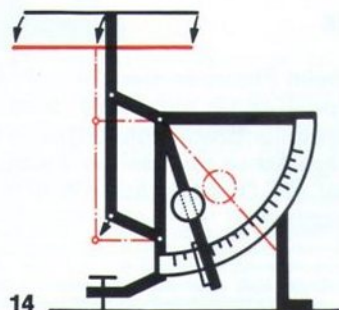
Beispiele: Fahrstuhl (Aufzug) [3], Seilbahn [4], Briefwaage [5].

Kennzeichen der Schiebung oder Translationsbewegung:

1. Die Ortsveränderung des Körpers erfolgt ohne Drehung.
2. Alle Punkte eines starren Körpers beschreiben bei einer Translationsbewegung deckungsgleiche (»kongruente«) Bahnen (Bild 12).

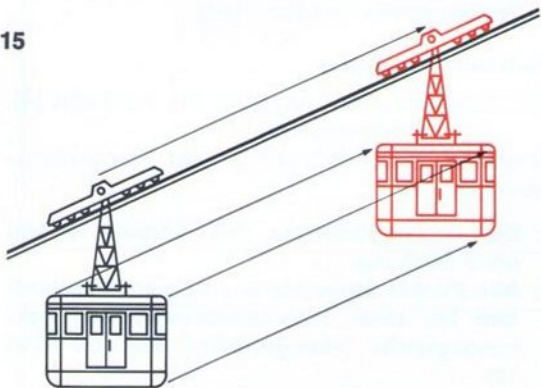


Beim Aufzug bewegen sich Fahrkorb und Fahrgäste auf senkrechten Geraden (Bild 13), bei der Briefwaage (Bild 14) darf sich der senk-



rechte Stab mit der Schale oder Platte nicht neigen; er wird durch ein Hebelsystem so geführt, daß er nur eine Translation ausführen kann. Bei der Seilbahn schließlich (Bild 15) bewegen sich Passagiere, Kabine, Laufwerk usw. auf deckungsgleichen Bahnen.¹

15



Die Rotationsbewegung

Beispiele: Plattenspieler, Ventilator [6], Bahnschranke.

Kennzeichen der Drehung oder Rotationsbewegung:

1. Die Lageänderung des Körpers geschieht ohne Ortsveränderung der Drehachse.
2. Alle Punkte eines rotierenden starren Körpers beschreiben Kreisbahnen um die Drehachse (Bild 16).

16



Beim Plattenspieler (Bild 17) und beim Ventilator (Bild 18) führen die rotierenden Teile (Plattenteller bzw. Flügelrad) volle Umdrehungen um ihre Achse aus. Bei der Bahnschranke (Bild 19) ist die Drehung auf einen rechten Winkel beschränkt.

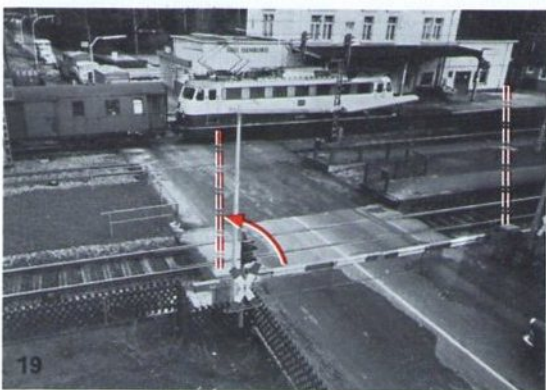
¹ Diese sind aber nicht identisch mit der Kurve des Tragseils, welche sich während der Fahrt der Kabine fortwährend ändert.



17



18



19

Die allgemeine Bewegung

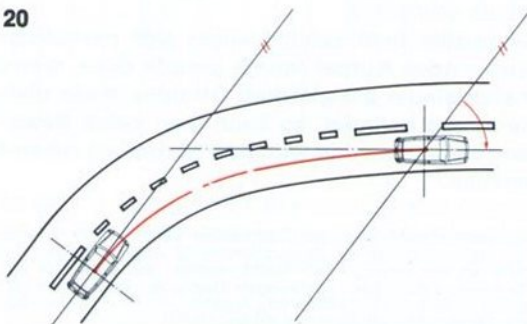
Beispiele: Fahrzeug auf Straße oder Schiene
rollendes Rad
Schraube

Kennzeichen der allgemeinen Bewegung:

1. Die Drehachse vollführt eine Translationsbewegung, während sich der Körper zusätzlich um die Drehachse dreht.
2. Die Bahnen der einzelnen Punkte eines allgemein bewegten starren Körpers sind in der Regel voneinander verschieden.

In Bild 20 ist ein Fahrzeug beim Durchfahren einer Kurve zu sehen. Außer einer Ortsveränderung findet auch eine Richtungsänderung des

20



Fahrzeuges, also eine Drehung um seine senkrechte Achse statt, wie sich an einem eingebauten Autokompaß leicht ablesen läßt. Nur ein genau geradeaus fahrendes Fahrzeug beschreibt eine reine Translationsbewegung.

21

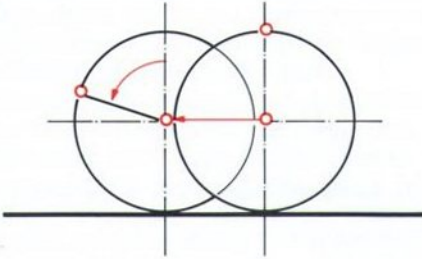
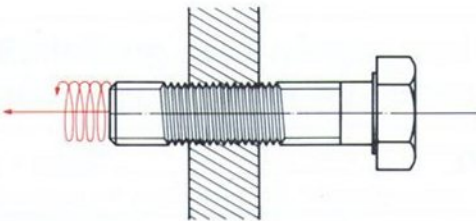


Bild 21 zeigt ein rollendes Rad. Während sich die Radachse parallel zur Fahrbahn fortbewegt, dreht sich das Rad um diese Achse herum. Das Zusammenspiel der beiden Bewegungen bewirkt, daß sich der Berührungspunkt zwischen Rad und Fahrbahn (in Wirklichkeit eine Fläche, die »Radaufstandsfläche« oder der »Latsch«) in Ruhe befindet. Rad und Fahrbahn berühren sich bei der reinen Rollbewegung ohne Gleiten. Beweis: Nach dem langsamen Durchfahren einer Pflanze bildet sich das Reifenprofil eines Kraftfahrzeuges stempelartig auf der trockenen Straße ab, was nicht der Fall wäre, wenn der Reifen gegenüber der Fahrbahn rutschen würde.¹

22

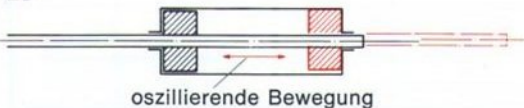


Bei der Drehung einer Schraube (Bild 22) wandert diese als Ganzes vor- oder rückwärts, führt aber dabei noch eine Drehung um ihre Längsachse aus. Eine solche Bewegung heißt **Schraubung**.

Jede der drei genannten Bewegungsarten kann zielstrebig oder periodisch ablaufen, wobei der letzte Fall technisch von besonderer Bedeutung ist.

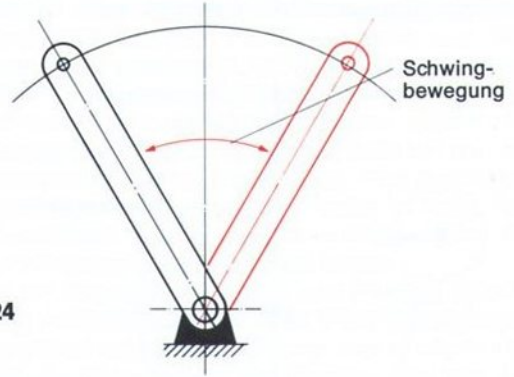
Die hin und her gehende Bewegung eines Kolbens wie in Bild 23 ist eine periodische Translationsbewegung, welche man auch als **oszillierend** bezeichnet.

23



Das Pendel in Bild 7 führt eine periodische Rotationsbewegung aus; man nennt sie **schwingend**.² Ein Maschinenteil, welches eine solche Bewegung ausführt, heißt daher **Schwinge** (Bild 24).

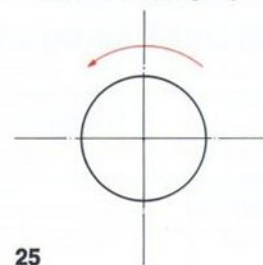
24



Wellen, welche sich gleichförmig drehen, führen Rotationsbewegungen aus, welche von Natur aus periodisch sind (Bild 25). Dagegen ist z. B. die Bewegung von Drehkränen nicht periodisch, da die gleiche Stellung nicht in denselben Zeitabständen wieder eingenommen wird. Das Gleiche gilt auch für Wellen mit ungleichförmiger Drehbewegung.

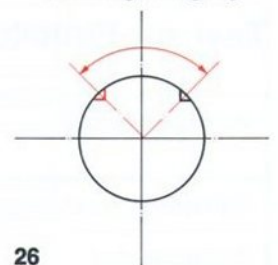
Eine periodische Rotationsbewegung liegt auch vor, wenn sich eine Welle nur um einen begrenzten Winkelbereich im Takt hin und her dreht (Bild 26).

Rotationsbewegung



25

Schwingbewegung

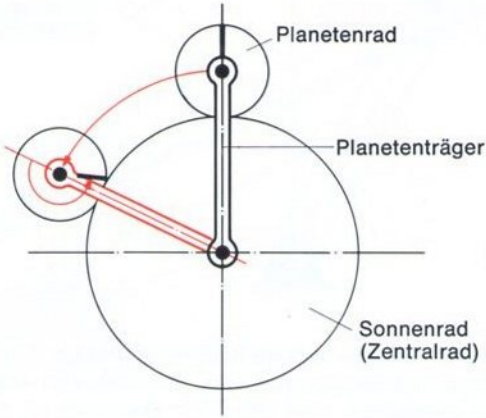


26

¹ Auf die in Wirklichkeit auftretenden Gleitbewegungen zwischen Reifen und Fahrbahn, bedingt durch die vom Reifen zu übertragenden Kräfte, soll hier nicht eingegangen werden.

² Bei der Beurteilung der Bewegung eines Körpers ist of auf Feinheiten zu achten, wie das folgende Beispiel zeigt: Ist der Pendelkörper am Ende einer Pendelstange drehbar angelenkt, etwa wie die Gondeln in einem Riesenrad (Bild 29), so dreht er sich bei der Pendelschwingung nicht mit, macht also eine reine Translationsbewegung. Ist der Pendelkörper dagegen mit der Stange steif verbunden (Bild 30), so erfährt er eine zusätzliche Drehung und vollführt eine allgemeine Bewegung. Dies wirkt sich auf die Schwingungsdauer der Pendel aus, und zwar hat das Pendel nach Bild 30 die größere Schwingungsdauer, schwingt also langsamer!

Bei dem Planetengetriebe nach Bild 27 läuft das kleine Zahnrad an einem Arm (Planetenträger) um das große herum und führt dabei eine allgemeine periodische Bewegung aus. Bild 28¹ zeigt ein fischertechnik-Modell, an welchem dieser Bewegungsablauf studiert werden kann.



27

Der nachstehende kleine Test ermöglicht es dem aufmerksamen Leser, seine erworbenen Kenntnisse gleich zu überprüfen, indem er die aufgeführten Bewegungen richtig einordnet. In jeder Zeile des Schemas müssen zwei Kreuze stehen!

29



30



¹ Die Bilder der Funktionsmodelle sind auf den Seiten 27 bis 32 zusammengefasst.

Test zur Einteilung der Bewegungen

Lösung s. S. 25

Bewegter Körper	Translation	Rotation	allgem. Bew.	period. Bew.	
				ja	nein
Spielzeuglok auf Schienenkreis					
Wippschaukel					
Windmühlenrad					
Kolben der Fahrradluftpumpe					
Korkenzieher					
Scheibenwischerblatt					
Schiffschaukel					
Schiffsschraube					
Gondel beim Riesenrad	×			×	

2.5. Bewegungen können umgewandelt werden

Diese Tatsache ist von großer Bedeutung, weil oftmals eine zur Verfügung stehende Bewegungsform für einen bestimmten Anwendungsfall ungeeignet ist. In der überwiegenden Zahl von Maschinen vollziehen sich in irgendeiner Form Bewegungsumwandlungen.

Die Rotationsbewegung wird gegenüber der oszillierenden Bewegung i. a. bevorzugt, denn bei ihr lassen sich Drehzahl, Drehwinkel, Drehrichtung und die übertragenen Kräfte auf einfache Weise ändern. Maschinen, welche ausschließlich mit rotierenden Teilen arbeiten, sind für höchste Drehzahlen geeignet und können mit geringem Aufwand zu erschütterungsfreiem Lauf gebracht werden. **Versuch:** Eine Maschine mit oszillierenden oder schwingenden Bewegungen erzeugt Erschütterungen, welche auf ihre Fundamente wirken. Als »Maschine« wird das Modell (Bild 31) verwendet, dessen schwingender Teil von einem Pendel gebildet wird. Als Pendelmasse dienen Zahnräder und Drehscheiben. Das Pendel wird durch eine Kurbelwelle in Gang gehalten, deren Kröpfung durch einen Faden mit der Pendelstange verbunden ist. Den

Antrieb liefert ein minimot. Der Faden muß so lang sein, daß er den Ausschlag des Pendels nach der Gegenseite nicht behindert. Das Gerüst des Modells ist auf leichtlaufende Räder gesetzt. Bei schwingendem Pendel führt das Gerüst eine oszillierende Bewegung jeweils in Gegenrichtung zum Pendelausschlag aus. Will man diese verhindern, muß man das Gerüst auf einem Fundament festhalten, das dann entsprechende Erschütterungen erfahren würde. Im Gegensatz dazu ist das Modell (Bild 32) nur mit rotierenden Teilen ausgerüstet. Hier bleibt das Gerüst auch bei laufendem Motor in Ruhe, das Fundament würde also theoretisch keine Erschütterungen aufzunehmen haben.

In der folgenden Übersicht sind Energie- (Kraft-) und Arbeitsmaschinen nach ihren Bewegungen geordnet aufgeführt. Sie zeigt, daß in vielen Fällen die Bewegungen der Energie- und der Antriebsmaschine einander angepaßt werden müssen. Meist wird dabei eine Rotationsbewegung zwischengeschaltet. Nur in Einzelfällen (Freikolben-Verdichter, Dampf- oder Dieselramme, Kesselspeisepumpen von Dampflokomotiven) wird die oszillierende Bewegung der Energiemaschine unmittelbar von einer Arbeitsmaschine mit ebenfalls oszillierender Bewegung verwertet.

Einteilung der Energie- und Arbeitsmaschinen nach der Art ihrer Bewegung

	Energiemaschinen	Arbeitsmaschinen
Maschinen mit oszillierender Arbeitsbewegung	Hubkolbenmotoren: Ottomotoren Dieselmotoren Einspritzmotoren Heißluftmotoren (Stirling-Motor) Kolbendampfmaschinen Freikolbenverdichter (Kurbelwellenloser Zweitaktverdichter nach Prof. Junkers)	Kolbenpumpen Kolbenverdichter Schmiedehämmer Pressen Nähmaschinen Hobelmaschinen Stoßmaschinen Hubsägen Hydraulik- und Pneumatiktriebe Aufzüge, Hebezeuge
Maschinen mit rotierender Arbeitsbewegung	Strömungsmaschinen: Wasserräder Wasserturbinen Dampfturbinen Gasturbinen Windräder Windturbinen Elektromotoren	Ventilatoren und Gebläse Kreiselpumpen Drehmaschinen Fräsmaschinen Bohrmaschinen Schleifmaschinen
Maschinen mit allgemeiner Arbeitsbewegung	Wankelmotoren Axialkolbenmotoren	Rührwerke

2.6. Die wichtigsten Bewegungsumwandlungen

2.6.1. Umwandlung einer rotierenden Bewegung in eine geradlinige Translationsbewegung

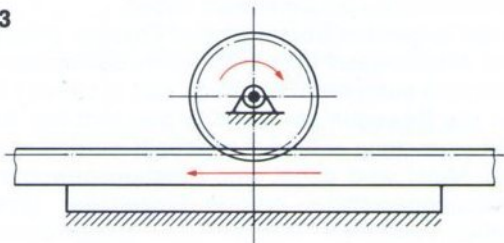
Zahnrad und Zahnstange

Zahnrad mit fester Drehachse, Zahnstange verschieblich, Bild 33

Beispiele: Zahnstangenlenkung [7], Zahnstangengewinde [8]

Funktionsmodell (Bild 34). Die Bausteine, welche die Zahnstange tragen, sind in Winkelachsen geführt.

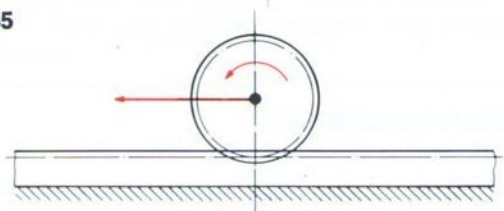
33



Zahnstange fest, Zahnrad mit Drehachse verschieblich, Bild 35

Beispiele: Säulenbohrmaschine, Zahnstangenaufzug [9], Zahnradbahn [10]

35



Funktionsmodell (Bild 36). Auf der auf dem Gestell angebrachten Zahnstange verschiebt sich das Hubgetriebe samt minimot. Die Stromzuführung geschieht über Stromschienen und Klemmkontakte als Schleifer, welche in Federgelenksteinen gelagert sind.

Reibradantrieb

Reibrad mit fester Drehachse (Bild 37).
Beispiele: Walzwerk, Brett- oder Riemenfallhammer [11], Tonband-Transport

Funktionsmodell (Bild 38). Das zu transportierende Band wird durch eine Strebe dargestellt.

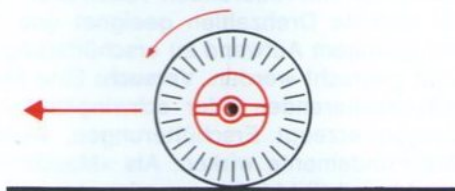
37



Es lässt sich natürlich durch einen Papierstreifen entsprechender Breite ersetzen. Als »Tonrolle« dient die Achse 40 des minimot-U-Getriebes. Die Andruck-Rolle ist ein Reifen 45 mit Gummiring. Ihre Achse ist in 2 Gelenksteinen gelagert. Die Anpreßkraft wird durch einen Gummiring erzeugt, dessen Spannung durch Verschieben des Seilhakens eingestellt werden kann. Als Bandführungen sind Bausteine 30 vorgehen.

Reibrad mit wandernder Drehachse (Bild 39)
Beispiel: Rad auf Schiene bzw. Reifen auf Fahrbahn.

39



Zugmittel (Seil, Kette, Riemen)

Seil und Seiltrommel (Bild 40)

Beispiele: Aufzug, Schrägaufzug

Seil und Seilscheibe (Bild 41)

Beispiele: Seilbahn, Schachtförderanlage [12]

40



41



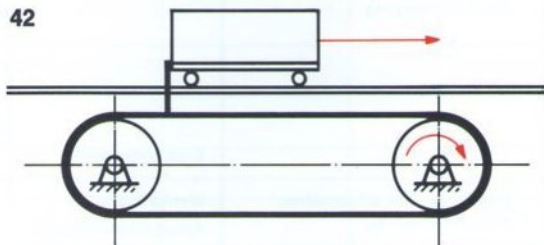
47



Endloses Zugmittel (Bild 42)

Beispiele: Förderband [13], Schleppkettenförderer [14]

42



Beim Modell (Bild 43) wurde als Zugmittel eine Kette verwendet. Das Prinzip entspricht Seil und Seilscheibe, also Bild 41. Ebenfalls eine Kette als Zugmittel findet im Modell Bild 44 Anwendung. Hier wird durch Drehung an der Handkurbel der auf zwei Achsen 200 geführte Zeiger verschoben. Es handelt sich um das Prinzip von Bild 42. Die Kette kann auch durch ein Seil oder die Antriebsfeder ersetzt werden (vergl. Skalenzeigerantrieb bei Rundfunkgeräten).



Schraubenspindel und Mutter (Bild 45). Durch Drehen der Schraubenspindel verschiebt sich die Mutter in der Führung (Korkenzieher, Drehmaschinen-Support, Wagenheber). Ein Funktionsmodell zeigt Bild 46.

2.6.2. Umwandlung einer geradlinigen Translationsbewegung in eine Rotationsbewegung (Umkehrung des vorstehenden Problems)

Hier sind im Prinzip die gleichen Einrichtungen anwendbar bei umgekehrtem Bewegungsfluß. Die praktischen Anwendungen sind jedoch selten.

Bei der Schraubenspindel mit Mutter (Prinzip des Drillbohrers) ist zu beachten, daß die Steigung des Schraubengewindes groß genug ist, um »Selbsthemmung« zu vermeiden. Bei zu geringer Schraubensteigung verhindert sonst die Reibung die Bewegung von der Mutter her.

Bild 47 zeigt die Umwandlung einer geradlinigen Translationsbewegung in eine Drehbewegung mit Hilfe eines Zugmittels, meist einer Kette, wie sie beim Schraubenflaschenzug angewendet wird. Durch Ziehen an der Kette wird das Zahnrad bzw. Kettenrad in Drehung versetzt (s. a. das Modell nach Bild 48).

2.6.3. Umwandlung von periodischen Bewegungen

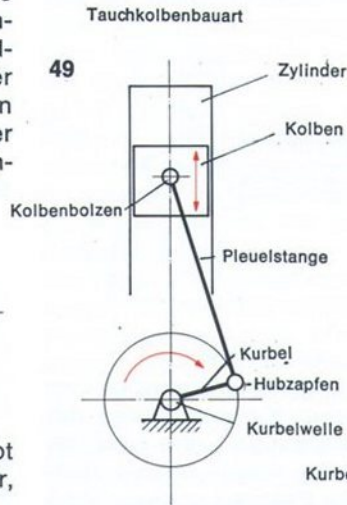
Umwandlung einer rotierenden Bewegung in eine oszillierende Bewegung

Geradschub-Kurbelgetriebe

Tauchkolbenbauart (Bild 49)

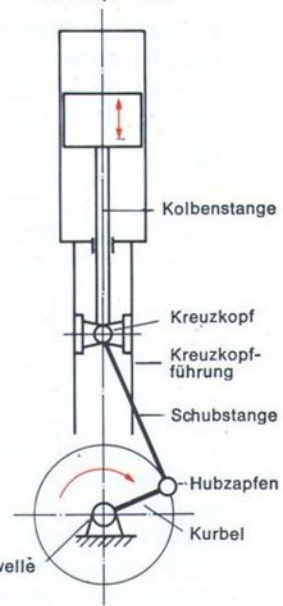
Beispiele: Kolbenpumpen, Kolbenverdichter, Hubsägen [15], Schüttelsiebe

49



51

Kreuzkopfbauart



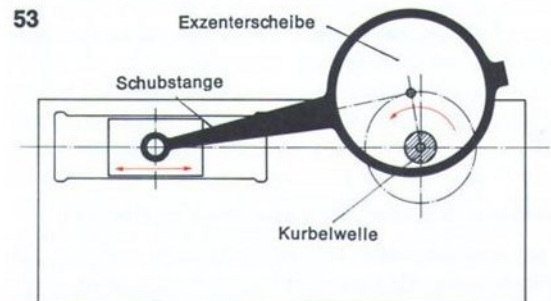
Funktionsmodell (Bild 50). Die Schub- oder Pleuelstange vermittelt zwischen den beiden Bewegungen. Ein Ende führt die oszillierende, das andere die rotierende Bewegung aus. Die Pleuelstange selbst macht als Ganzes eine allgemeine Bewegung.

Kreuzkopfbauart (Bild 51).

Hier wird die seitlich wirkende Kraft der Pleuelstange vom Kolben ferngehalten und von einem in einer Führung gleitenden sogen. Kreuzkopf aufgenommen. Diese Bauart findet sich im Großmaschinenbau.

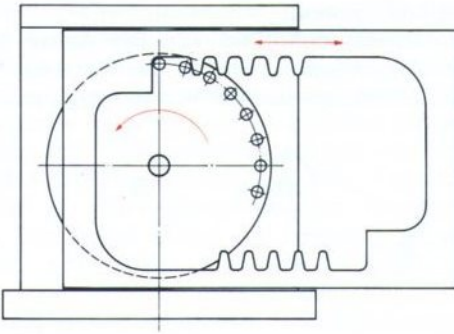
Funktionsmodell (Bild 52). Hier ist im Gegensatz zur stehenden Anordnung des Modells (Bild 50) die liegende Bauweise gewählt.

53



Exzentergetriebe (Bild 53).

Denkt man sich den Durchmesser des Pleuelzapfens eines Geradschub-Kurbelgetriebes so lange anwachsen, bis letzterer die Pleuelstange umfaßt, so wird er zur Exzentrerscheibe. Dann läßt sich anstelle der gekröpften Pleuelstange

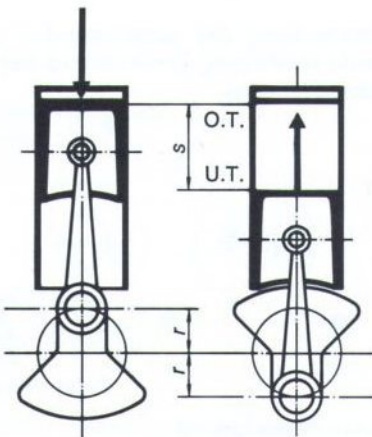


eine Spezialverzahnung notwendig wäre. Der Rahmen gleitet auf der Grundplatte und zwischen Bausteinen 15 und 30. Außerdem ist er durch in den Bausteinen 30 steckende Winkelachsen am Herausfallen gehindert. Er muß klemmfrei verschieblich sein. Die Lage der gleichseitigen Winkelsteine auf den waagrechten Balken, der obere Balken und die Wellenlagerung sind so einzustellen, daß bei gleichbleibender Drehrichtung der Drehscheibe der Eingriff der 3 Achsen 40 an den oberen oder unteren Winkelstücken erfolgt, je nachdem in welcher Richtung sich der Rahmen bewegt. Auf alle Fälle muß vermieden werden, daß die Achsen 30 an den oberen und unteren Winkelstücken zugleich anlaufen, da sonst das Getriebe blockiert. Bei sorgfältiger Einstellung wird das Getriebe einwandfrei arbeiten, allerdings nur in einer Drehrichtung.

Umwandlung einer oszillierenden in eine rotierende Bewegung (Umkehrung der vorigen Aufgabenstellung)

Geradschub-Kurbelgetriebe in Tauchkolben- und Kreuzkopfbauart nach Bild 49 u. 51

Beispiele: Verbrennungsmotoren in Hubkolbenbauart, Dampfmaschinen, Heißluftmotoren



Bei der Bewegungseinleitung in die genannten Getriebe vom oszillierenden Teil her treten zwei Stellungen auf, in denen durch keine noch so große Kraft eine Drehbewegung bewirkt werden kann. Diese Stellungen heißen **Totpunkte** (Bild 65). Die Strecke zwischen dem oberen Totpunkt (O.T.) und dem unteren Totpunkt (U.T.) heißt **Hub** s . Er ist gleich dem doppelten Kurbelradius r . Diese Bezeichnungen gelten sinngemäß auch für die liegende Bauart, das heißt, O.T. ist immer derjenige Totpunkt, der am weitesten von der Pleuellagerung entfernt ist.

Die Totpunkte müssen durch geeignete Einrichtungen überwunden werden, da sonst das Getriebe nicht weiterläuft. Man verwendet dazu am einfachsten ein Schwungrad.

Das **Kreuzschleifengetriebe** wäre für die genannte Bewegungsumwandlung prinzipiell brauchbar, wird aber kaum dazu benutzt. **Nocken- und Kurvenantriebe** sind ungeeignet, auch die **Zugmittelantriebe** werden für den genannten Zweck trotz prinzipieller Eignung nicht verwendet.



Gesperre mit Zahnstange (Bild 66)

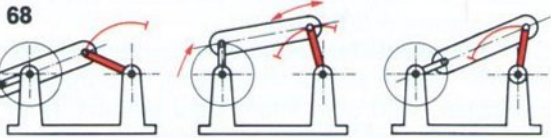
Bei der hin und her gehenden Bewegung der Zahnstange wird auch das eingreifende Zahnrad um einen gewissen Winkelbereich hin und her geschwenkt. Die Abtriebswelle wird aber wegen des eingebauten Gesperres nur in einer Richtung mitgenommen, so daß sich eine ruckweise Drehbewegung ergibt. Durch Anbau eines Schwungrades kann die Rotation gleichmäßiger gestaltet werden.

Anwendung zum Filmtransport in Kameras. Auch der erste Motor von Nikolaus Otto aus dem Jahre 1867, die atmosphärische Gasmaschine, besaß ein solches Getriebe anstelle des sonst üblichen Pleuellageres in Form des Geradschub-Kurbelgetriebes. An die Stelle des Gesperres mit Sperrklinke kann auch ein Freilauf treten.

Funktionsmodell (Bild 67): Die Pleuellagerung ist einseitig (»fliegend«) gelagert. Das Pleuellager Z_{40} ist auf die große Drehscheibe aufgesteckt. Als Sperrklinken fungieren Verbindungsstücke 15 an Bausteinen 15, welche auf Achsen 30 gelagert und durch einen Gummiring gefedert sind.

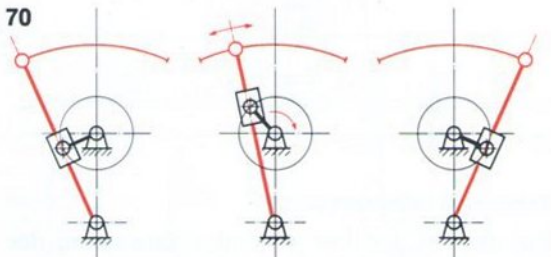
Da das Modell nicht mit einem genügend trägen Schwungrad ausgestattet werden kann, würde sich die Abtriebswelle nur hin und her drehen, da sie auch bei ausklinkendem Gesperre durch Reibung mitgenommen wird. Um dies zu verhindern, ist die Seiltrommel auf die Welle aufgesteckt. Sie greift mit einer ihrer Nasen in die Nut des Lagerbausteins 30 und bremst hierdurch die Rücklaufbewegung der Welle ab.

Umwandlung einer Rotationsbewegung in eine schwingende Bewegung



Kurbelschwinge (Bild 68)

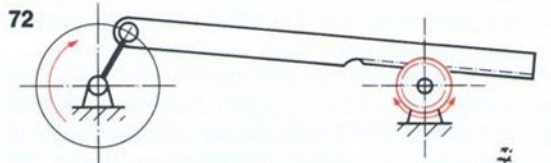
Beispiel: Scheibenwischerantrieb [17]
 Funktionsmodell (Bild 69). Die Hin- und Rückbewegung der Schwinge haben einen unterschiedlichen Ablauf; die eine ist also nicht einfach die Umkehrung der andern.



Pendelnde Kurbelschleife (Bild 70)

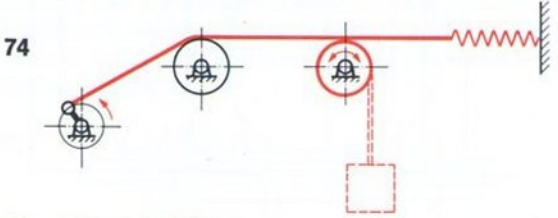
Beispiel: Waagrechtstoßmaschine [18] (Shaping-Maschine, heute meist hydraulisch angetrieben).

Funktionsmodell (Bild 71). Die Hin- und Rückbewegung der Schwinge erfolgt mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, auch wenn die Kurbel gleichförmig gedreht wird. Dies ist am Modell deutlich wahrnehmbar, besonders wenn es mit einem Antriebsmotor ausgerüstet wird.



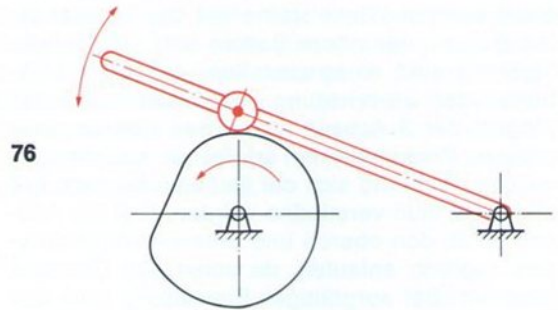
Kurbel und Zahnstange (Bild 72)

Beispiel: Scheibenwischermotor [17]
 Funktionsmodell (Bild 73). Die Achse 60 mit Klemmbuchsen verhindert das Herauspringen der Zahnstange aus der Verzahnung des Rades.



Zugmittelgetriebe (Bild 74)

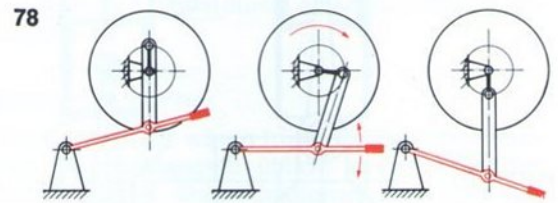
Da das Zugmittel nur Zugkräfte übertragen kann, ist als Gegenkraft eine Federkraft oder die Gewichtskraft erforderlich.
 Funktionsmodell Bild 75



Kurvengetriebe (Bild 76)

Je nach Form der Kurvenscheibe ist eine weitgehend beliebige Schwingbewegung zu erreichen. Für die einwandfreie Berührung zwischen Kurvenscheibe und Rolle muß entweder die Schwerkraft oder eine andere, z. B. eine Federkraft sorgen. Bei hohen Drehzahlen der Kurvenscheibe ist sonst ein Abheben der Rolle von der Scheibe zu befürchten.
 Funktionsmodell Bild 77

Umwandlung der schwingenden in eine rotierende Bewegung (Umkehrung der vorigen Aufgabenstellung)



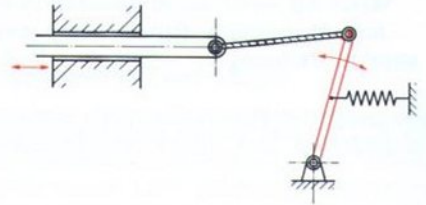
Kurbelschwinge (Bild 78)

Beispiele: Nähmaschine, Schleifstein [19], Feldschmiedegebläse mit Fußantrieb.

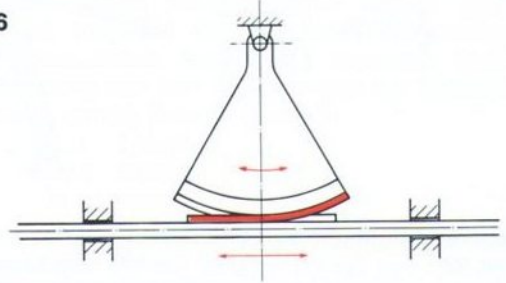
Funktionsmodell (Bild 79). Bei der Kurbelschwinge treten im Falle der Bewegungseinleitung von der Schwinge her die gleichen Schwierigkeiten mit Totpunktstellungen auf wie beim Geradschub-Kurbelgetriebe (s. die Teilbilder von Bild 78). Zur Überwindung der Totpunktlagen wird meist wieder ein Schwungrad verwendet. Am Modell muß die Wirkung des Schwungrades durch einen Gummiring unterstützt werden, welcher den Fußhebel hochziehen hilft.

Die übrigen Anordnungen wie **pendelnde Kurbelschleife** usw. sind für den angestrebten Zweck nicht geeignet oder ungebräuchlich.

84



86

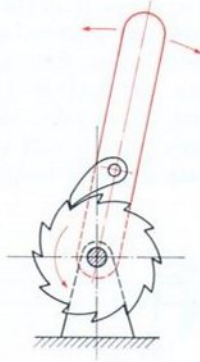


durch Zugmittel

Bild 84 und 85

Bild 86 und 87. Das Zugmittel (Riemen, Stahlband) rollt auf einem Kreissegment ab.

80

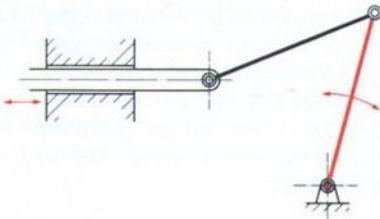


Stoßklinke [20] (Bild 80)

Anwendung z. B. bei Seilwinden
Funktionsmodell (Bild 81)

Umwandlung einer oszillierenden in eine schwingende Bewegung

82



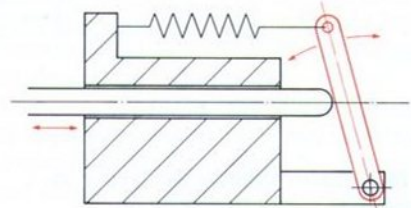
durch Schubstange (Bild 82)

Funktionsmodell (Bild 83)

durch Zahnstange ähnlich Bild 33

Funktionsmodell: Umkehrung von Bild 34

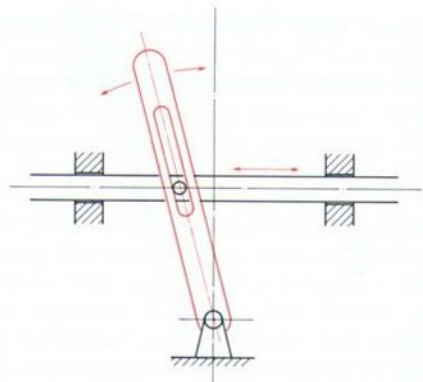
88



durch unmittelbare Berührung

Bild 88 und 89. Die Rückführung der Schwinge geschieht durch Federkraft.

90

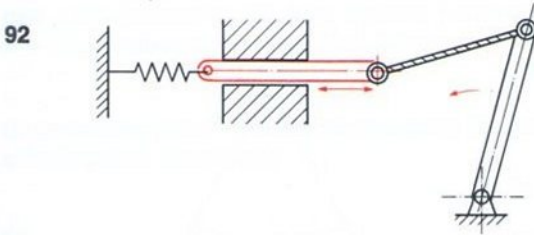


durch eine »Schleife«

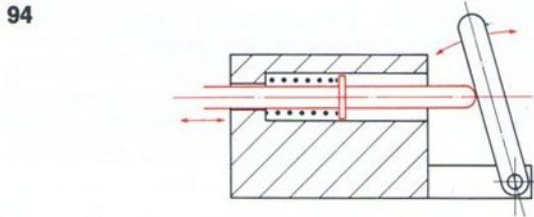
Bild 90 und 91

Umwandlung einer schwingenden in eine oszillierende Bewegung (Umkehrung der vorigen Aufgabenstellung)

Alle gezeigten Prinziplösungen sind umkehrbar, lediglich bei den Zugmittelgetrieben sind die

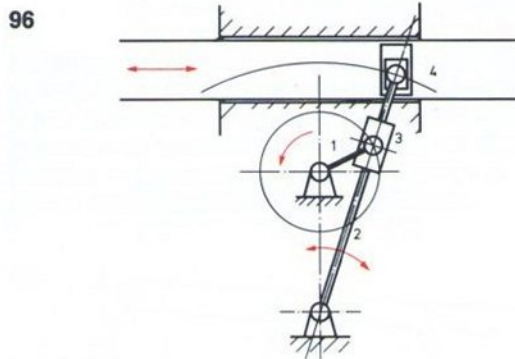


Federanordnungen zu vertauschen (Bild 92 und Bild 93). Das Gleiche gilt für die mit Berührung arbeitenden Einrichtungen (Bild 94 und Bild 95).



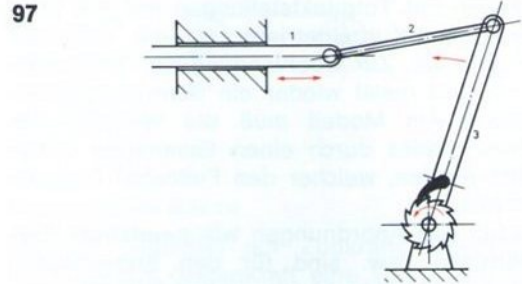
2.6.4. Mehrfache Umwandlungen von Bewegungen

In vielen technischen Anwendungsfällen sind mehrere Bewegungsumwandlungen hintereinandergeschaltet. Bei der erwähnten Waagrechtstoßmaschine mit Kurbelschleifenantrieb

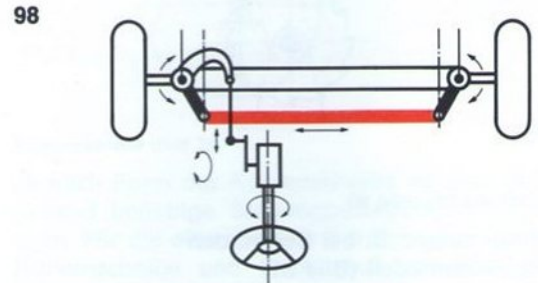


(Bild 96) wird die rotierende Bewegung der Kurbel 1 in die Schwingbewegung der Schwinde 2 umgewandelt und diese wieder in die oszillie-

rende Bewegung des Werkzeugschlittens 4. Dabei werden Anordnungen nach Bild 70 und 90 benutzt. Die Muffe 3 vollführt eine allgemeine Bewegung.



Das Schaltwerksgetriebe nach Bild 97 wandelt eine oszillierende Bewegung des Teiles 1 über eine Schwingbewegung des Teiles 3 in eine Rotationsbewegung des Rades 4 um. Dabei werden die Lösungen nach Bild 82 und Bild 80 benutzt. Die Verbindungsstange 2 macht eine allgemeine Bewegung ähnlich wie die Pleuelstange des Geradschub-Kurbelgetriebes.



Der Leser möge sich anhand von Bild 98 selbst überlegen, durch welche Folge von Bewegungsumwandlungen die Drehbewegung des Lenkrades in diejenige der Räder um die Achschenkelnbolzen umgeformt wird.

Damit sind die wichtigsten Bewegungsarten und ihre Umwandlungsmöglichkeiten aufgezeigt und anhand von Modellen erläutert worden. Das nächste Heft wird sich mit der Übertragung und Weiterleitung von Bewegungen befassen sowie mit den Möglichkeiten für die Umkehrung einer Bewegungsrichtung.

3. Anhang

3.1 Über das Messen von Bewegungen

Will man Bewegungen beschreiben, vergleichen, berechnen, so muß man zahlenmäßige Angaben machen. Ohne Zahlen geht es nun einmal in der Naturwissenschaft nicht ab, und trotz der weitverbreiteten Abneigung gegen die Mathematik, auch im täglichen Leben nicht. Schließlich gibt sich beim Autokauf niemand damit zufrieden, daß ihm der Verkäufer versichert, der Wagen habe einen »bulligen« Motor, eine »phantastische« Höchstgeschwindigkeit, einen »sparsamen« Kraftstoffverbrauch. Der Käufer möchte Zahlen sehen, die Leistung in kW, die Spitzengeschwindigkeit in km/h, den Kraftstoffverbrauch in l/100 km, damit er sich ein Bild machen, vergleichen kann. Solche Zahlenangaben sind aber Ergebnisse von Messungen bzw. durch Rechnung aus solchen Messungen gewonnen. In ähnlicher Weise interessiert bei einer Translationsbewegung der zurückgelegte Weg s oder bei der Drehbewegung der Drehwinkel α . Hierzu sind jedoch zunächst einmal Maßeinheiten notwendig, denn eine Messung bedeutet nichts anderes als einen Vergleich mit der Maßeinheit. Die Zahlenangabe besagt dann, wievielmal größer oder kleiner die gemessene Größe (also z. B. der Weg oder der Drehwinkel) ist als die Einheit (d. h. die Einheit der Länge bzw. die Winkeleinheit).

Weg und Drehwinkel, aber auch Kraft, Geschwindigkeit, Rauminhalt, Temperatur usw. bezeichnet man allgemein als **physikalische Größen**. Daher gilt:

$$\text{Physikalische Größe} = \text{Zahlenwert} \times \text{Einheit}$$

also z. B.

$$\text{Weg} = \text{Zahlenwert} \times \text{Wegeinheit}$$

$$\text{Drehwinkel} = \text{Zahlenwerte} \times \text{Winkeleinheit}$$

In dem Ausdruck »3 m« ist 3 der Zahlenwert und »m« die Längeneinheit.¹

3.2. Die Basiseinheit der Länge

Die Längeneinheit wird in der Technik zur Angabe von Abmessungen, also Länge, Breite, Höhe, Durchmesser usw. gebraucht oder aber, wie bei den Bewegungen zur Angabe des von einem Körper zurückgelegten Weges. Dabei finden folgende Formelzeichen Verwendung (Formelzeichen werden zur besseren Unterscheidung von den Abkürzungen der Einheiten immer schräg [kursiv] gesetzt):

L, l	Länge
B, b	Breite
H, h	Höhe
D, d	Durchmesser
s	Weg

Vielen Lesern wird noch die Definition der Längeneinheit »Meter« als der 10millionste Teil eines Erdmeridianquadranten geläufig sein. Sie wurde ersetzt durch die Länge des Urmeterstabes, welcher in Sèvres bei Paris aufbewahrt wurde und von welchem alle dem metrischen System angeschlossenen Staaten Kopien erhielten. Beide Festlegungen enthielten für die moderne Wissenschaft unerträgliche Unzulänglichkeiten und sind heute überholt. Die übrigens sehr interessante Geschichte des metrischen Systems findet der Leser in [1].

Seit 1960 ist aufgrund der Übereinkunft der XI. Generalkonferenz für Maß und Gewicht eine neue Definition gültig, welche hier einmal im Wortlaut wiedergegeben sei:

Die Basiseinheit 1 Meter ist das 1650763,73-fache der Wellenlänge der von Atomen des Nuklids ^{86}Kr (Krypton) beim Übergang vom Zustand $5d_5$ zum Zustand $2p_{10}$ ausgesandten, im Vakuum sich ausbreitenden Strahlung. [2]

Zur Erläuterung dieser nicht leicht verständlichen Definition sei nur soviel bemerkt: Die Atome des Edelgases Krypton können Energie in Form von Lichtstrahlung aussenden. Wie jede Lichtstrahlung besitzt auch diese eine Wellenlänge, die von dem Stoff, in welchem sich die Welle ausbreitet, abhängt. Daher hat man den luftleeren Raum für die Ausbreitung vorgeschrieben. Die Wellenlänge dieser Strahlung ist sehr klein. Erst mehr als 1,6 Millionen Wellenlängen ergeben 1 Meter. Der Vorteil dieser neuen Definition liegt nun darin, daß jeder entsprechend ausgebildete Wissenschaftler mit den dazu nötigen Apparaten diese Strahlung erzeugen und ihre Wellenlänge ausmessen kann. Er ist damit in der Lage, sich die Längeneinheit

¹ Vielfach wird fälschlicherweise der Ausdruck »Dimension« anstelle der richtigen Bezeichnung »Einheit« verwendet. Ohne hier auf die nicht ganz einfache Erklärung des Begriffes »Dimension« einzugehen, sei der Unterschied zwischen Dimension und Einheit anhand zweier Beispiele aufgezeigt: **Der Weg hat die Dimension einer Länge und die Einheit »Meter«.** **Die Schwingungsdauer eines Pendels hat die Dimension einer Zeitspanne und die Einheit »Sekunde«.**

herzustellen, und kein Land ist mehr von der Kopie des Urmeterstabes abhängig. Außerdem ist die erzielbare Genauigkeit ungleich größer als bei den alten Definitionen; sie liegt bei einem millionstel Prozent!

Aufgrund der Längeneinheit können nun die für den praktischen Gebrauch bestimmten Maßstäbe, Meßzeuge, Wegstreckenmesser usw. angefertigt und geeicht werden. Dabei ist zu beachten, daß die Werkstoffe, aus denen die Maßstäbe usw. hergestellt sind, ihre Abmessungen durch Temperatureinflüsse ändern. Daher müssen Meßzeuge für die industrielle Fertigung bei 20° C Raumtemperatur geeicht und für besonders genaue Messungen auch bei dieser Temperatur benutzt werden. Sie sind übrigens bei 0° C um rund 0,23 mm kürzer als 1 Meter.

Das 1969 beschlossene Gesetz über Einheiten im Meßwesen mit der Ausführungsverordnung vom 26. 6. 1970 bestimmte die Einführung des Internationalen Einheitensystems SI (Système International d'Unités) in der Bundesrepublik Deutschland. Dieses für die Wissenschaft und die Technik in aller Welt vorteilhafte neue System geht von 6 sogen. Basisgrößen aus, benötigt also auch 6 Basiseinheiten. Eine dieser Basisgrößen ist die Länge, die zugehörige Basiseinheit ist das Meter, Kurzzeichen »m«. Von den übrigen Basiseinheiten wird in den nächsten Heften die Rede sein.

Zahlenwerte mit sehr viel Nullen am Ende oder unmittelbar rechts vom Komma sind unbequem zu handhaben und schlecht zu merken. Deshalb verwendet man in solchen Fällen anstelle der Einheit selbst Teile oder Vielfache derselben in Form von Zehnerpotenzen und bezeichnet diese durch entsprechende Vorsätze: [2]

Vorsatz	Bedeutung	Teil oder Vielfaches von 1 m
Mikro-	0,000001 = 10 ⁻⁶	1 Mikrometer (µm) 1 µm = 0,000001 m
Milli-	0,001 = 10 ⁻³	1 Millimeter (mm) 1 mm = 0,001 m
Zenti-	0,01 = 10 ⁻²	1 Zentimeter (cm) 1 cm = 0,01 m
Dezi-	0,1 = 10 ⁻¹	1 Dezimeter (dm) 1 dm = 0,1 m
Kilo-	1000 = 10 ³	1 Kilometer (km) 1 km = 1000 m

Beispiele: 0,00235 m = 2,35 mm
122 700 m = 122,7 km

99

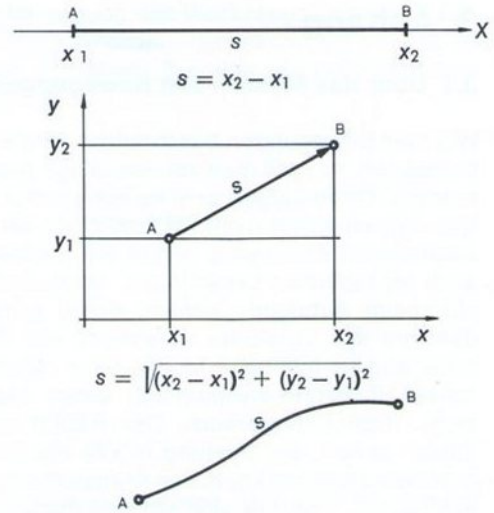
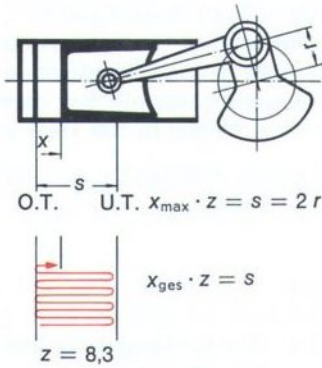


Bild 99 zeigt, wie sich bei Bewegungen der vom Körper zurückgelegte Weg angeben läßt. Bei der geradlinigen, zielstrebigen Bewegung kann man sich eine mit der Bewegungsrichtung zusammenfallende x-Achse denken. Dann ergibt sich der Weg einfach als Differenz der beiden x-Werte. Kennt man die x, y-Koordinaten der Punkte A und B, so kann man den geradlinigen Weg zwischen diesen beiden Punkten nach dem Lehrsatz des Pythagoras errechnen. Bei der Bewegung des Körpers auf einer krummlinigen Bahn muß die Länge dieser Bahn ausgemessen oder durch nicht ganz einfache Berechnungen ermittelt werden. Bei Verkehrsmitteln können auch die an den Straßen oder Gleisen aufgestellten Kilometertafeln zur Wegermittlung herangezogen werden, da sie die Krümmung des Weges berücksichtigen.

Bei oszillierenden Bewegungen muß man zwischen zwei Wegangaben unterscheiden. Bei dem Geradschub-Kurbelgetriebe versteht man unter der Ortskoordinate x zunächst einmal die Entfernung des Kolbens von der O.T.-Stellung. Diese ist zeitlich veränderlich. Sie wächst zuerst an, bis sie nach einer halben Umdrehung der Kurbelwelle ihren Höchstwert x_{\max} erreicht hat. Dieser ist gleich dem Hub ($x_{\max} = s$). Dann nimmt die Ortskoordinate wieder ab und wird nach einer weiteren halben Umdrehung im O.T. wieder zu Null. Von dieser Ortskoordinate zu unterscheiden ist der Gesamtweg des Kolbens x_{ges} , der stetig anwächst und mit jeder Umdrehung der Kurbelwelle um 2 s zunimmt. Der Gesamtweg ist gleich der Anzahl der Hin- und der Rückgänge mal dem Hub (Bild 100). Beispielsweise beträgt der Hub eines bestimmten Pkw-Motors 60 mm. Bei jeder Kurbelwellenumdrehung legt daher der Kolben $2 \cdot 60 = 120$ mm zu-

rück. Bei einer Fahrstrecke von 100 km im 4. Gang dreht sich die Kurbelwelle 220 000mal. Dies ergibt einen gesamten Kolbenweg von $220\,000 \cdot 120\text{ mm} = 26,4\text{ km}$! Dieser ist für die Abnutzung von Zylinder und Kolben maßgebend.

100



3.3. Winkeleinheiten

Hier wird nur der ebene (im Gegensatz zum räumlichen) Winkel betrachtet.

Man benötigt in der Technik die Winkelangabe entweder als Maß für die Neigung zweier Flächen oder Kanten eines Körpers zueinander oder als Maß der Neigung der Flächen oder Kanten eines Körpers zu denen eines andern.

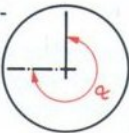
Drehwinkel des kleinen Uhrzeigers innerhalb von 2 Stunden: $\alpha = 60^\circ$



Drehwinkel des Minutenzeigers innerhalb von 25 Minuten: $\alpha = 150^\circ$



Drehwinkel des Sekundenzeigers innerhalb von 45 Sekunden: $\alpha = 270^\circ$



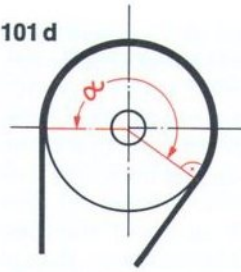
101 a

Ferner benötigt man die Winkelangabe als Maß für die Drehung eines Körpers um eine Achse,

101 c

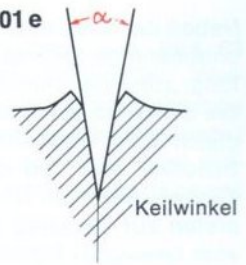


101 d



Umschlingungswinkel

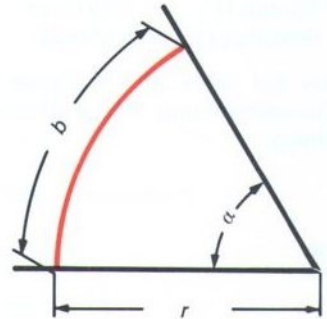
101 e



s. Bild 101. Im SI wird der Winkel ausgedrückt als das Verhältnis des Bogenstückes, welches die Winkelschenkel aus einem Kreis mit dem Mittelpunkt im Winkelscheitel heraus schneiden und dem Kreisradius (Bild 102):

$$\alpha = \frac{b}{r}$$

102



Als Formelzeichen werden meist griechische Buchstaben verwendet: $\alpha \beta \gamma \delta \epsilon \zeta \dots$

Die Einheit der Winkelmessung ist von der Basiseinheit der Länge abgeleitet. Sie ist wie folgt definiert:

Denkt man sich durch die zwei Schenkel eines Winkels aus einer Kreislinie von 1 m Radius, deren Mittelpunkt im Winkelscheitel liegt, einen Bogen von 1 m Länge herausgeschnitten, so hat der Winkel die Größe der Winkeleinheit. Der Name der Winkeleinheit ist »Radiant«, Kurzzeichen »rad«.¹

¹ Da in der Definition der Winkelgröße in Zähler und Nenner des Bruches als Dimensionen Längen stehen, kürzen sich diese heraus, und die Winkelgröße wird »dimensionlos«. Da sich in gleicher Weise die Einheiten herauskürzen, bleibt als Einheit »1« übrig:

$$\alpha = \frac{b \text{ m}}{r \text{ m}} = \frac{b}{r} \cdot 1$$

Hieraus ergeben sich einige Besonderheiten im Gebrauch der Winkeleinheit. Weil in Produkten der Faktor 1 nicht geschrieben zu werden braucht, läßt man in technischen Rechnungen die Einheit 1 häufig ganz weg. Es ist also gleichbedeutend:

$$\alpha = 1,39 \text{ rad und } \alpha = 1,39 \text{ oder auch } \hat{\alpha} = 1,39$$

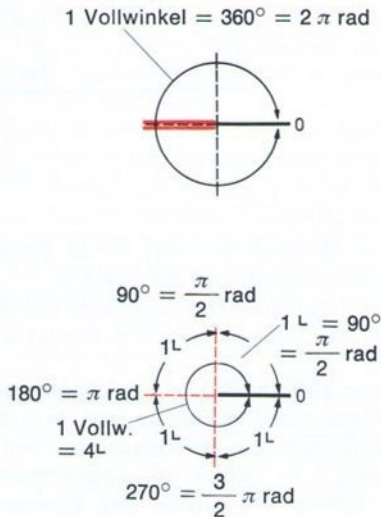
Ebenso kann man »rad« gegen »1« kürzen.

Neben der SI-Einheit Radiant ist noch eine völlig unabhängige Einheit, die bekannte Gradeinteilung, zulässig. Denkt man sich gemäß Bild 103 die Schenkel eines Winkels zunächst deckungsgleich übereinanderliegend, hält dann den einen Schenkel fest und dreht den andern um den Winkelscheitel so lange, bis er wieder mit dem ersten zur Deckung kommt, so nennt man den vom bewegten Schenkel überstrichenen Winkel einen **Vollwinkel**. Teilt man diesen durch 2 senkrecht aufeinanderstehende Geraden in 4 gleiche Teile, so entstehen 4 rechte Winkel oder 4 **Rechte** (Einheitenzeichen $^{\text{L}}$). Ein rechter Winkel wird in 90 Grad (Einheitenzeichen $^{\circ}$) eingeteilt. Die Gradeinteilung hängt mit der SI-Einheit wie folgt zusammen:

	1 Vollwinkel	=	2π rad
1 Rechter (1^{L})	=	$1/4$ Vollwinkel	= $\pi/2$ rad
1 Grad (1°)	=	$\pi/180$ rad	= $1^{\text{L}}/90$
1 Minute ($1'$)	=	$1/60$ Grad	= $\pi/10800$ rad
1 Sekunde ($1''$)	=	$1/60$ Minute	= $\pi/648000$ rad

Die auf Seite 22 erwähnten Vorsätze sind im Zusammenhang mit Winkleinheiten nicht zulässig.

103



In der Technik rechnet man gerne mit dezimal unterteilten Winkelgraden, z. B. schreibt man: statt $\alpha = 72^{\circ} 30' 50''$ vorzugsweise $\alpha = 72,514^{\circ}$ oder $\alpha = 1,27$ rad bzw. $\hat{\alpha} = 1,27$

Die Minuten und Sekunden als Teile der Winkleinheit Grad haben zunächst nichts mit den entsprechenden Zeiteinheiten zu tun. Minute bedeutet in beiden Fällen den kleineren Teil der Stunde oder des Grades, Sekunde die nochmalige Unterteilung. Trotzdem besteht insofern ein

Zusammenhang, als sich die Zeitmessung von der Erddrehung herleitet. Einer Erddrehung von 360° entsprechen 24 Stunden, also entsprechen einer Stunde 15° Erddrehung. 1° Erddrehung entspricht 4 Zeitminuten, $1'$ Erddrehung erfolgt in 0,067 Zeitminuten, $1''$ Erddrehung benötigt 0,001 Zeitsekunden.

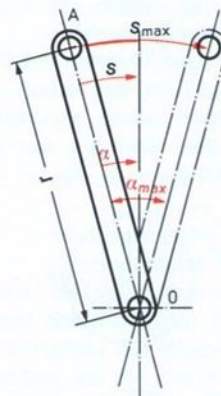
Eine weitere, in der Erdvermessung (Geodäsie) gebräuchliche Winkleinheit ist das Gon (früher Neugrad genannt). Bei dieser Einheit wird der rechte Winkel in 100 Teile geteilt.

$$1 \text{ gon} = \pi/200 \text{ rad} = 1^{\text{L}}/100 = 90^{\circ}/100$$

3.4. Der Umfangsweg bei der Rotationsbewegung

Dreht sich ein Körper um eine Achse 0 (Bild 104)

104



um den Winkel α , so legt ein Punkt A, welcher sich in der Entfernung r von der Drehachse befindet, einen Weg s zurück. Dieser Weg (Umfangsweg) ist

$$s = r \cdot \alpha$$

Hier muß α in rad eingesetzt werden. Bei einem Fahrzeuggrad beträgt der Weg eines Punktes auf dem Reifenumfang bei einer Umdrehung des Rades

$$s = r \cdot 2\pi$$

Dies ist auch die Strecke U , um welche das Rad während einer Umdrehung weiterrollt, wenn keine Gleitbewegung stattfindet (Bild 105).

105



Wie bei der oszillierenden Bewegung muß man auch bei der Schwingbewegung zwischen der Ortskoordinate s und dem Gesamtweg unterscheiden. Die Ortskoordinate s nimmt auch hier von 0 bis s_{\max} zu, und anschließend bis auf den Wert $s = 0$ wieder ab. Der Gesamtweg s_{ges} wächst dauernd an und ist gleich der Zahl z der Hin- und der Rückgänge mal dem maximalen Weg s_{\max} .

$$s_{\text{ges}} = z \cdot s_{\max}$$

Rechenbeispiel:

Ein Pkw-Rad hat einen Radius von $r = 288 \text{ mm}$. Welchen Weg legt es bei 10 Umdrehungen zurück?

Lösung: Der beim Rollen zurückgelegte Weg entspricht dem Weg eines Punktes auf dem Reifenumfang. Dieser ist

$$s = r \cdot \alpha$$

Der Drehwinkel bei 10 Umdrehungen ist

$$\alpha = 10 \cdot 2\pi \text{ rad}$$

Damit wird $s = 0,288 \text{ m} \cdot 10 \cdot 2\pi \text{ rad} = 18 \text{ m} \cdot \text{rad}$

Da die Einheit rad auch weggelassen werden kann, ergibt sich

$$s = 18 \text{ m}$$

2. Beispiel:

Die Schwinge eines Getriebes nach Bild 68 überstreicht einen Winkel von maximal 30° . Welchen Weg legt das äußerste Ende der Schwinge zurück, wenn dessen Entfernung zum Drehpunkt $r = 50 \text{ mm}$ beträgt und die Schwinge zwei Hin- und Hergänge und dann noch einen Hingang ausführt?

Lösung:

$$s_{\max} = r \cdot \alpha = 50 \text{ mm} \cdot 30 \frac{\pi}{180} \text{ rad} = 26 \text{ mm}$$

Der Gesamtweg ist:

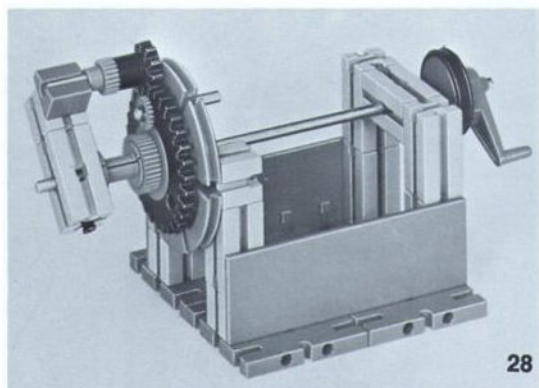
$$s_{\text{ges}} = z \cdot s_{\max} = 5 \cdot 26 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

Test zur Einteilung der Bewegungen (Lösung)

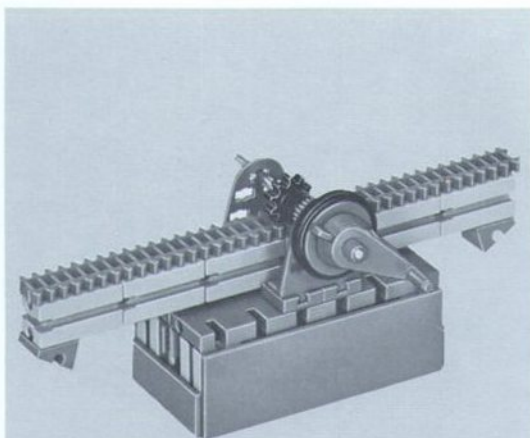
Bewegter Körper	Translation	Rotation	allgem. Bew.	period. Bew.	
				ja	nein
Spielzeugglock auf Schienenkreis			×	×	
Wippschaukel (Balken)		×		×	
Windmühlenrad		×		×	
Kolben der Fahrradluftpumpe	×			×	
Korkenzieher			× (Schraubung)		×
Scheibenwischerblatt		×		×	
Schiffschaukel (Gondel)			×	×	
Schiffsschraube			× (Schraubung)		×
Gondel beim Riesenrad	×			×	

4. Literatur

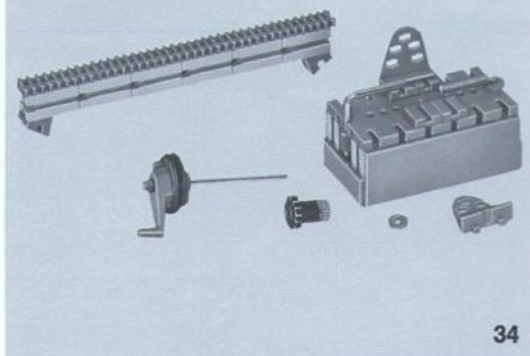
- [1] Wilhelm H. Westphal, Die Grundlagen des physikalischen Begriffssystems, 2. Aufl. 1971, Vieweg Verlag
- [2] Haeder/Gärtner, Die gesetzlichen Einheiten in der Technik, 4. Aufl. 1974, Beuth Vertrieb GmbH
- [3] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-2 S. 42
- [4] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-4 S. 64
- [5] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-1 S. 30
- [6] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-1 S. 8
- [7] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-2 S. 71
- [8] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-1 S. 50
- [9] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-1 S. 44
- [10] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-1 S. 42
- [11] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-1 S. 60
- [12] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-4 S. 58
- [13] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-1 S. 74
- [14] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-6 S. 69
- [15] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-1 S. 70
- [16] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-3 S. 42
- [17] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2-5 S. 30
- [18] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-2 S. 45
- [19] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-2 S. 44
- [20] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 1-1 S. 74



28



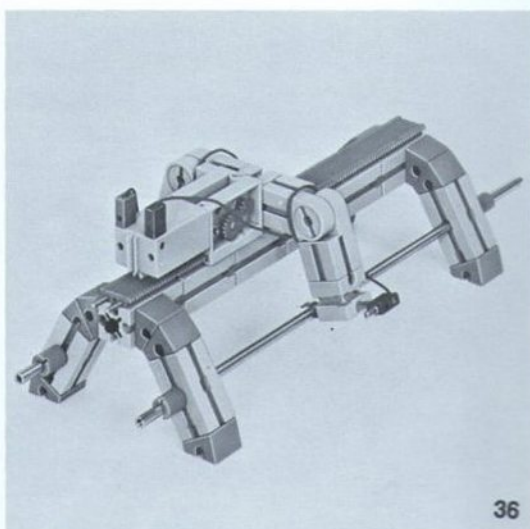
31



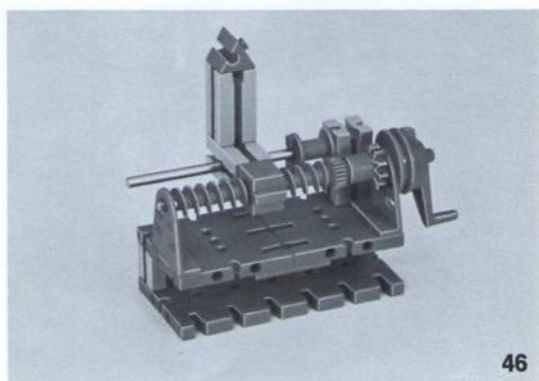
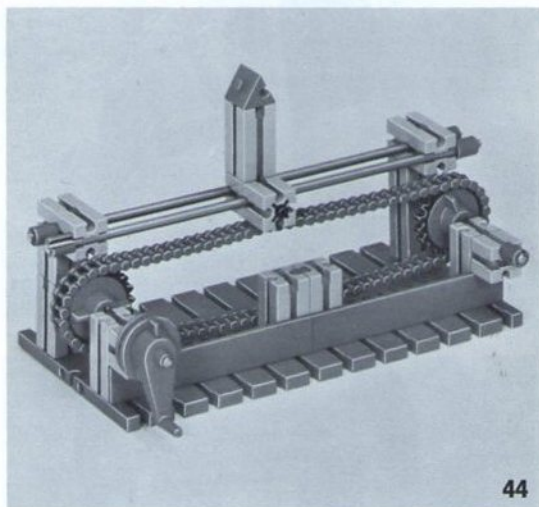
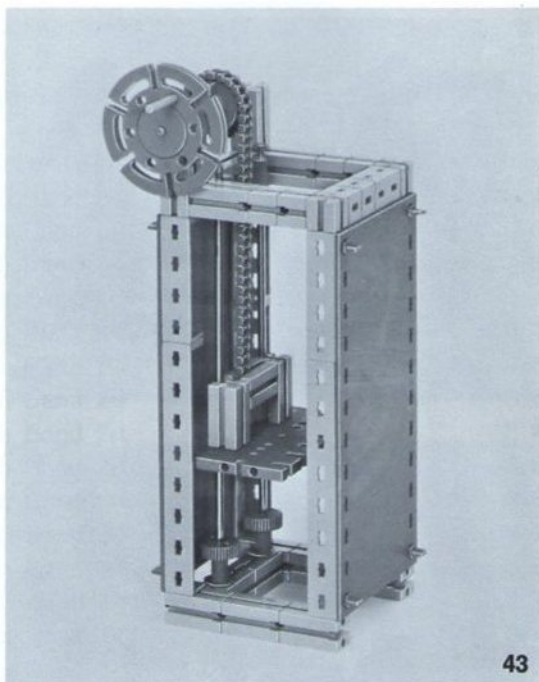
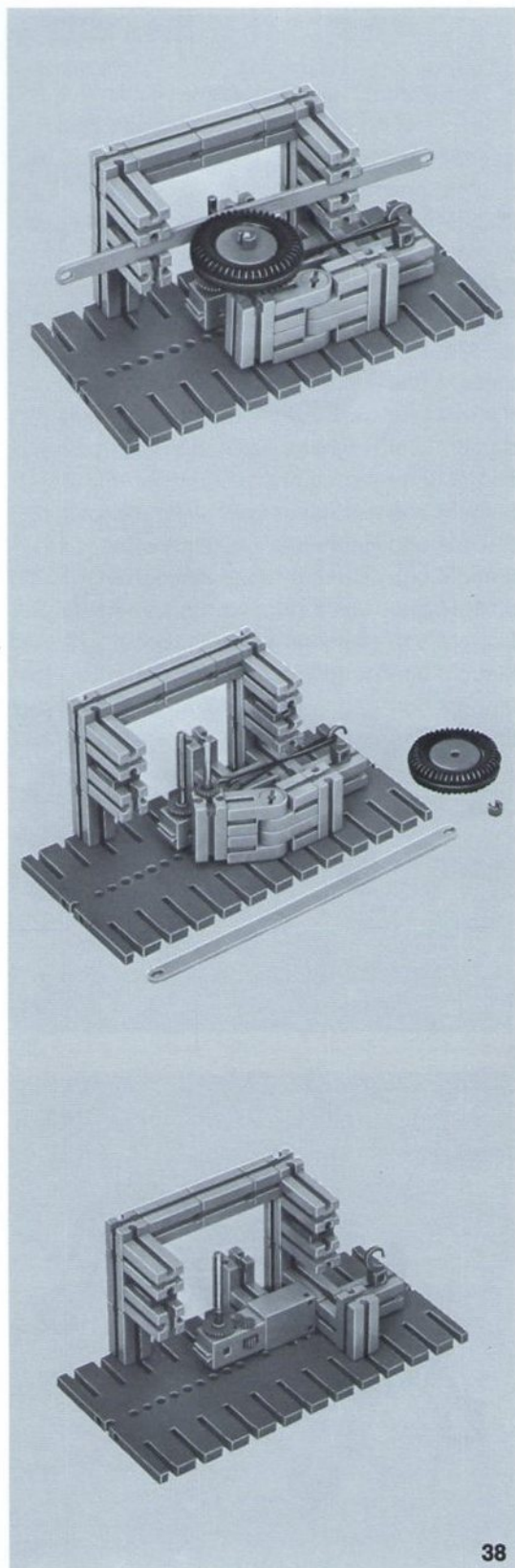
34

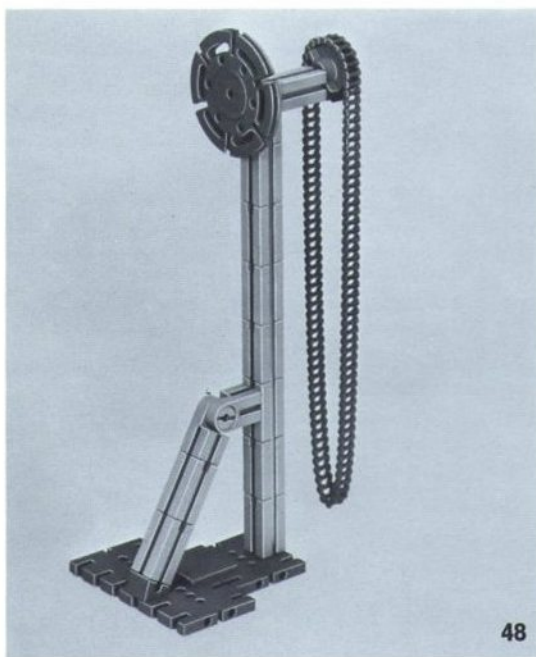


32

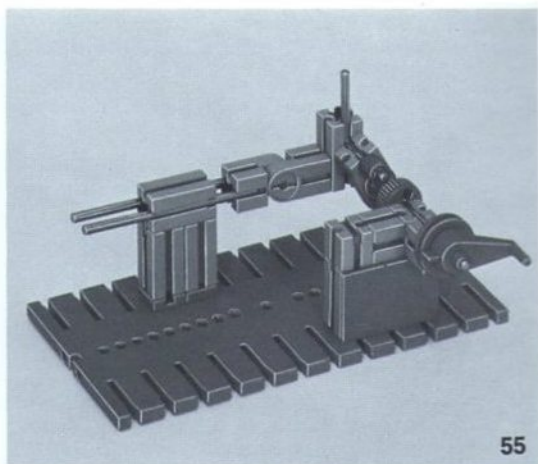


36

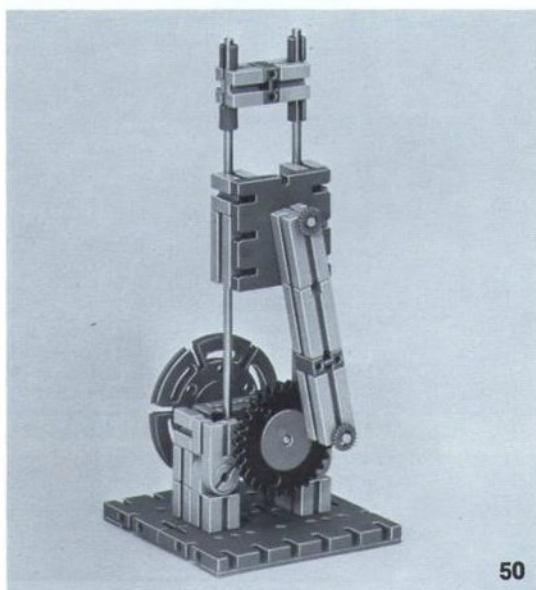




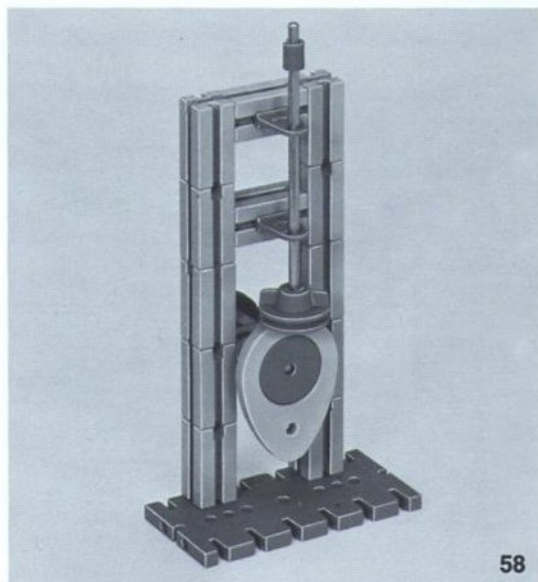
48



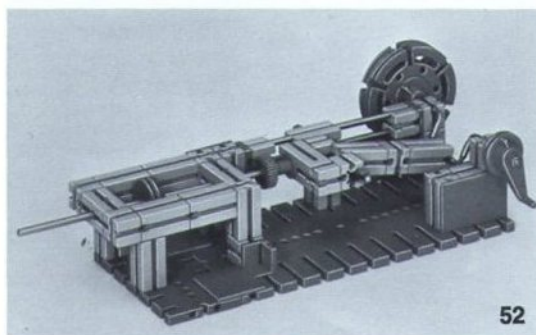
55



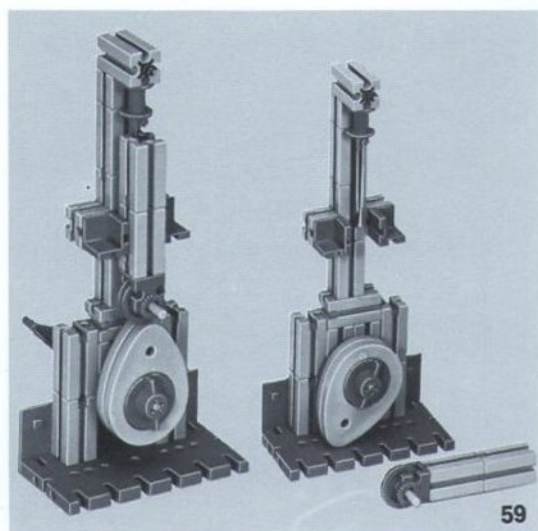
50



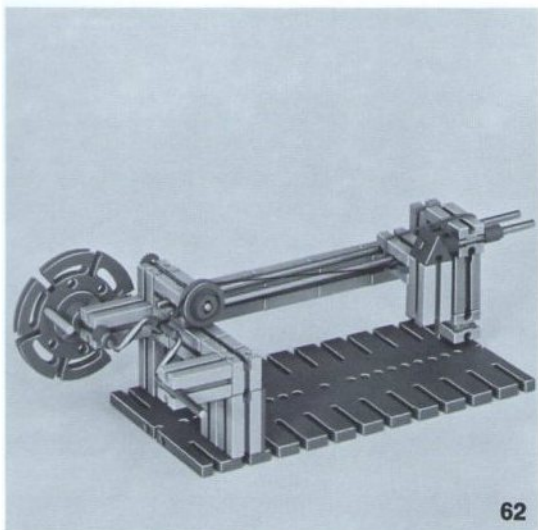
58



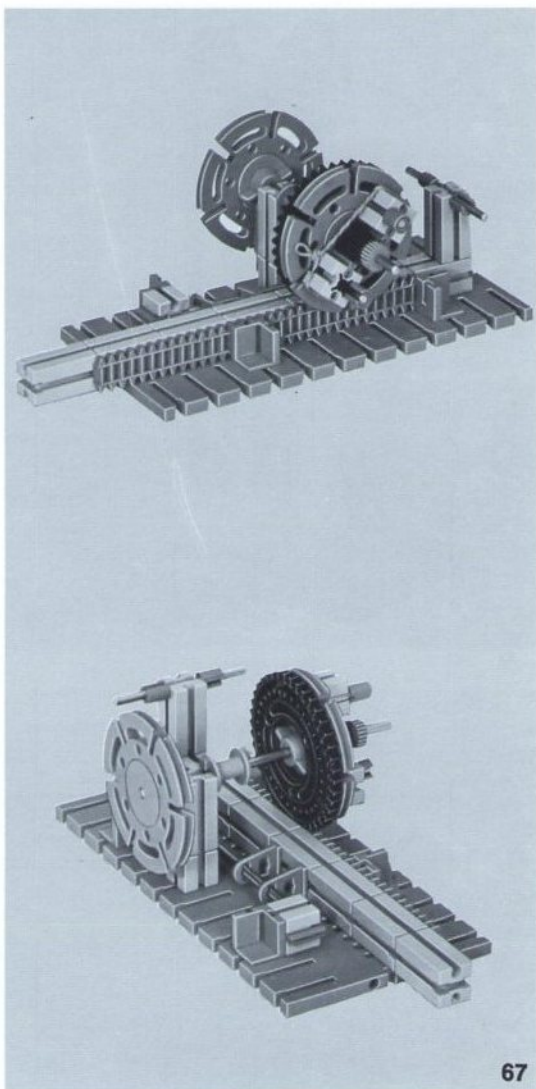
52



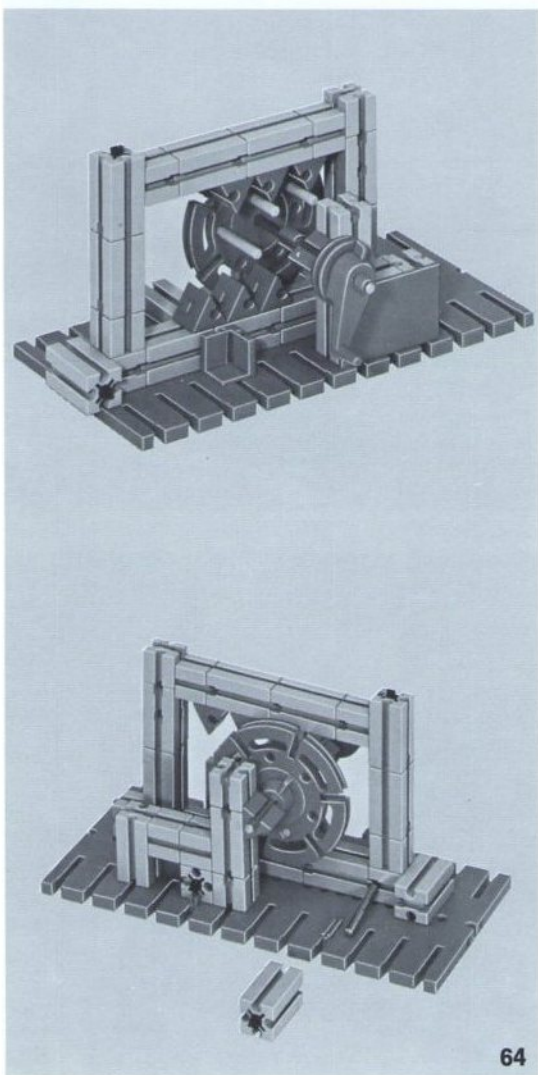
59



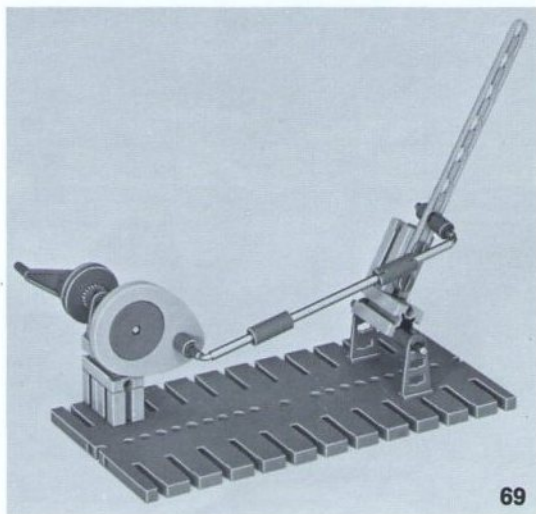
62



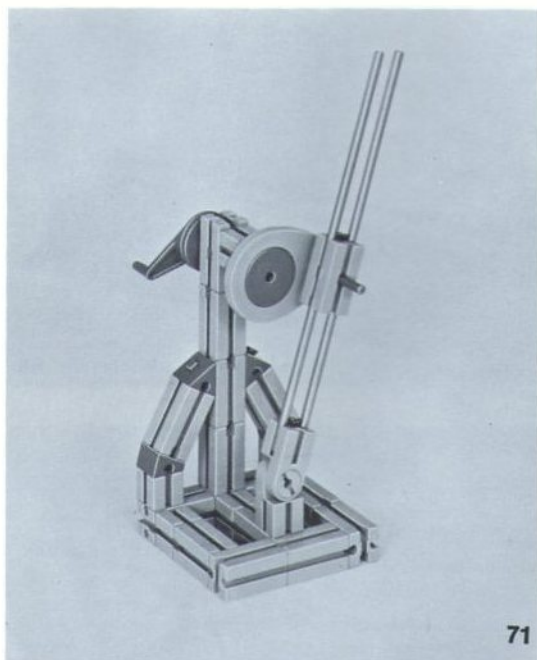
67



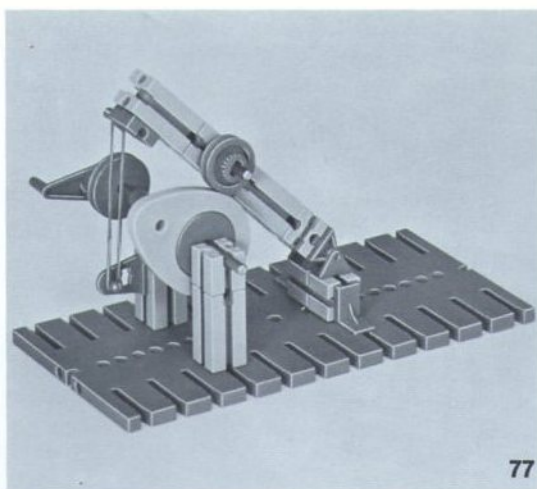
64



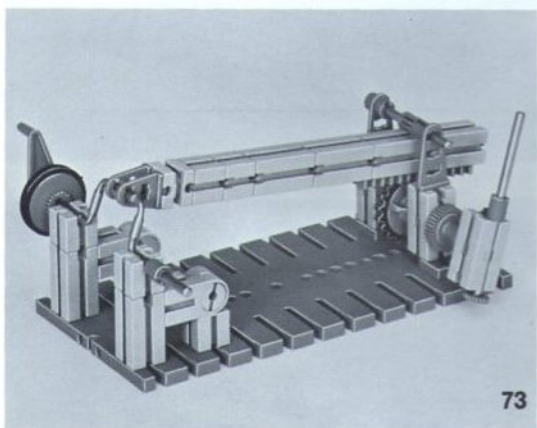
69



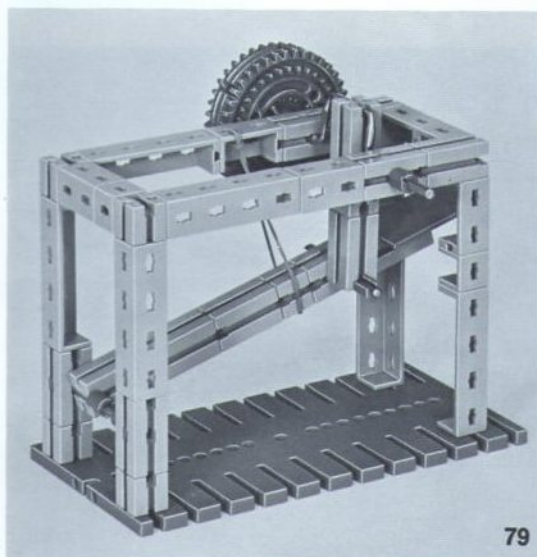
71



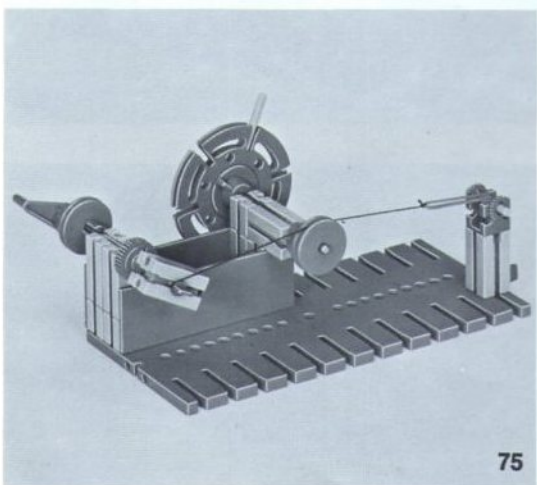
77



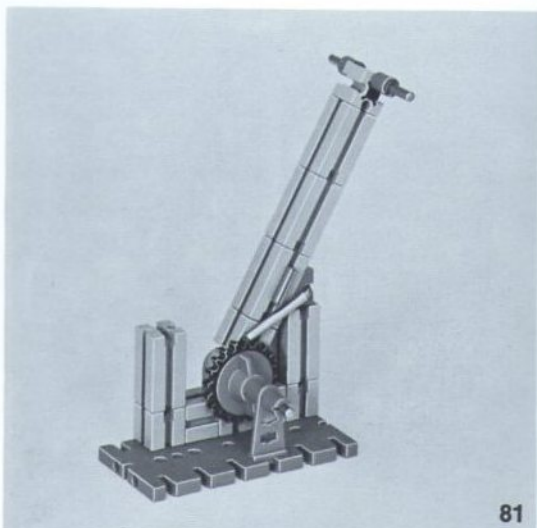
73



79



75



81

