



fischer Elemente der Technik

Heft 2

Bewegungsübertragung

fischer Elemente der Technik

Heft 2

Bewegungsübertragung

Inhalt

	Seite
0. Vorwort	5
1. Die Übertragung von Bewegungen	6
1.1. Koppelung von Translationsbewegungen	6
1.2. Übertragung von Translationsbewegungen mit Richtungsumkehr	10
1.3. Übertragung von Translationsbewegungen in eine beliebige Richtung	12
1.4. Koppelung von Rotationsbewegungen bei fluchtenden oder parallelen Drehachsen	14
1.5. Drehrichtungsumkehr	20
1.6. Übertragung von Drehbewegungen zwischen beliebig zueinander geneigten Achsen	21
2. Anhang	25
2.1. Die Basiseinheit der Zeit	25
2.2. Maße an Zahnrädern	25
2.3. Erläuterung von Fachausdrücken	27
3. Test	29
3.1. Testfragen	29
3.2. Lösungen zu den Testfragen	30
4. Literatur	30
5. Bilder der Funktionsmodelle	31

0. Vorwort

Die Maschine, so wurde es im 1. Heft der Schriftenreihe **fischer Elemente der Technik** ausgedrückt, ist eine der wichtigsten technischen Einrichtungen, und ihre hervorstechende Eigenschaft ist die gesetzmäßige Bewegung. Daher wurde die Bewegungslehre oder Kinematik an den Anfang dieser Einführung in die Welt der Technik gestellt.

Im 1. Heft wurde weiterhin dargelegt, was überhaupt unter dem Begriff »Bewegung« zu verstehen ist, welche Grundformen der Bewegung es gibt und wie die verschiedenen Bewegungsformen ineinander umgewandelt werden können. Dazu wurde eine ganze Reihe sog. **Funktionsmodelle** gezeigt, welche einerseits das Verständnis erleichtern, andererseits neue Anregungen zum Bauen mit fischertechnik geben sollten.

In diesem 2. Heft soll nun der Leser auf die gleiche Weise mit der Weiterleitung von Bewegungen, der Bewegungsübertragung, bekannt gemacht werden, und zu diesem Zweck wurden wieder interessante und lehrreiche Modelle zusammengestellt, welche die wichtigsten Möglichkeiten zur Lösung der gestellten Aufgaben aufzeigen und erklären werden. Neben manchen Anordnungen, deren Bau und Wirkungsweise allgemein bekannt sind und von vielen fischertechnik-Besitzern schon bei ihren selbstentworfenen oder nach Anleitung gebauten Modellen eingesetzt wurden, werden hier auch manche weniger verbreiteten, reizvollen und fesselnden Lösungen technischer Problemstellungen vorgeführt und so das Wissen des bereitwilligen Lesers erweitert und vertieft.

Alle Modelle dieses Heftes sind bis auf wenige Ausnahmen mit der Baustufe 300 herstellbar, bei entsprechenden Vereinfachungen in der Regel auch mit niedrigeren Baustufen. An Zusatzteilen sind vor allem die Achsen aus der Packung 029, ferner für einzelne Modelle minimot 1, mot 1, mot 2 und mot 3 sowie das Netzgerät mot 4 erforderlich bzw. die Zusatzpackungen minimot 10, minimot 11 und minimot 12, mot 4, mot 7, mot 8, mot 9 und mot 11 und die Luftschraubenpackung 027.

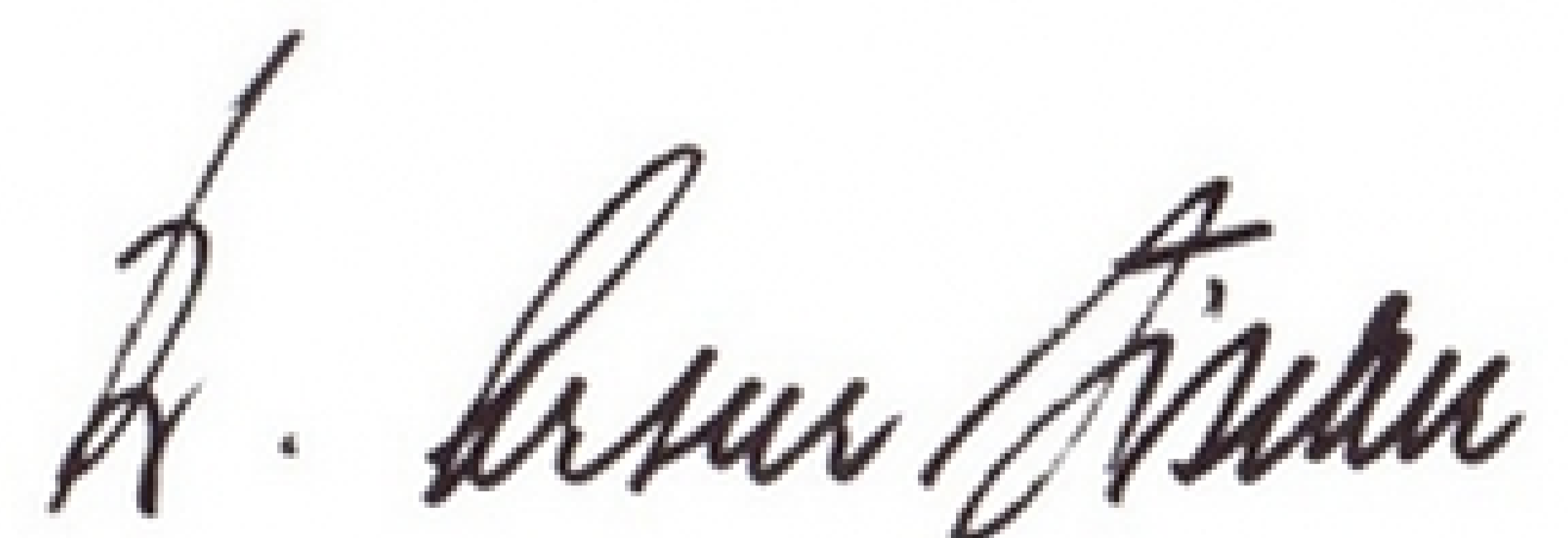
Für die hydraulischen und pneumatischen Modelle werden sog. Einmalspritzen in der Größe 5 ml

(Milliliter) und passender Plastikschauch (Kraftstoffschlauch für Modellflugmotoren) benötigt. Näheres bei den betreffenden Modellen.

Auch in diesem Heft finden sich keine kompletten Maschinen. Solche sind mit ausführlichen Erklärungen ihrer Wirkungsweise in den fischertechnik hobby Experimentier- und Modellbüchern enthalten, auf die bei den betreffenden Modellen dieses Heftes hingewiesen wird.

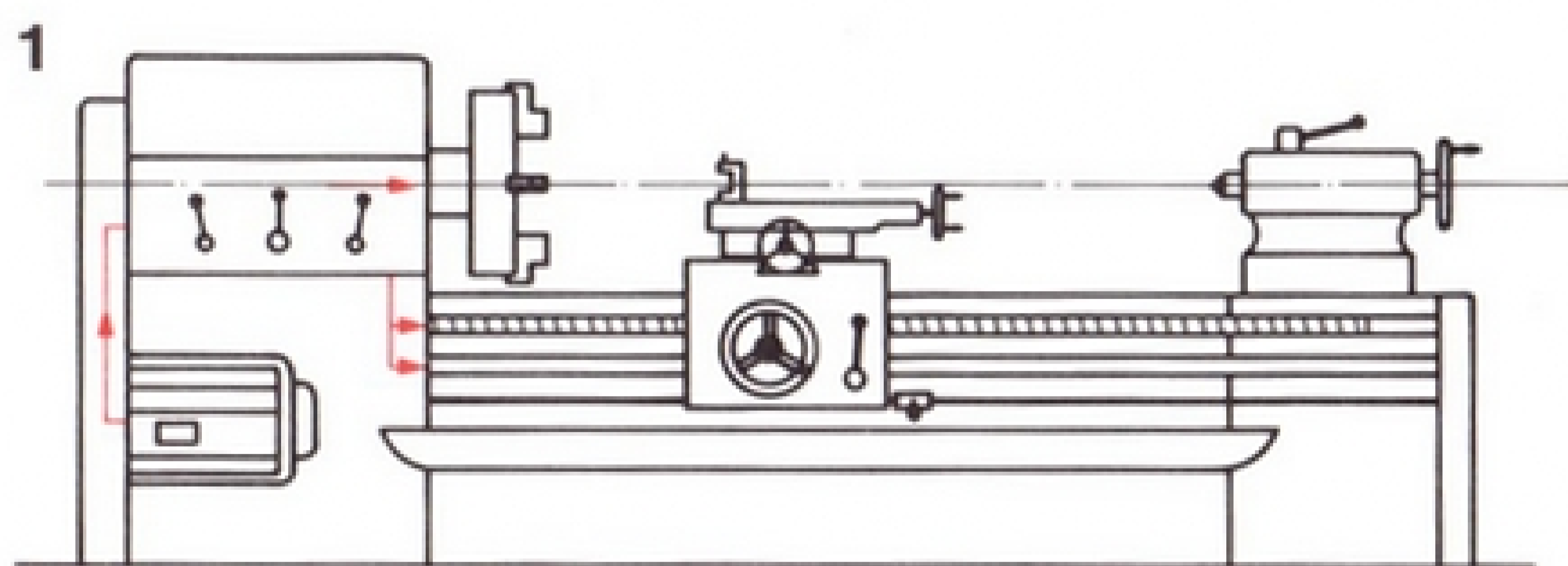
Fachausdrücke und schwierige Begriffe sind in einer besonderen Zusammenstellung nochmals erläutert, um auch Lesern mit geringer technischer Vorbildung das Verständnis zu erleichtern. Anhand des **Tests** kann der Leser wieder sein durch aufmerksames Durcharbeiten dieses Heftes erworbenes Wissen überprüfen.

Und nun wiederum viel Freude und Erfolg mit **fischer Elemente der Technik**.

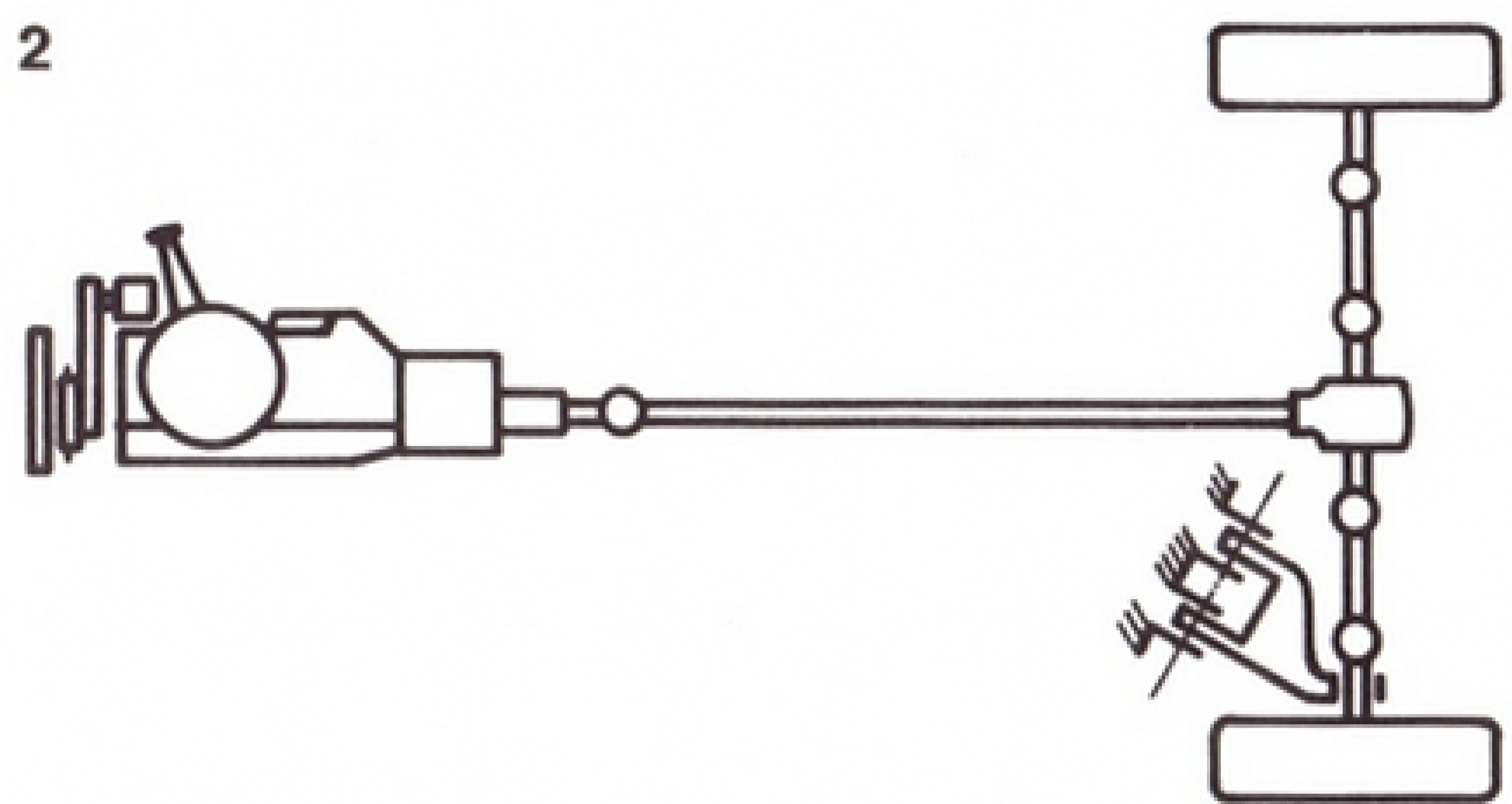


1. Die Übertragung von Bewegungen

In den weitaus meisten Fällen wird eine Bewegung nicht am Ort ihrer Entstehung nutzbringend angewendet werden können; sie muß vielmehr weitergeleitet, übertragen, werden. So kann die durch elektromagnetische Kräfte im Motor einer Drehmaschine zustandegekommene Drehbewegung der Motorwelle nicht unmittelbar genutzt, sondern sie muß auf die Arbeitsspindel übertragen werden (Bild 1).



Die oszillierende Bewegung der Kolben eines Kraftfahrzeugmotors ist in den Motorzylindern selbst nichts nütze, sie verlangt eine Weiterleitung an die Antriebsräder des Wagens (Bild 2). Das



letzte Beispiel zeigt überdies, daß sich bei der Bewegungsübertragung nicht nur die Schnelligkeit der Bewegung wie bei der Drehmaschine, sondern auch die Art der Bewegung ändern kann, wenn dies zweckmäßig ist. Die oszillierende Kolbenbewegung, welche in Heft 1 beschrieben wurde, wird in eine rotierende Bewegung der Pleuellagerstange verwandelt, und zwar mit Hilfe des Geradschub-Kurbelgetriebes (s. Heft 1, Seite 15) und diese Drehbewegung dann weitergeleitet.

Bei der Bewegungsübertragung kann die Bewegung völlig ungeändert bleiben, sie kann in ihrer Richtung umgekehrt oder in ihrer Größe vermehrt oder vermindert werden. Die wichtigsten Lösungsmöglichkeiten für die ersten beiden Probleme werden in den folgenden Abschnitten vorgeführt. Die Lösungen für die letzte Aufgabenstellung werden in Heft 3 geschildert.

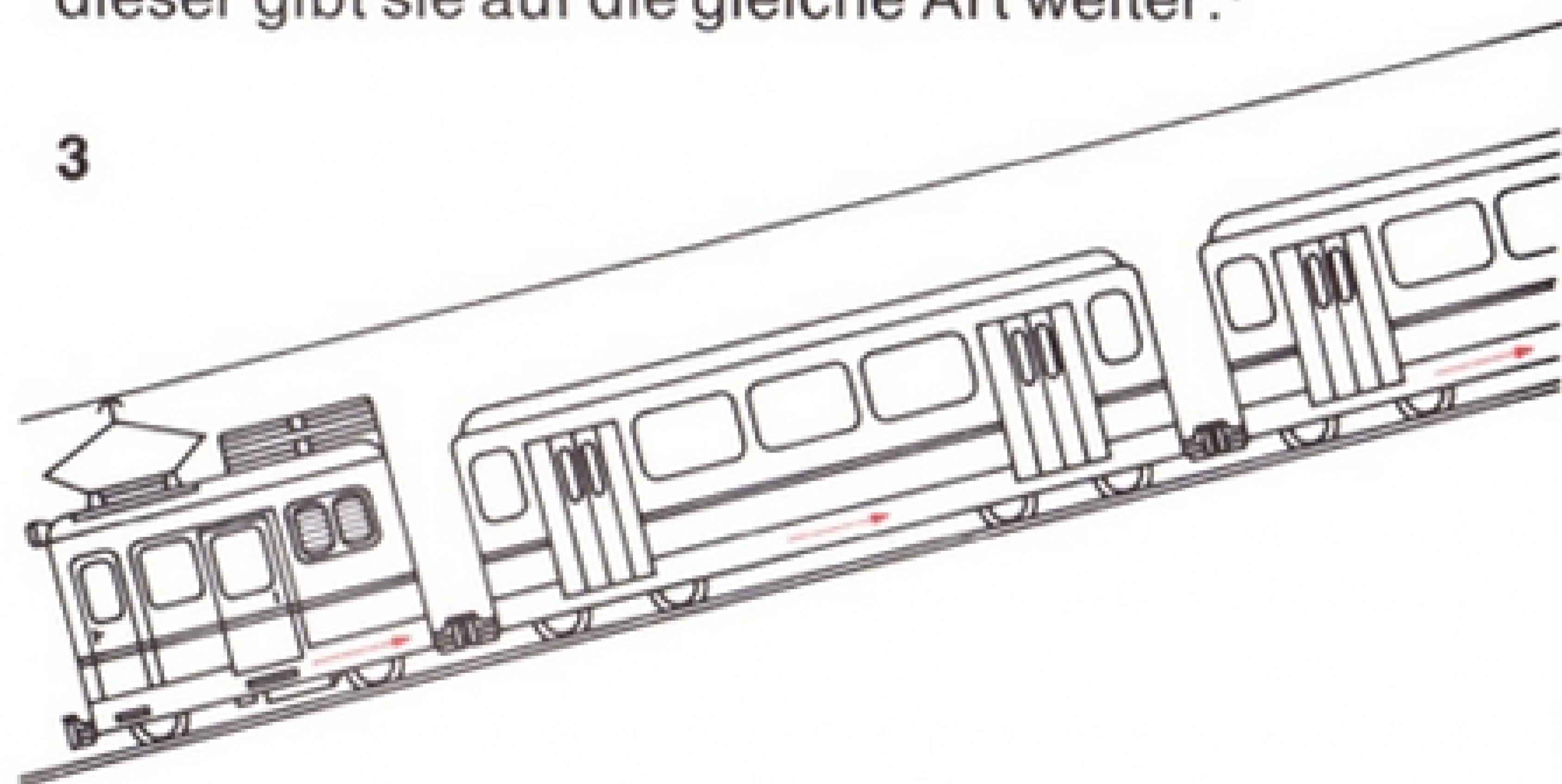
1.1. Die Koppelung von Translationsbewegungen

Zunächst werden Einrichtungen beschrieben, welche eine **Translationsbewegung** oder Schiebung ohne irgendeine Änderung weiterleiten. Man spricht dann von der **Koppelung** zweier Translationsbewegungen. Die einfachste Lösung dieses Problems ist:

1.1.1. Die unmittelbare Berührung

Hierbei wird die Bewegung eines Körpers dadurch an einen zweiten weitergegeben, daß zwischen den Oberflächen der beiden Körper Druckkräfte wirken, welche den zweiten Körper bewegen.

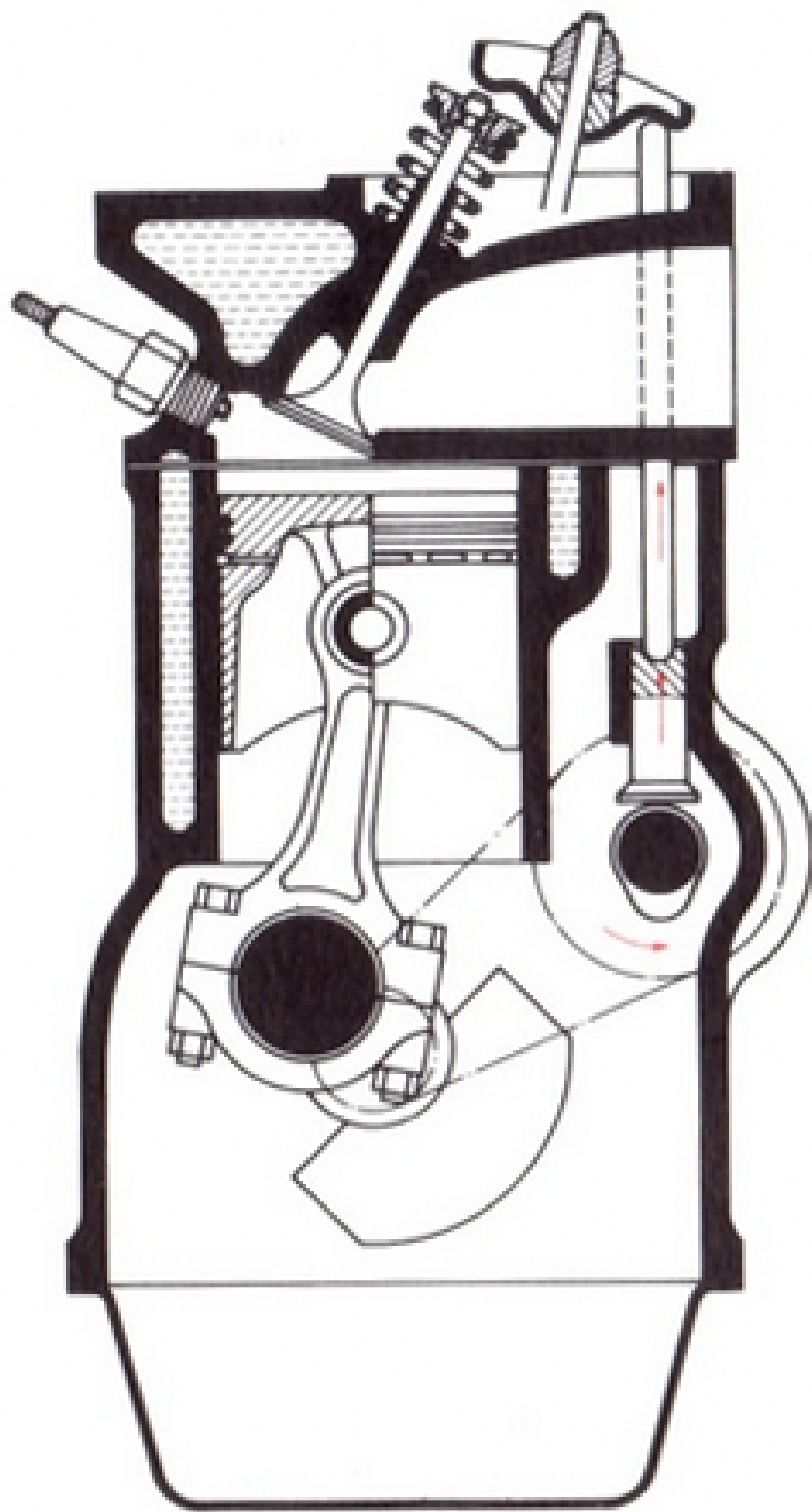
Die Bewegung des zweiten Körpers stimmt allerdings nur dann mit derjenigen des ersten überein, wenn beide Körper starr sind, sich also unter den Berührungskräften nicht verformen. Sonst könnte z. B. ein harter Körper in einen weicheren um ein bestimmtes Maß eindringen, ehe sich letzterer in Bewegung setzt, und dessen Schiebung wäre kleiner als die des härteren Körpers. In Bild 3 ist eine Bergbahn dargestellt, bei welcher die Wagen durch unmittelbare Berührung (über Kupplungen und Puffer) vorwärtsgeschoben werden. Die Bewegung der Lokomotive wird durch Druckkräfte auf den nächsten Wagen übertragen, und dieser gibt sie auf die gleiche Art weiter.¹



Ein weiteres Beispiel, diesmal aus dem Maschinenbau, zeigt Bild 4. Hier, beim Ventiltrieb eines Hubkolbenmotors, wird die Translationsbewegung des Stößels durch unmittelbare Berührung auf die Stößelstange übertragen. Näheres hierzu findet sich in [1].

¹ Die Lokomotive fährt immer am talseitigen Zugende, so daß auch bei Talfahrt zwischen den einzelnen Fahrzeugen nur Druckkräfte übertragen werden und keine Gefahr durch Reißen der Kupplungen auftreten kann. Diese Anordnung ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn die Strecke lediglich in einer Richtung ansteigt und zwischendurch keine Gefälleabschnitte aufweist.

4



1.1.2. Die formschlüssige Verbindung

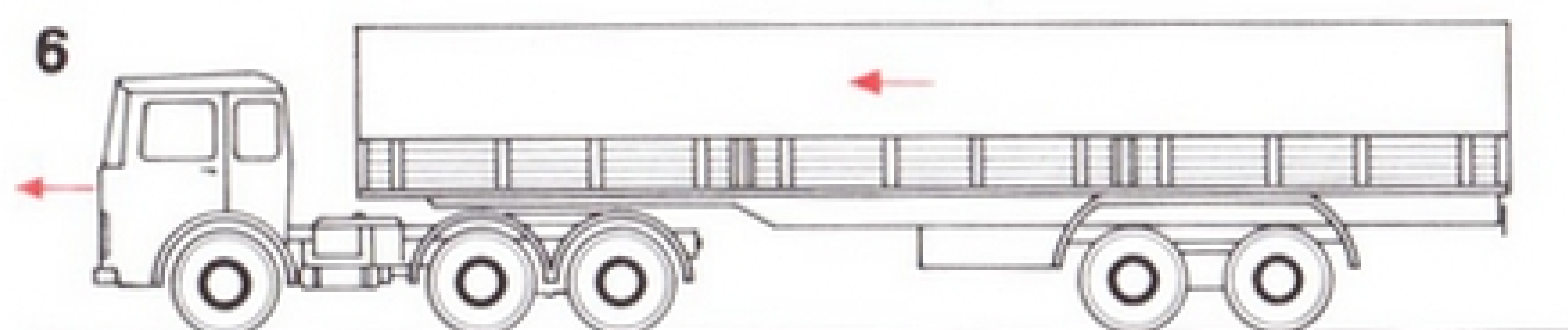
Hier sind die sich bewegenden Körper aneinandergeschlüsselt oder ineinander verhakt. Lokomotive und Wagen eines gezogenen Eisenbahnzuges sind durch die Kupplungseinrichtungen miteinander verbunden, welche die Bewegung durch Zugkräfte weiterleiten. Beim Reißen einer Kupplung in einer Steigung würden die abgerissenen Wagen abwärtsrollen, so daß in einem solchen Falle ihre Bremsen selbsttätig in Aktion treten müssen. In dieser Hinsicht sind geschobene Züge sicherer, doch ist die Entgleisungsgefahr länger, geschobener Züge besonders in Kurven groß, wie wohl jeder Modelleisenbahner bestätigen kann. Im Nahverkehr werden heutzutage die hier nur mäßig langen Züge in der einen Richtung geschoben, in der Gegenrichtung gezogen, wobei die Lokomotive im Schiebebetrieb von einem Steuerwagen am vorderen Zugende aus ferngesteuert wird.

Weitere Beispiele für die formschlüssige Bewegungsübertragung sind die Glieder einer Kette (Bild 5) oder ein Sattelschlepper nach Bild 6. Das Modell nach Bild 7 entstammt dem Baukastenbuch des Kastens 50/2. Hier sind die Bewegungen von Zugmaschine und Sattelaufleger durch den Kupplungsbolzen miteinander gekoppelt.

5



6



7



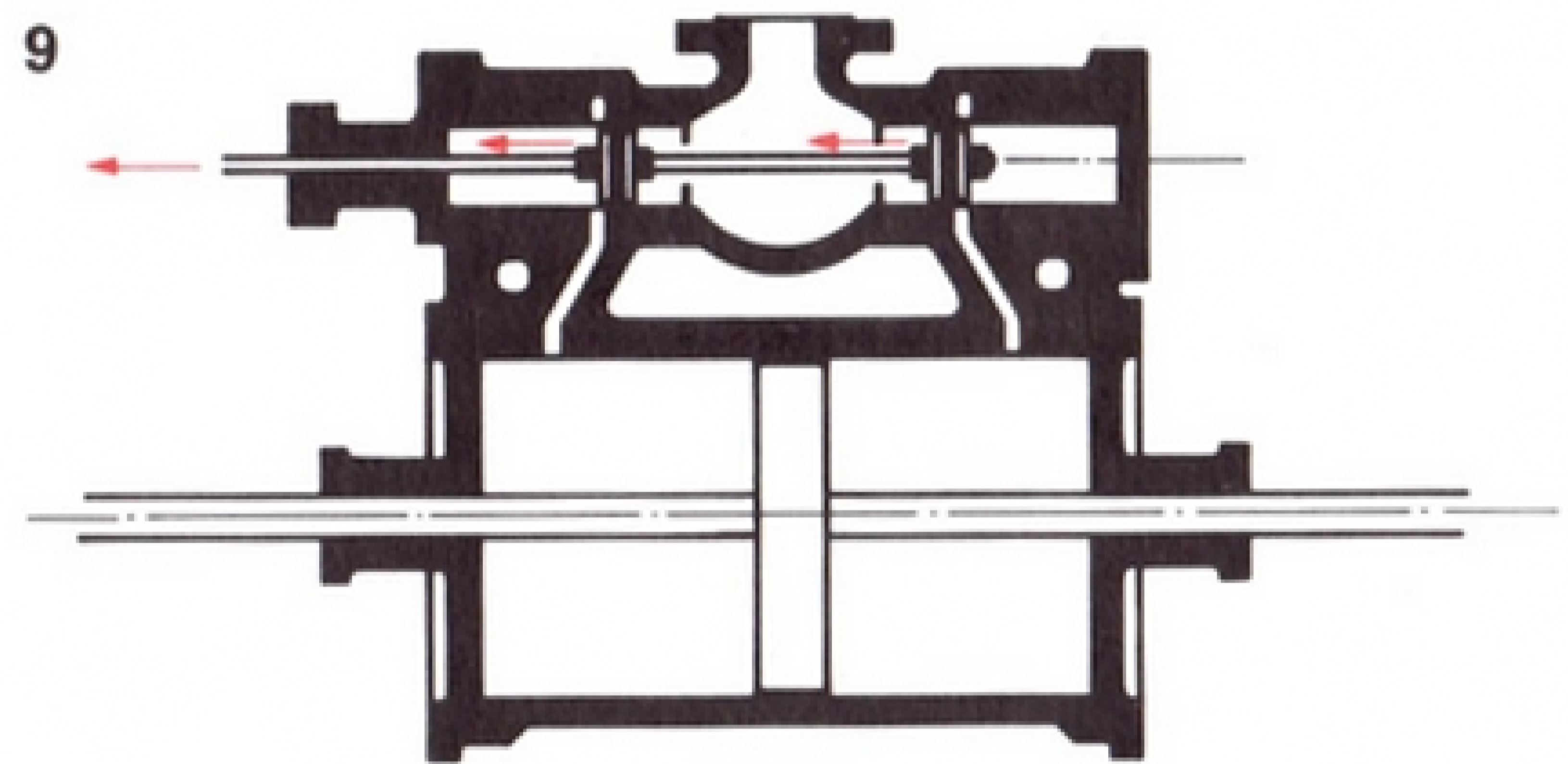
8



1.1.3. Zweigelenkstab (Kuppelstange)

Hier sind, wie Bild 8 zeigt, die beiden Körper durch eine Stange oder einen Stab miteinander verbunden, welche die Bewegung weiterleiten. Ist dieser Stab so starr, daß er hierbei seine Länge nicht wesentlich ändert, so sind die Bewegungen praktisch gleich. Als Beispiel dient die in Bild 9

9



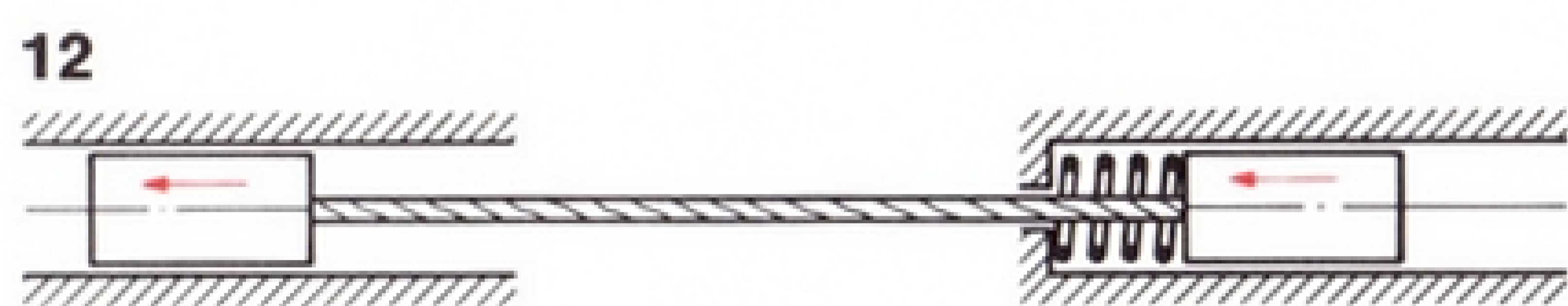
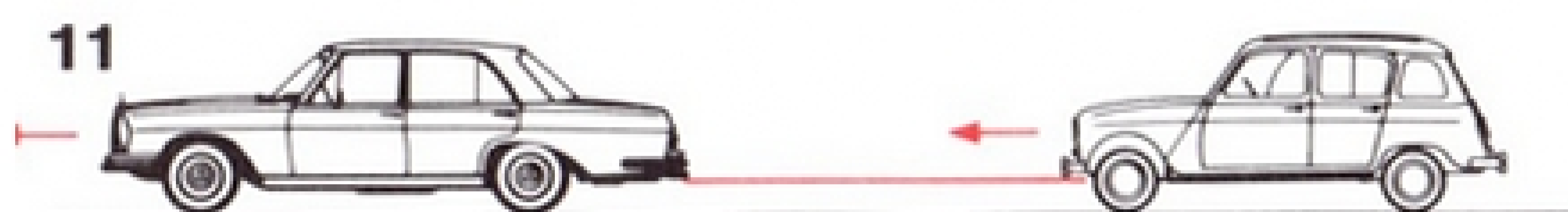
dargestellte Schiebersteuerung einer Kolben-dampfmaschine. Über dem eigentlichen Zylinder mit dem Arbeitskolben befindet sich das Schiebergehäuse mit den beiden scheibenartigen Steuerkolben. Beide Steuerkolben sind durch eine Stange miteinander gekoppelt und machen daher exakt die gleiche Translationsbewegung. Die Stange setzt sich übrigens nach links fort und wird über eine Schubstange von der Kurbelwelle aus bewegt, meist über einen Exzenterantrieb (s. Heft 1, Seite 15). Das Funktionsmodell Bild 10¹ ist unter Verwendung der Zusatzpackung 029 hergestellt. Die Nuten der Gestellbausteine sind mit Achsen ausgefüllt, um die Biegesteifigkeit zu erhöhen. Als Kuppelstange dient eine Strebe 60. Die seitliche Anlenkung der Strebe an den Kupplungsstücken 2 ist ungünstig, weil dadurch die Bausteine auf den Führungsachsen etwas verkantet werden und zur Schwergängigkeit neigen, was aber im Modell kaum auffällt. Es wäre aber richtiger, die Stangen wie in Bild 8 »zentrisch« anzuordnen. Auf jeden Fall müssen aber die

¹ Die Bilder der Funktionsmodelle sind ab Seite 31 zusammengefaßt.

Führungsachsen so ausgerichtet werden, daß die beiden Bausteine 30, also die beiden »Körper«, deren Bewegungen gekoppelt werden sollen, möglichst leicht gleiten.

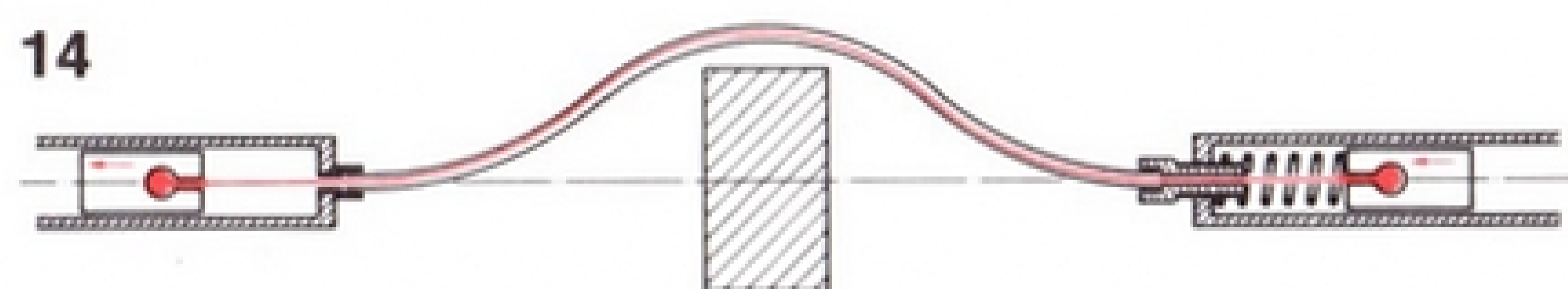
1.1.4. Zugmittel

Geschieht die Bewegungsübertragung nur durch Zugkräfte, so kann das Übertragungsmittel ein Seil oder eine Kette sein. Das Beispiel des Abschleppseils als Mittel der Bewegungsübertragung zwischen Zugwagen und geschlepptem Fahrzeug nach Bild 11 ist ja allgemein bekannt.



In der Anordnung nach Bild 12 ist durch eine Druckfeder dafür gesorgt, daß das Seil zwischen den beiden Körpern stets gespannt ist. Das Funktionsmodell nach Bild 13 weist statt einer Druckfeder einen auf Zug beanspruchten Gummiring auf, welcher das Kupplungsseil unter Spannung hält. Die Nylonschnur als Zugmittel ist an den beiden Kupplungsstücken 2 angebracht. Der Gummiring ist am Kupplungsstück 1 eingehängt. Die Betätigung erfolgt über den aus einer Achse 60 gebildeten Griff. Das Modell kann durch einfachen Umbau aus dem vorhergehenden hergestellt werden.

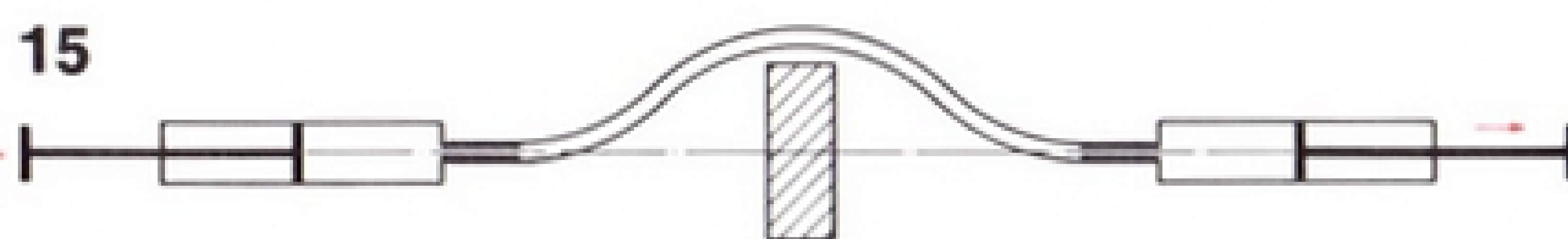
Führt man das Seil nach Bild 14 in einer Hülle, so kann man es um Hindernisse herumleiten, welche



eine geradlinige Verbindung der beiden Körper nicht erlauben. Diese Einrichtung, der nach seinem Erfinder Sir H. Bowden benannte **Bowdenzug** (sprich: »Baudenzug«), ist z. B. als Bremsseilzug an Fahrrädern üblich.

1.1.5. Hydraulik- oder Pneumatikantrieb

Auf **hydraulischem Wege**, d. h. durch Vermittlung einer **Flüssigkeit**, oder auf **pneumatischem Wege**, also mit Hilfe eines Gases (in den meisten Fällen Luft), lassen sich ebenfalls Bewegungen weiterleiten.



Bei der in Bild 15 schematisch dargestellten hydraulischen Bewegungsübertragung stehen zwei Zylinder mit Kolben über eine Druckleitung aus Rohren oder Schläuchen miteinander in Verbindung. Wesentlich für die vorliegende Aufgabenstellung ist, daß die beiden Zylinder gleichen Durchmesser, genauer: beide Kolben die gleiche Fläche aufweisen.

Denkt man sich nun einen der Kolben um eine bestimmte Strecke im Zylinder verschoben, so wird eine entsprechende Flüssigkeitsmenge aus diesem Zylinder verdrängt und über die Leitung in den anderen geschoben. Da sich Flüssigkeiten nur äußerst wenig zusammendrücken lassen (man nennt sie »inkompressibel« = nicht zusammendrückbar), muß der Kolben im zweiten Zylinder um die gleiche Strecke zurückweichen. Nur so kann letzterer die aus dem ersten Zylinder verdrängte Flüssigkeitsmenge aufnehmen.

Der erste Zylinder wird **Geberzylinder**, der zweite **Nehmerzylinder** genannt, denn ersterer gibt die Flüssigkeitsmenge ab, welche der zweite aufnehmen muß. Wie man sieht, ist eine sehr genaue Bewegungsübertragung möglich, d. h. der Kolbenweg im Nehmerzylinder stimmt praktisch mit demjenigen im Geberzylinder überein. Natürlich darf sich zwischen den beiden Kolben nur Flüssigkeit, also keine Luft oder ein anderes Gas befinden, und der Raum zwischen den beiden Kolben muß völlig mit Flüssigkeit gefüllt sein. Außerdem müssen beide Kolben in ihren Zylindern einwandfrei abdichten.

Wenn allerdings zum Bewegen des Nehmerkolbens große Kräfte erforderlich sind, etwa weil dieser als Pressenzylinder dienen soll, dann wird die Bewegungsübertragung dennoch ungenau. Denn dann baut sich in den Zylindern und in den Leitungen ein hoher Druck auf, der diese Teile aufweitet, anstatt den Nehmerkolben zu verschieben. Auch machen sich jetzt die unvermeidbaren Undichtigkeiten stärker bemerkbar, indem sich Flüssigkeit an den Kolben vorbeidrückt und so für die Bewegungsübertragung verlorengeht. Bei sehr hohen Drücken fällt auch die sehr geringe Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit dennoch ins Gewicht. Bei größeren Kräften ist also die Bewegungsübertragung auf hydraulischem Weg weniger gut geeignet, wenn auf genaueste Übereinstimmung der Kolbenwege in Geber- und Nehmerzylinder Wert gelegt wird.

Praktische Anwendung findet diese Art der Bewegungsübertragung beispielsweise bei der Kupplungsbetätigung mancher Kraftfahrzeuge, wo es auf Genauigkeit nicht so sehr ankommt.

Beim Niedertreten des Kupplungspedals wird der Kolben des Geberzylinders verschoben, die verdrängte Flüssigkeit wandert über eine Schlauchleitung in den Nehmerzylinder und verschiebt den Kolben in dem am Kupplungsgehäuse angebrachten Nehmerzylinder, wodurch die Kupplung ausgerückt wird.¹

Bei allen hydraulischen Systemen ist zu bedenken, daß eine Erwärmung der zwischen den Kolben eingeschlossenen Flüssigkeit diese zur Ausdehnung bringt, wodurch sich der Nehmerkolben verschieben kann, ohne daß der Geberkolben bewegt wurde, bzw. der Weg des Nehmerkolbens kann größer als der des Geberkolbens werden.

Noch weniger genau ist die Bewegungsübertragung durch **Luft** oder ein anderes **Gas**. Wegen der starken Zusammendrückbarkeit der Gase kann sich der Geberkolben schon ein Stück verschieben, ehe der durch Reibung festgehaltene Nehmerkolben sich in Bewegung setzt, einfach weil das zwischen beiden eingeschlossene Gas sich zusammendrückt. Erst wenn durch dieses Zusammendrücken der Druck im Gas so hoch angestiegen ist, daß die auf den Nehmerkolben ausgeübte Kraft die Reibungskraft an demselben zu überwinden vermag, beginnt dessen Verschiebung. Er legt also einen kleineren Weg zurück als der Geberkolben. Noch ausgeprägter ist diese Erscheinung, wenn der Nehmerkolben bei seiner Bewegung eine größere Kraft aufbringen soll. Daher sind pneumatische Einrichtungen in dieser Form für genaue Bewegungsübertragungen ungeeignet.

Sollen dagegen hauptsächlich **Kräfte** übertragen werden und kommt es dabei auf eine genaue Übertragung der **Bewegung** nicht an, so kann der pneumatische Weg ebenso wie der hydraulische besprochen werden. Dies ist auch in zahllosen Anwendungsformen immer wieder der Fall.

Was geschieht übrigens, wenn sich der Geberkolben in umgekehrter Richtung zurückbewegt? Wird dann der Nehmerkolben folgen? Flüssigkeiten und Gase können doch im allgemeinen keine Zugkräfte übertragen.

Wenn man den Geberkolben zurückzieht, so entsteht zwischen den Kolben ein luftleerer Raum, und der stets vorhandene äußere Luftdruck drückt den Nehmerkolben in den Zylinder hinein.

Wenn die Reibung zwischen Kolben und Zylinderwand nicht allzu groß ist, funktioniert die Sache ganz gut, im andern Fall muß man durch eine

geeignete andere Kraft, z. B. durch Federkraft, den Nehmerkolben zurückführen (wie bei der Kraftfahrzeug-Kupplung).

Verwendet man ein Gas zur Bewegungsübertragung, so entsteht beim Zurückführen des Geberkolbens schließlich ein Unterdruck im Raum zwischen den beiden Kolben, so daß der äußere Luftdruck den Nehmerkolben wieder zurückführen kann, falls die Reibung dies zuläßt. Die Wege beider Kolben stimmen dann natürlich nicht mehr genau überein.

Die unterschiedliche Zusammendrückbarkeit oder Kompressibilität von Flüssigkeiten und Gasen hat auch eine unterschiedliche Gefährlichkeit von unter hohem Druck stehenden Hydraulik- bzw. Pneumatikanlagen zur Folge. Bei Beschädigung einer Hydraulikanlage, die zu einer Undichtigkeit führt, baut sich der Druck nach dem Austreten einer geringen Flüssigkeitsmenge sofort ab, während bei Druckluftanlagen die stark zusammengepreßte Luft sich mit großer Kraftwirkung entspannt und u. U. Teile explosionsartig fortgeschleudert werden. Daher verwendet man zur Dichtheitsprüfung von Druckbehältern, zum sog. Abpressen, gerne Flüssigkeiten.

Die hier besprochenen Tatsachen kann man sich unmittelbar klarmachen, wenn man als Zylinder mit Kolben sog. **Einmalspritzen** benutzt. Diese bekommt man gelegentlich vom Hausarzt geschenkt; man kann sie aber auch für wenig Geld (ohne Injektionsnadeln, welche für den vorliegenden Zweck nicht benötigt werden) in der Apotheke kaufen. Gebrauchte Spritzen vom Arzt müssen sorgfältig ausgespült werden.

Für die folgenden Versuche werden zwei 5-ml-Spritzen (1 Milliliter = 1 Kubikzentimeter, 1 ml = 1 cm³) benötigt. Als Verbindungsleitung eignet sich Kraftstoffschlauch, wie er für Motorflugmodelle in jedem Modellbaufachgeschäft zu haben ist. Natürlich ist auch anderer Plastik- oder Gummischlauch, welcher auf die Tüllen der Spritzen paßt, verwendbar.

Die Spritzen sind auf Zwischenstücken 5 × 15 × 30 gelagert und durch Verbindungsstücke 15 geführt (Bild 16). Zur Befestigung dienen Gummiringe 37 × 2,5. Die Mündungen der Spritzen sind durch Kupplungsstücke 30 gesteckt und durch ein kurzes Schlauchstück verbunden. Die Kupplungsstücke sind zur Erhöhung der Steifigkeit durch eine Achse 60 mit Klemmbuchsen 10 gegeneinander abgestützt.

Das aus Grundplatten 45 × 45 und 90 × 45 bestehende Fundament ist durch Bauplatten 15 × 30 und 15 × 90 versteift.

Wenn die Einrichtung als Hydraulikantrieb arbeiten soll, darf keine Luft zwischen den Kolben eingeschlossen sein. Am besten nimmt man die Fül-

¹ Mit der Bewegungsübertragung ist hier, wie auch sonst sehr oft, eine Kraftübertragung verbunden. Will man nur eine geringe Kraft am Geberzylinder aufwenden, muß man den Durchmesser des Nehmerzylinders größer ausführen. Dann wird aber der übertragene Weg zwangsläufig kleiner. Kraftvergrößerung auf Kosten des Weges: davon wird später noch ausführlicher die Rede sein.

lung bei völlig untergetauchtem Modell in einem Wasserbecken vor. Zum Füllen wird ein Kolben gegen geringen Widerstand aus dem Spritzenzylinder völlig herausgezogen und ausgebaut, der zweite Kolben wird ganz eingeschoben und sodann der erste Kolben wieder eingebaut. An den auf den Spritzen angebrachten Teilungen lassen sich die Kolbenwege sehr gut ablesen und vergleichen, jedoch bedeuten die Teilstriche nicht cm oder mm, sondern ml bzw. cm^3 . Das gezeigte Modell ist übrigens ein Beispiel dafür, wie durch wenige, leicht zu beschaffende Fremdteile die Bau- und Experimentiermöglichkeiten mit fischertechnik bedeutend erweitert werden können.

1.1.6. Elektrische Nachführregelung

Eine Translationsbewegung läßt sich auch noch auf einem ganz anderen Weg mit guter Genauigkeit übertragen. Die nachstehend geschilderte Lösung läßt erkennen, daß es für das Auffinden einer zweckmäßigen Konstruktion vorteilhaft ist, ein möglichst umfangreiches technisches Wissen aus den verschiedensten Gebieten zu besitzen, hier z. B. aus der Elektro- und Regelungstechnik. Diese Art der Übertragung hat den Vorteil, daß die beiden Körper weit voneinander entfernt sein können, da sie nur durch wenige Leitungen miteinander verbunden zu sein brauchen. Statt dieser Drahtleitungen kann auch eine drahtlose (Funk-)Übertragung vorgesehen werden. Man hat es dann mit einer Art Funkfernsteuerung zu tun, wie sie vom Flug- und Schiffsmodellbau her

bekannt ist. Bild 17 zeigt das Schema einer solchen Nachführregelung. Wird der linke Körper mit dem Schleifkontakt von Hand um eine gewisse Strecke verschoben, so verschiebt der Motor über ein Zahnstangengetriebe den rechten Körper um die gleiche Strecke. In [2] ist eine solche Nachführregelung beschrieben. Auch ein Funktionsmodell ist dort gezeigt. Daher wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

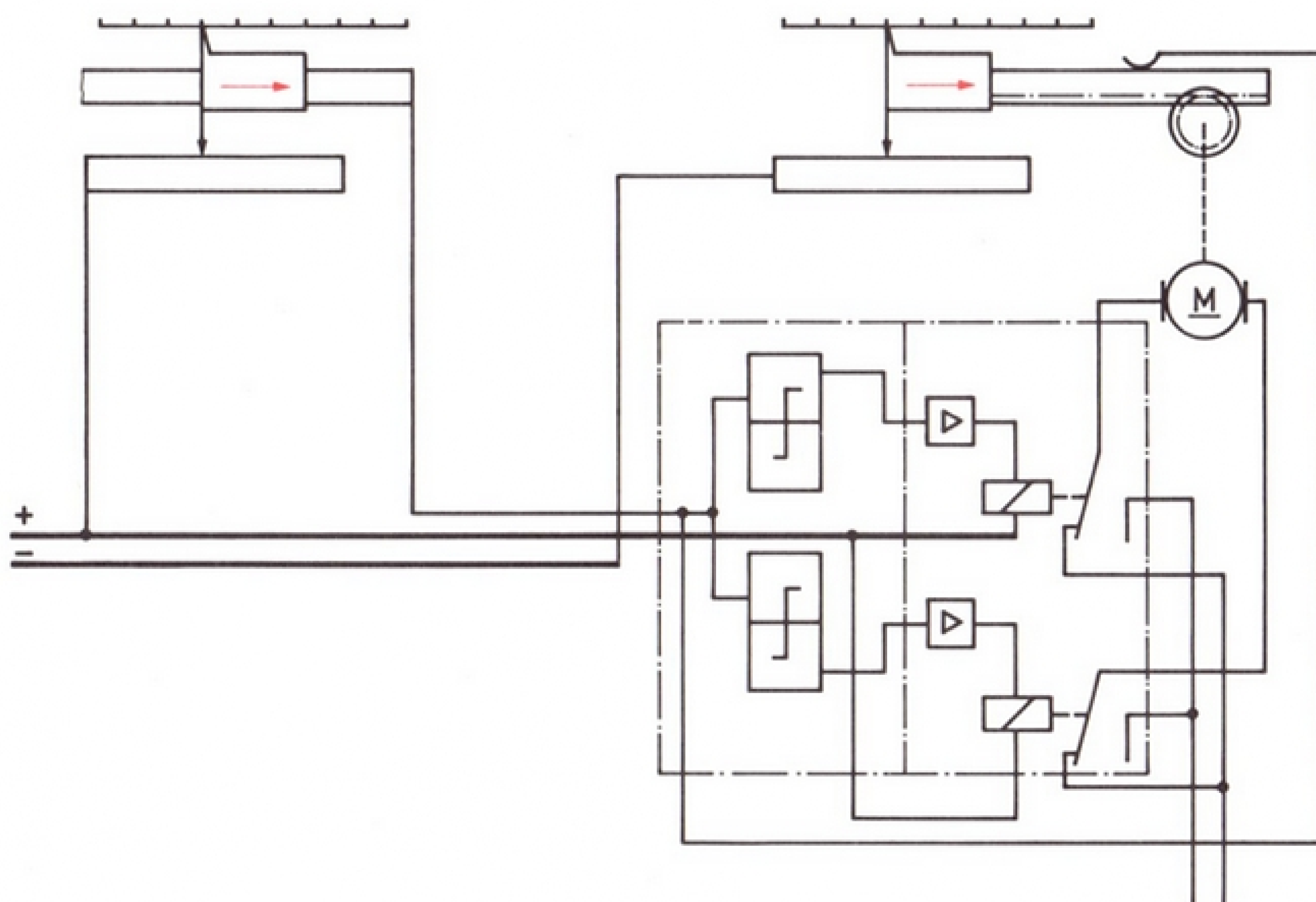
1.2. Übertragung von Translationsbewegungen mit Richtungsumkehr

Während in den vorhergehenden Abschnitten beide Körper **gleiche Wege** in **gleicher Richtung** zurücklegen sollten, wird in diesem und den folgenden Abschnitten eine Umkehr der Bewegungsrichtung gefordert. **Der zweite Körper soll die gleiche Strecke zurücklegen wie der erste, aber eben »rückwärts«.** Wie läßt sich das erreichen?

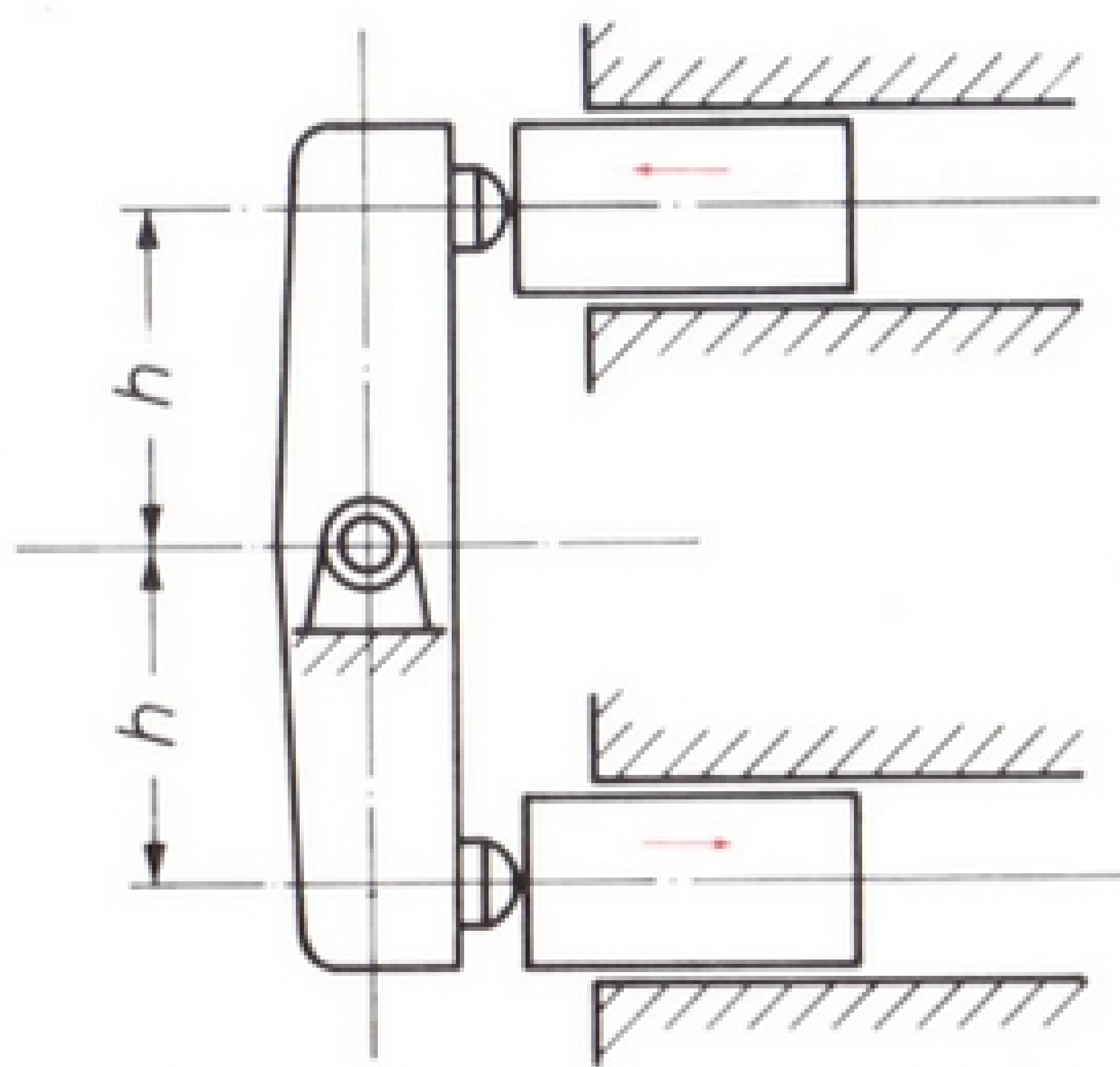
1.2.1. Gleicharmiger Hebel mit unmittelbarer Berührung

Bild 18 zeigt eine solche, leicht verständliche Anordnung, die offenbar keines Modells zur Erläuterung bedarf. Bei gleich langen Hebelarmen h sind die Wege beider Körper genau gleich lang, aber richtungsmäßig entgegengesetzt. Es findet also eine exakte Richtungsumkehr statt. Geht man von der Mittelstellung aus (Bild 19), so verschieben sich beide Körper um den gleichen Weg s .

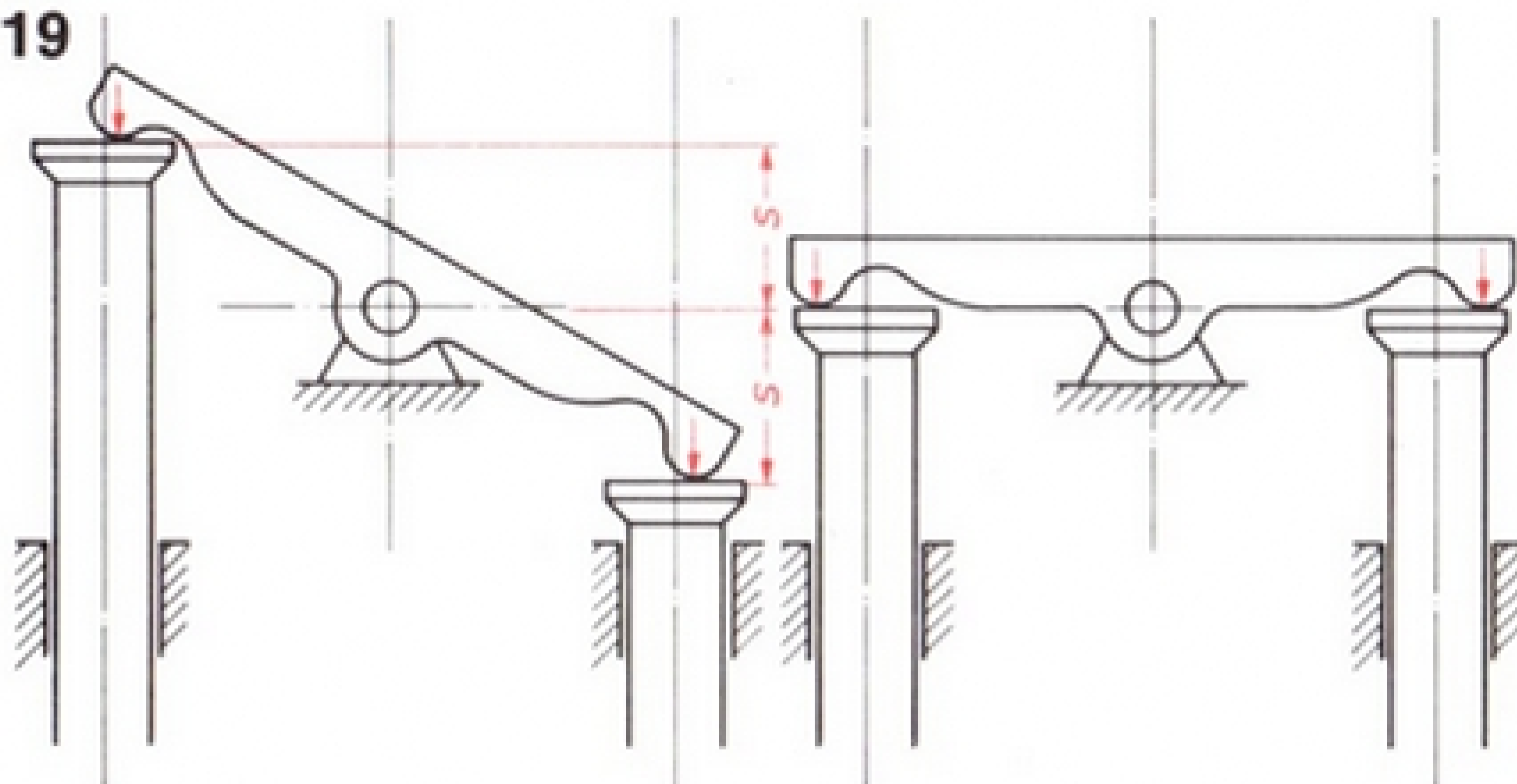
17



18



19



1.2.2. Gleicharmiger Hebel mit Zweigelenkstäben

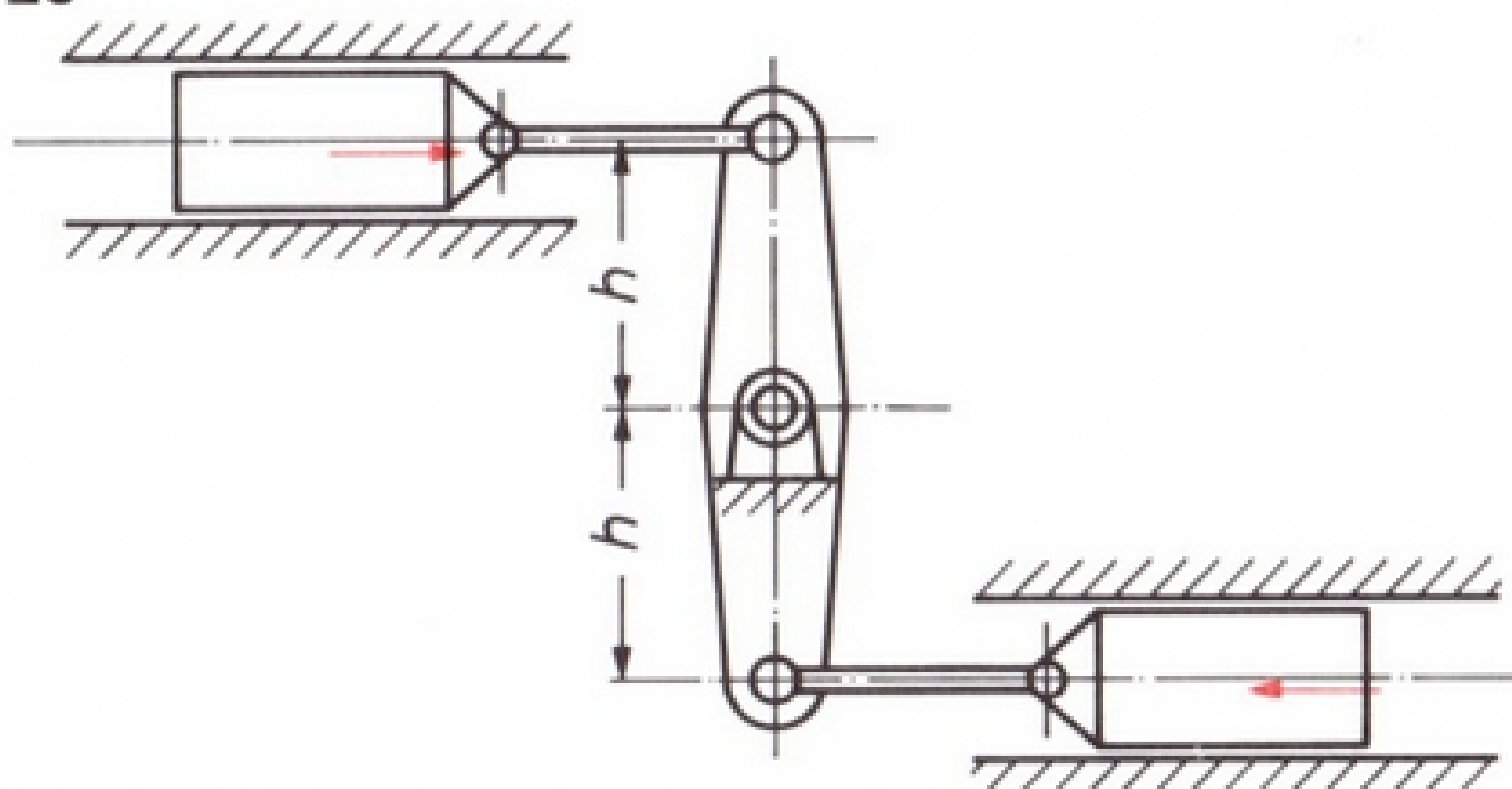
Will man den Hebel nicht unmittelbar auf die Körper wirken lassen, um die Gleitbewegungen zwischen Hebel und Körper zu vermeiden (sie sind in Bild 19 gut sichtbar!), so verbindet man Hebel und Körper mit gelenkig angeordneten Verbindungsstangen (Zweigelenkstäben). Dies ist auf zwei Arten möglich:

Die Anordnung nach Bild 20 ergibt eine genaue Richtungsumkehr, wobei die Wege beider Körper genau übereinstimmen. Dies ist bei der Anordnung nach Bild 21 nicht der Fall!

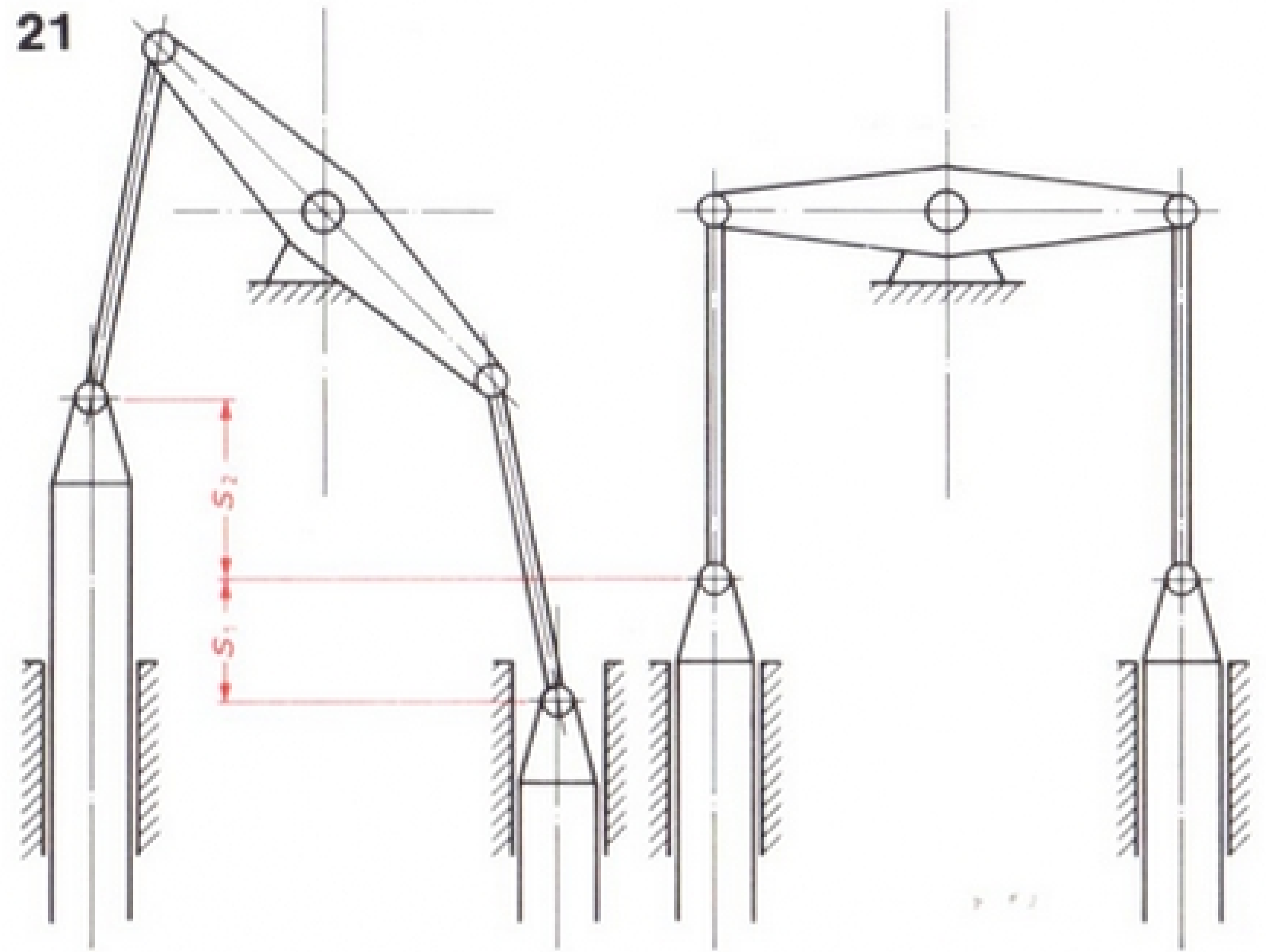
Von der Mittellage aus sind die Wege s_1 und s_2 der beiden Körper verschieden.

Sind übrigens von den Stangen nur Zugkräfte zu übertragen, so können sie durch Seile ersetzt werden.

20



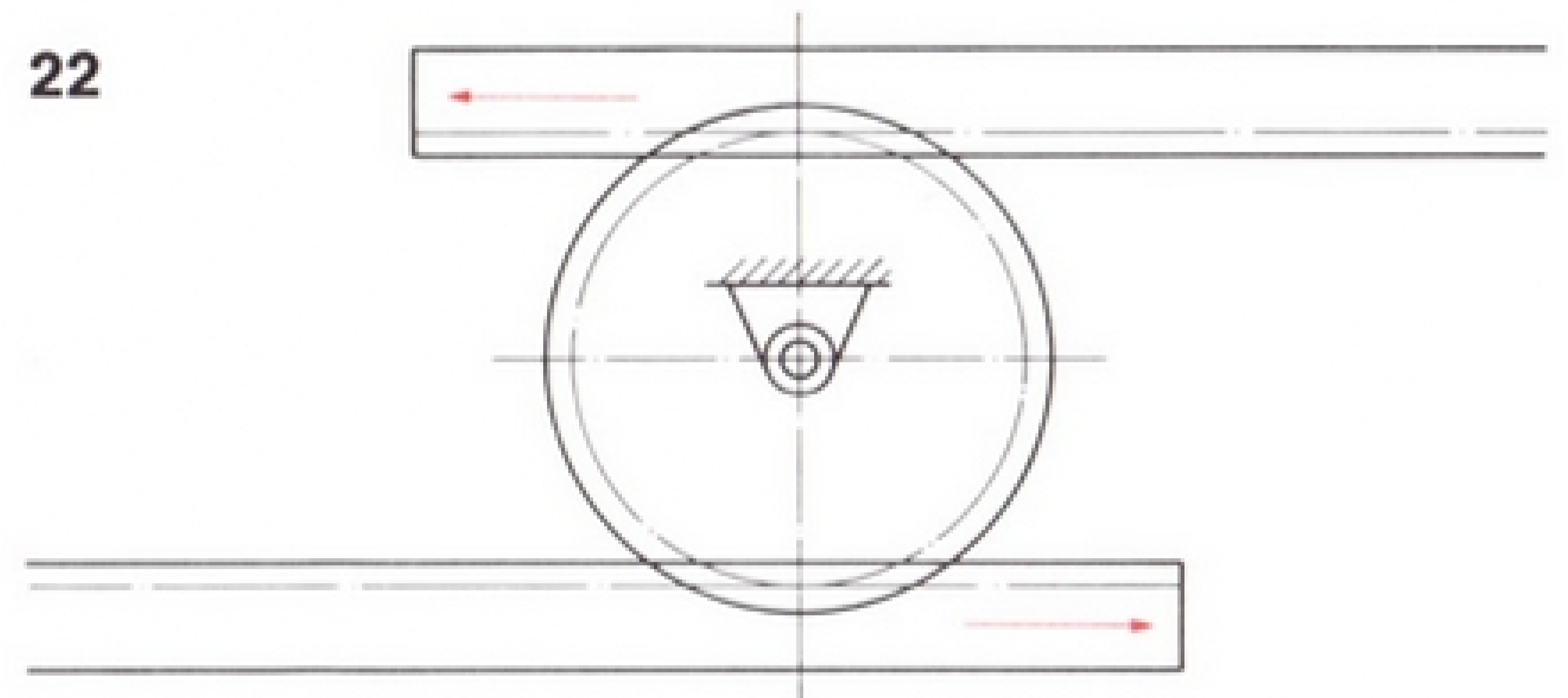
21



1.2.3. Zahnstangen mit Zwischenrad

Eine sehr genaue Richtungsumkehr einer Bewegung läßt sich nach Bild 22 erreichen. Die Be-

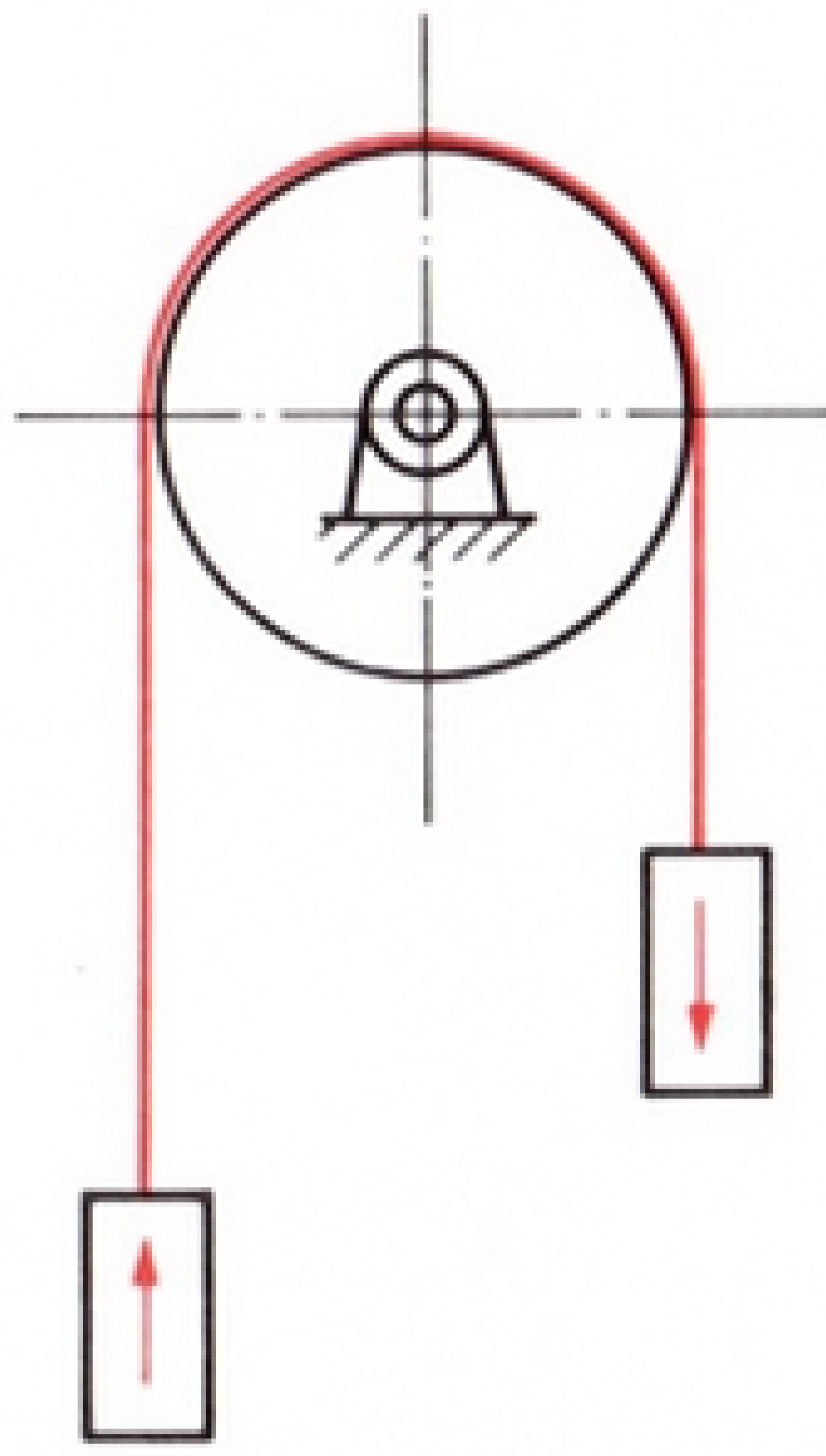
22



wegung der einen Stange wird durch das Zahnrad umgekehrt und auf die zweite Zahnstange übertragen. Das Modell nach Bild 23 verdeutlicht noch einmal die Wirkungsweise. Man benötigt zwei Zusatzpackungen 029. Die Zahnstangen sind auf Bausteine 30 aufgeschoben, welche sauber auszurichten sind, damit sie leicht auf den Achsen 200 gleiten. Als Griffe dienen Klemmkupplungen, die auf Radachsen an den Bausteinen 30 stecken. Die Grundplatte 90×45 ist durch Bauplatten 30×30 mit der Grundplatte 180×90 verbunden. Das Zahnrad Z 20 ist in einem Baustein 30 gelagert, welcher durch Bausteine V 15 Eck gehalten ist.

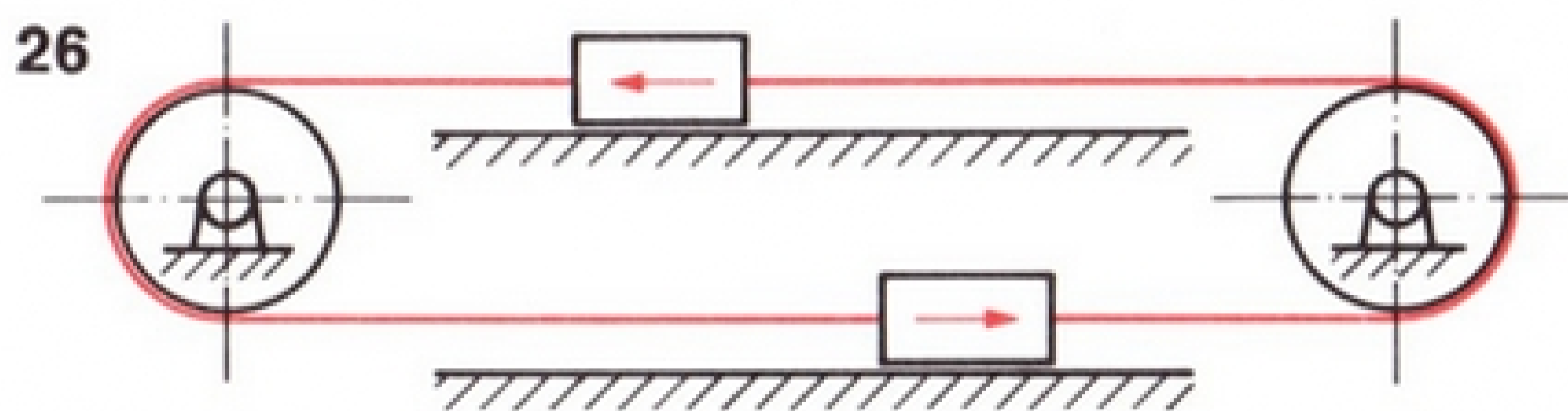
1.2.4. Zugmittel

Mit Hilfe eines **Zugmittels** (Seil, Riemen, Kette) läßt sich unter Verwendung von Seilrolle, Riemenscheibe oder Kettenrad ebenfalls eine sehr exakte Richtungsumkehr erreichen (Bild 24). Die bei der Bewegungsübertragung auftretenden Kräfte dürfen allerdings nicht so groß sein, daß sich das Zugmittel merklich dehnt. Wie das Modell auf Bild 25 zeigt, kann das Seil auch über mehrere Rollen



geführt werden. Wieder werden 2 Zusatzpakungen 029 gebraucht. Die als »Körper« anzusehenden Bausteine 30 müssen auf den Achsen 200 leicht laufen, ebenso die Seilrollen $\varnothing 21$ auf ihren Achsen. Schiebt man einen der beiden Bausteine 30 nach oben, so senkt sich der andere um die gleiche Strecke.

In anderer Weise wird das Zugmittel nach Bild 26 eingesetzt. Hier findet ein endloses Seil Verwen-



dung. Für das Modell nach Bild 27 benötigt man neben 2 Zusatzpackungen 029 noch 2 zusätzliche Gelenksteine aus der Packung 030. Die Achsen 60 der Seilrollen sind in Kupplungsstücken 2 gelagert.

Auch hier müssen die Achsen 200 so ausgerichtet werden, daß die Bausteine 30 leichtgängig sind. Das mäßig gespannte Nylonseil wird an einem Ende mit einer Schlinge, am andern mit einem Seilklemmstift befestigt. Verschiebt man einen »Körper« (Baustein 30), so bewegt sich der andere in umgekehrter Richtung.

Eine weitere Möglichkeit, ein Zugmittel einzusetzen, bildet der Bowdenzug, welcher nach Bild 28 eine Richtungsumkehr bewirkt.

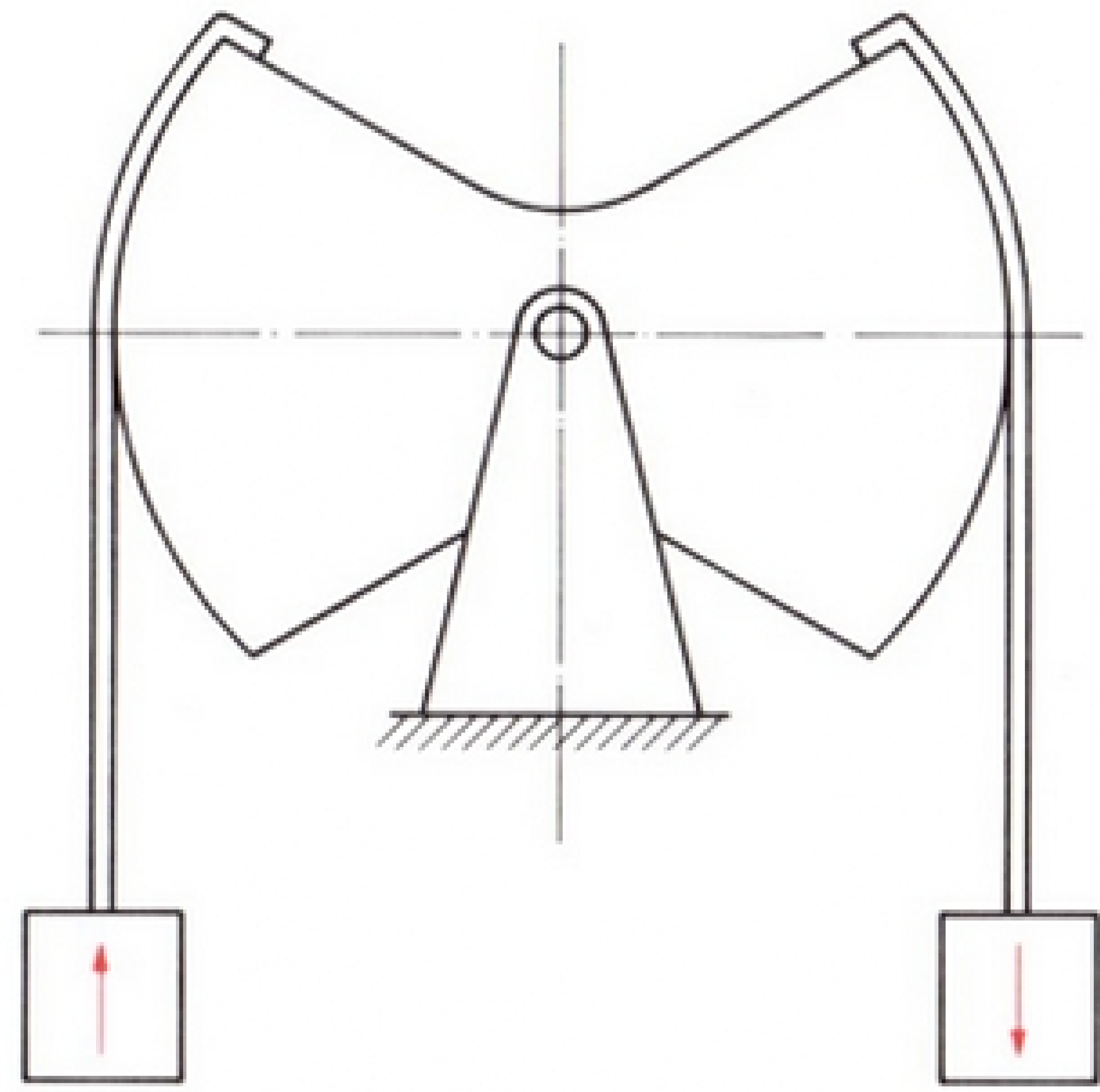
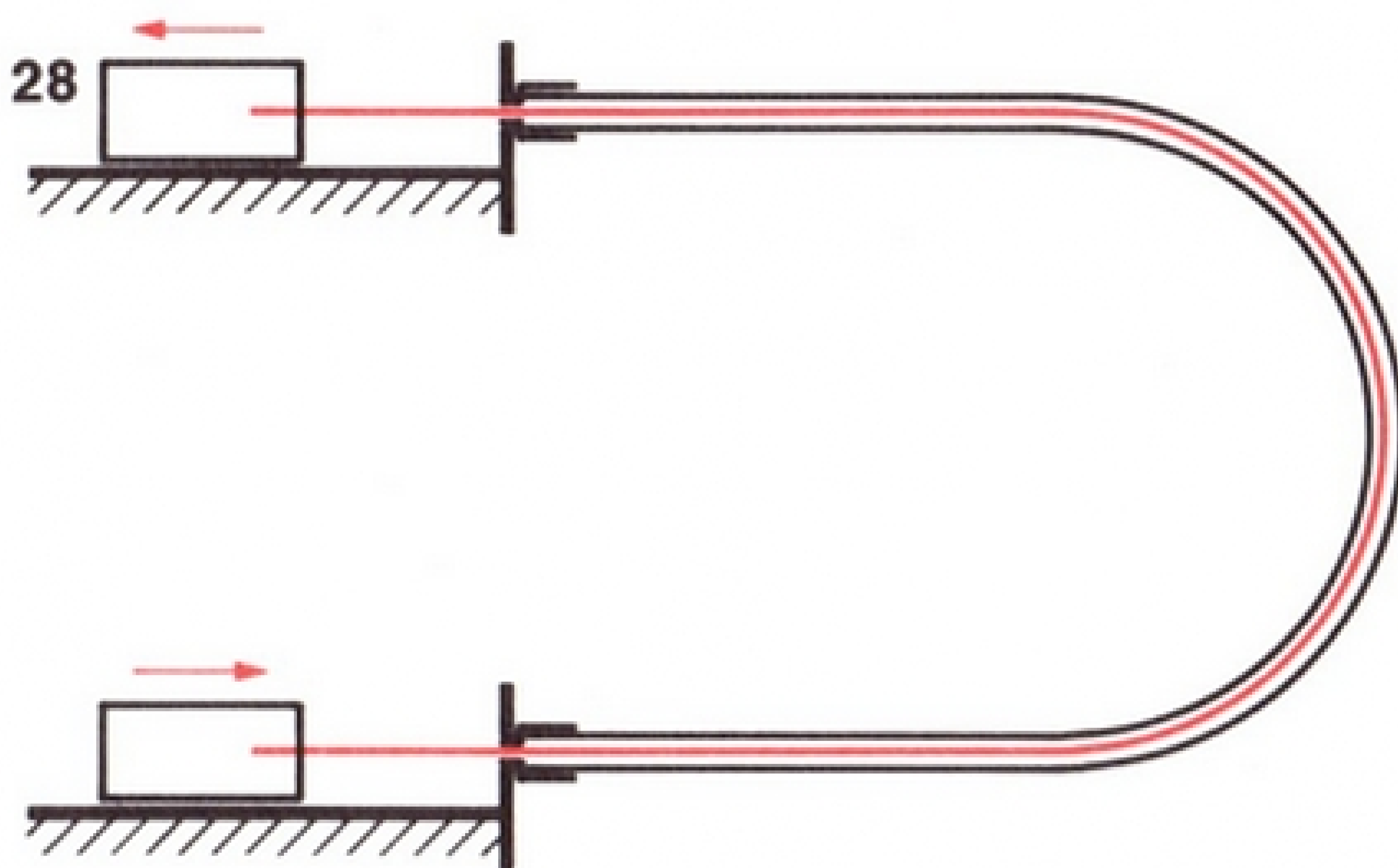
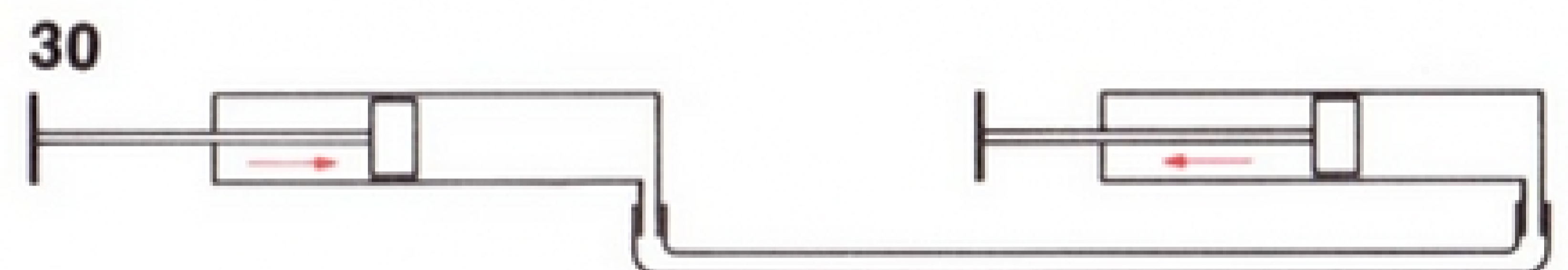


Bild 29 zeigt eine Lösung, bei welcher Stahlbänder auf Kreisabschnitten abrollen. Auch hierbei stellt sich eine exakte Bewegungsumkehr ein.

1.2.5. Hydraulik- oder Pneumatikantrieb

Wie Bild 30 zeigt, erhält man auch auf diesem Wege eine Richtungsumkehr der Bewegung. Bild



31 gibt ein entsprechendes Modell wieder. Im übrigen gilt in vollem Umfang das in Abschnitt 1.1.5. Dargelegte.

1.2.6. Elektrische Nachführregelung

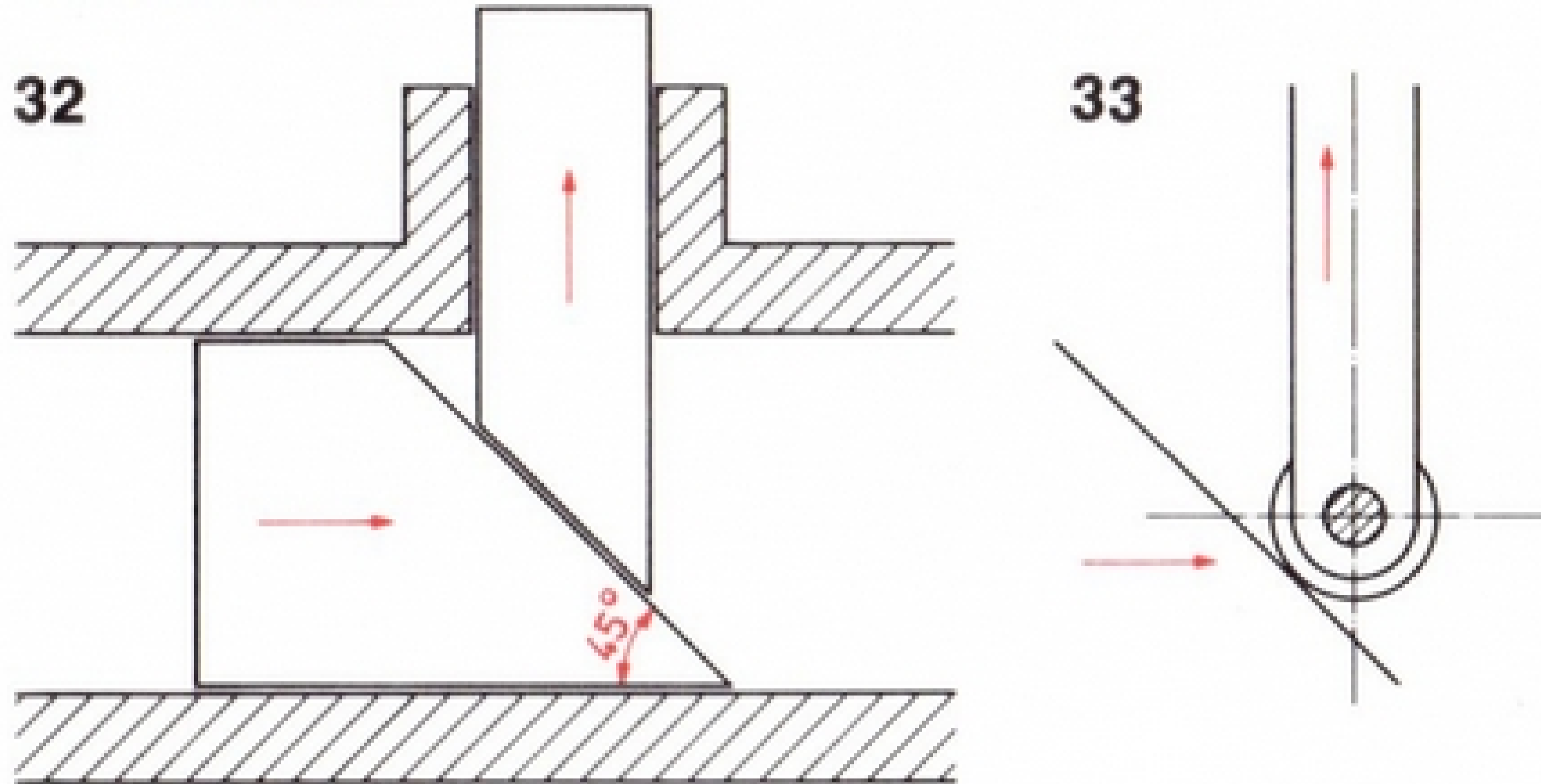
Es leuchtet ohne weiteres ein, daß man durch die gleiche Einrichtung, wie sie Bild 17 zeigte, auch eine Richtungsumkehr erreichen kann. Man braucht sich hierzu lediglich die linke Bildhälfte spiegelbildlich zu denken. Bewegt man jetzt in Gedanken den Körper mit dem Schleifkontakt nach rechts, so wird der Stellmotor auf der rechten Bildhälfte den zweiten Körper um die gleiche Strecke nach links verschieben.

1.3. Übertragung von Translationsbewegungen in eine beliebige Richtung

Auch bei dieser Übertragung soll der Weg der Translationsbewegung unverändert bleiben; letztere soll vielmehr in voller Größe in eine andere Richtung umgeleitet werden. Die oben besprochene Richtungsumkehr ist eigentlich nur ein Sonderfall dieses Problems, wobei eben die Richtung um 180° umgelenkt wird. Daher werden im Prinzip die in den vorhergehenden Abschnitten aufgezeigten Lösungsmöglichkeiten im Prinzip auch hier anwendbar sein.

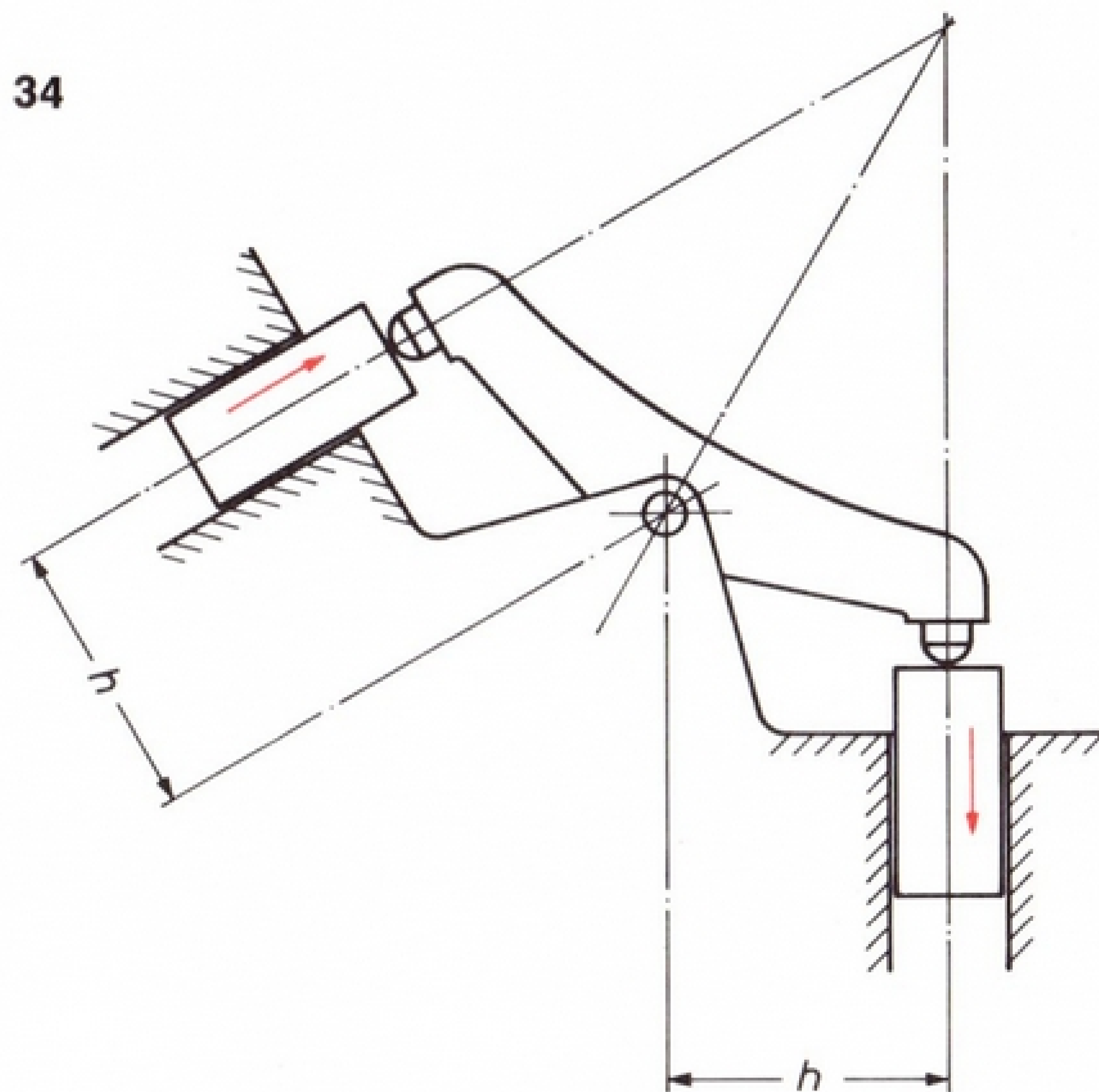
1.3.1. Keilschubgetriebe

Das Keilschubgetriebe nach Bild 32 arbeitet mit unmittelbarer Berührung und ergibt eine exakte Umlenkung der Bewegung. Die Bewegungsrichtungen der Keile müssen nicht unbedingt senkrecht aufeinanderstehen. Ist bei rechtwinklig zueinander stehenden Bewegungsrichtungen der Steigungswinkel des unteren Keils 45° , so sind die Wege beider Keile gleich groß. Statt des senkrecht angeordneten Keils kann auch eine Rolle vorgesehen werden, wodurch die Reibung vermindert und Kraft gespart wird (Bild 33). Ein ähnlich aufgebautes Modell findet sich in Heft 3 dieser Reihe.

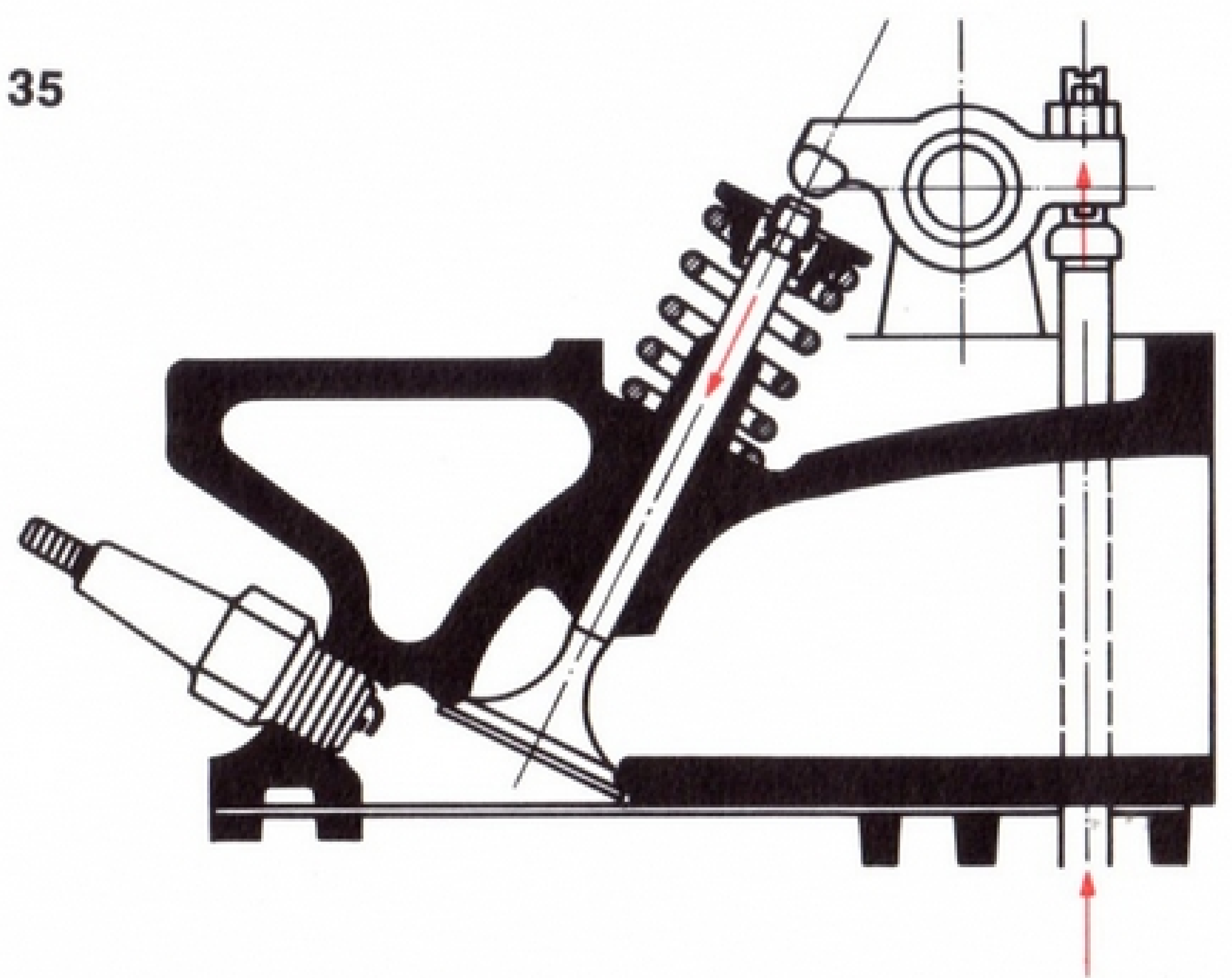


1.3.2. Gleicharmiger Winkelhebel

Das Prinzip dieser Anordnung ist auf Bild 34 zu sehen. Die Translationsbewegung eines Körpers wird aus der einen Richtung unter Beibehaltung des Weges in eine andere überführt. Eine Anwendung dieses Prinzips findet sich bei der Ventilsteuerung des Viertakt-Verbrennungsmotors [3]. Die Bewegung der senkrechten Stößelstange wird in die schräg gerichtete Bewegung des Ventils umgelenkt (Bild 35). Als Übertragungsmittel wird der gleicharmige Winkelhebel benutzt, hier **Kipphebel** genannt (vergleiche auch Bild 4). Ein

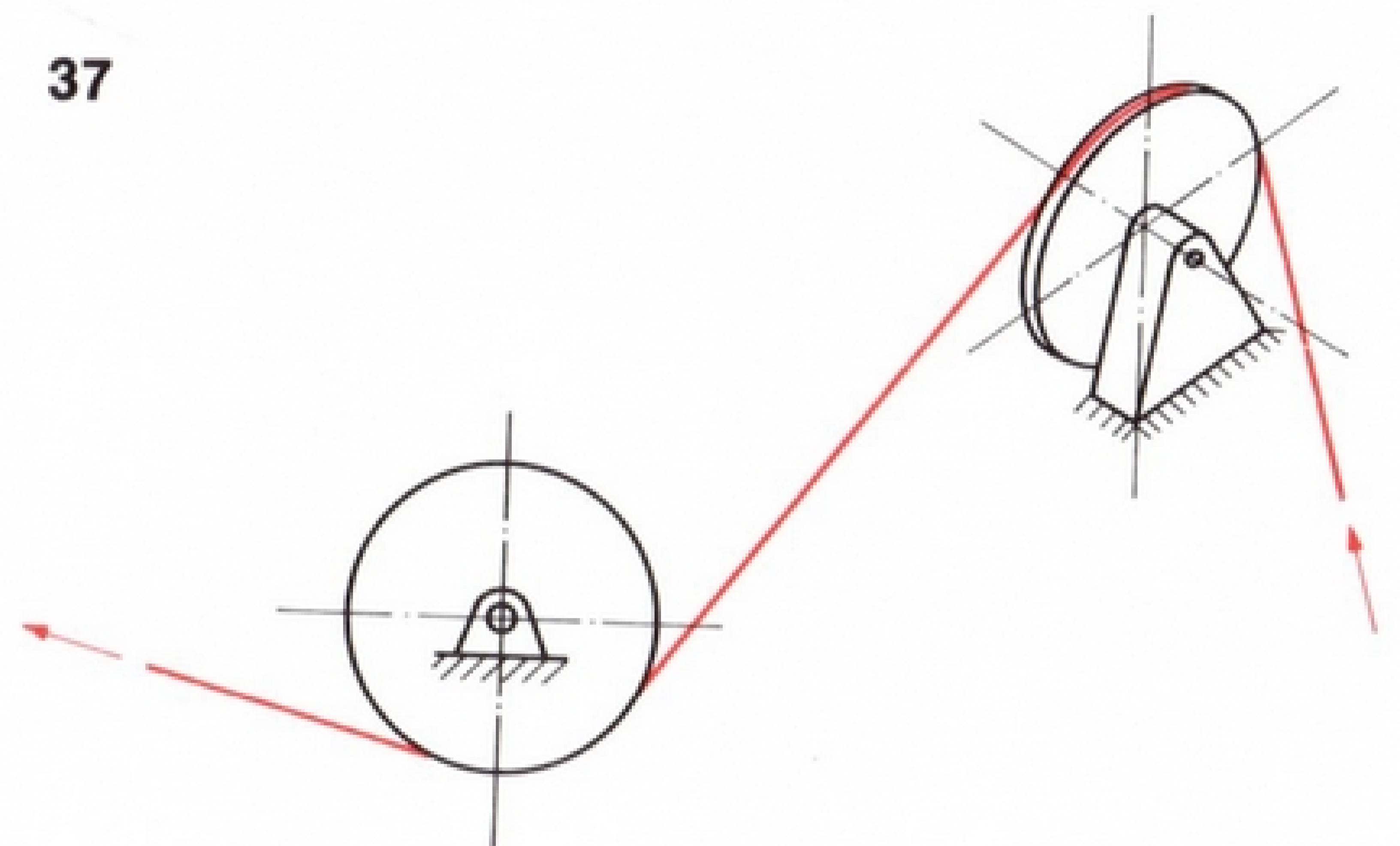


35



Modell für eine Bewegungsumlenkung um einen rechten Winkel zeigt Bild 36. Die Zusatzpackung 029 ist zum Bau des Modells nicht unbedingt erforderlich, da auch kürzere Achsen verwendet werden können. Als Winkelhebel dient ein Gelenkstein, welcher durch Festziehen der Verschraubung (mit Hilfe von zwei Geldstücken als Schraubendreher) bewegungsunfähig gemacht wurde. Er ist in der Bohrung des Gelenkes gelagert.

37

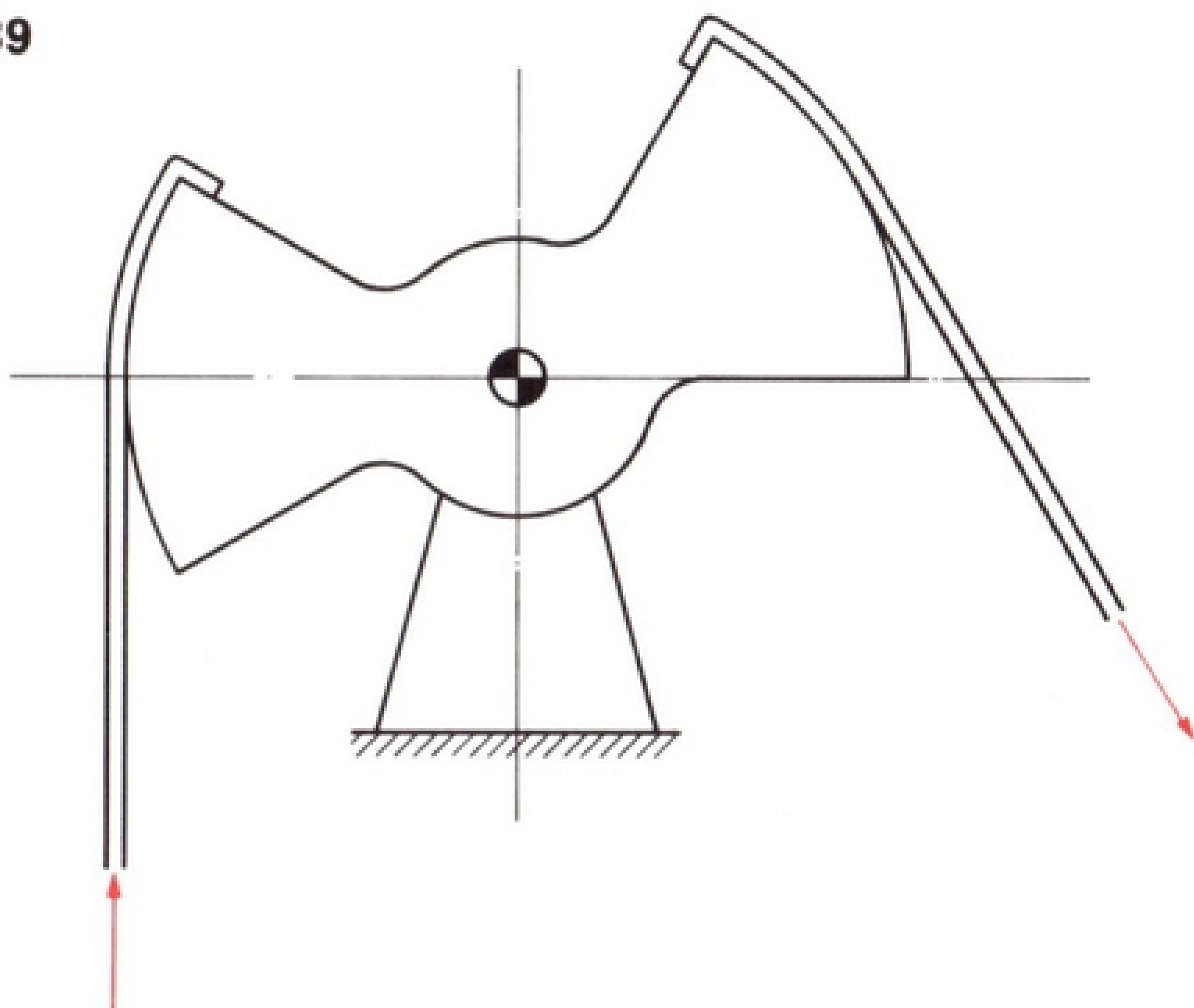


1.3.3. Zugmittel

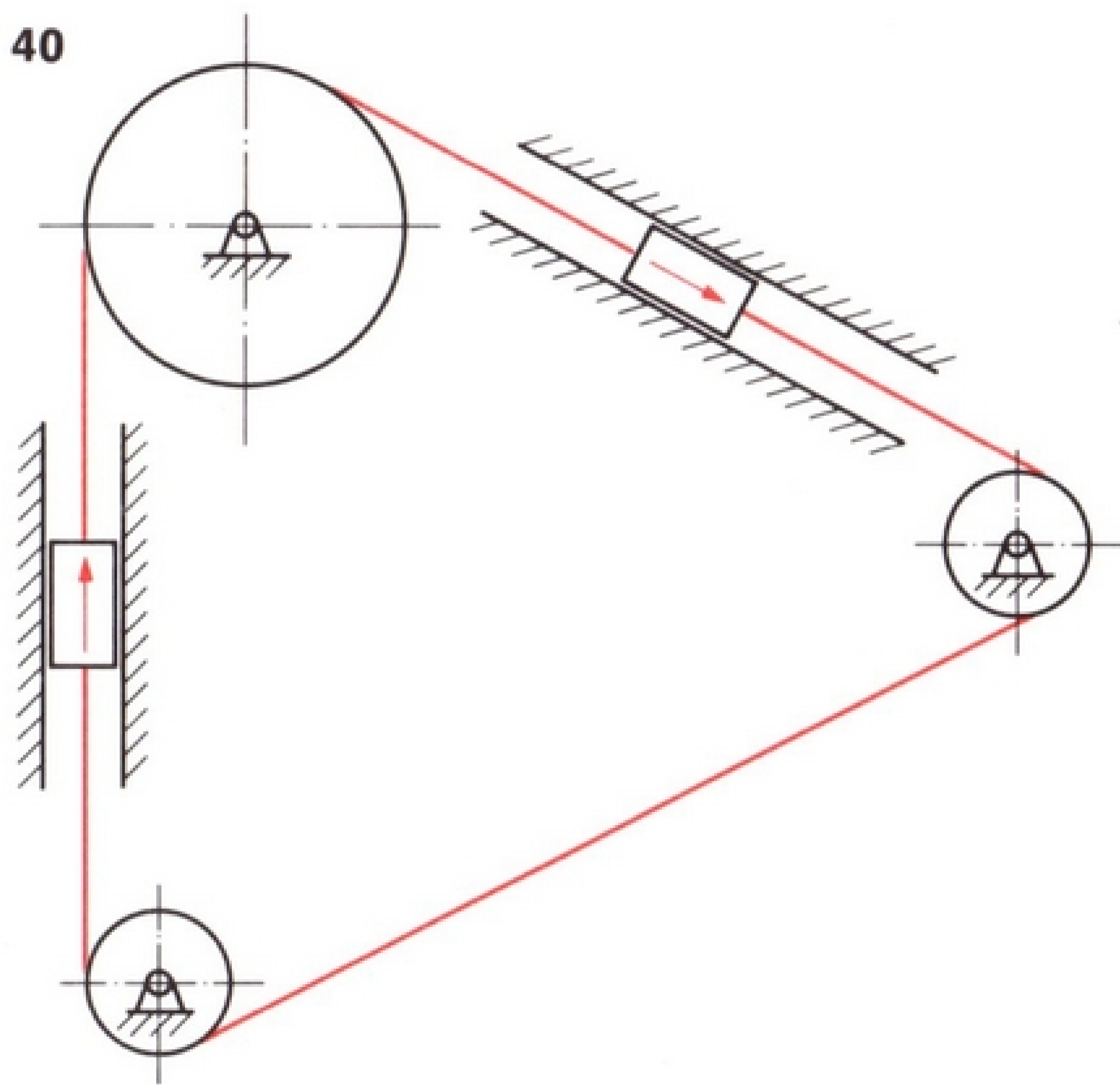
Wie Bild 37 zeigt, kann man durch ein Seil eine Bewegung in jede beliebige Richtung umleiten, wenn man dieses durch geeignete Rollenarrangements führt. Das Funktionsmodell nach Bild 38 benötigt eine Druckfeder aus dem Zusatzkasten mot 2. Die Bewegung der beiden Achsen 110 ist durch ein Zugmittel, hier ein Stück Nylonseil, gekoppelt. Die Lagerung der einen Achse ist durch einen in bekannter Weise schwergängig eingestellten Gelenkstein schwenkbar, so daß die Bewegungsrichtung geändert werden kann. Das Seil ist mit Hilfe von Klemmbuchsen an den Achsen befestigt. Die Druckfeder sorgt dafür, daß bei der Bewegungsübertragung nur Zugkräfte auftreten, da ja ein Seil keine Druckkräfte aufnehmen kann. Die Seilrollen $\varnothing 12$ und $\varnothing 21$ müssen so eingestellt werden, daß das Seil richtig abgelenkt wird und nicht schräg auf die Rollen aufläuft.

Andere Lösungen mit Zugmitteln zeigen die Bilder 39 und 40. Auch der Bowdenzug nach Bild 41 muß hier wieder erwähnt werden.

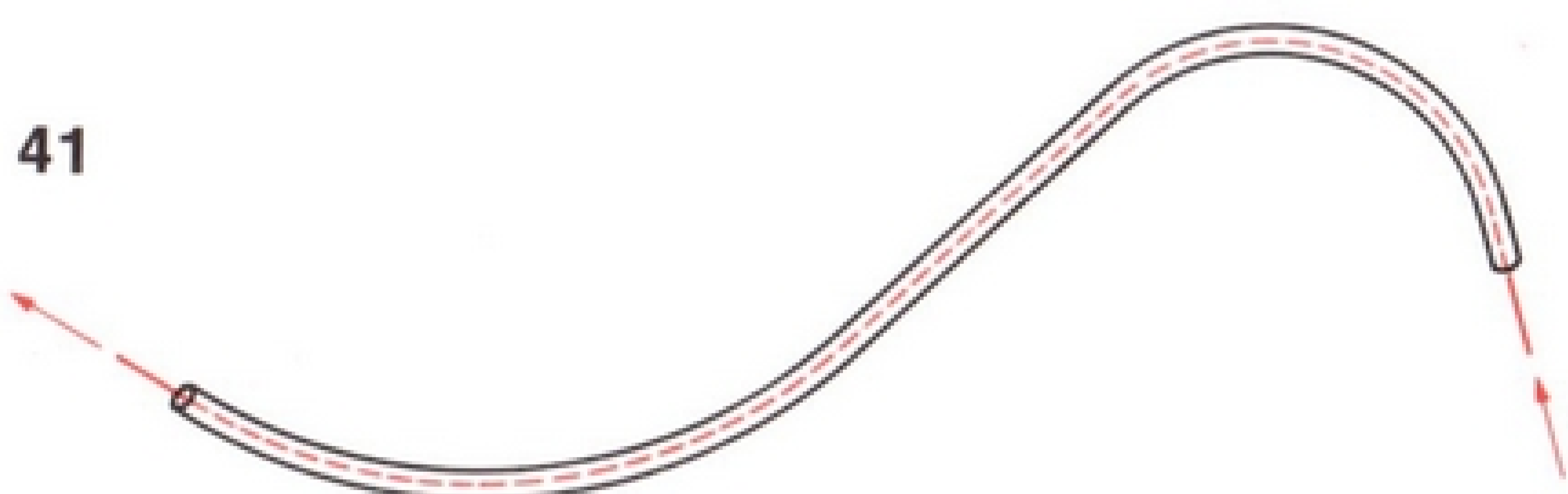
39



40



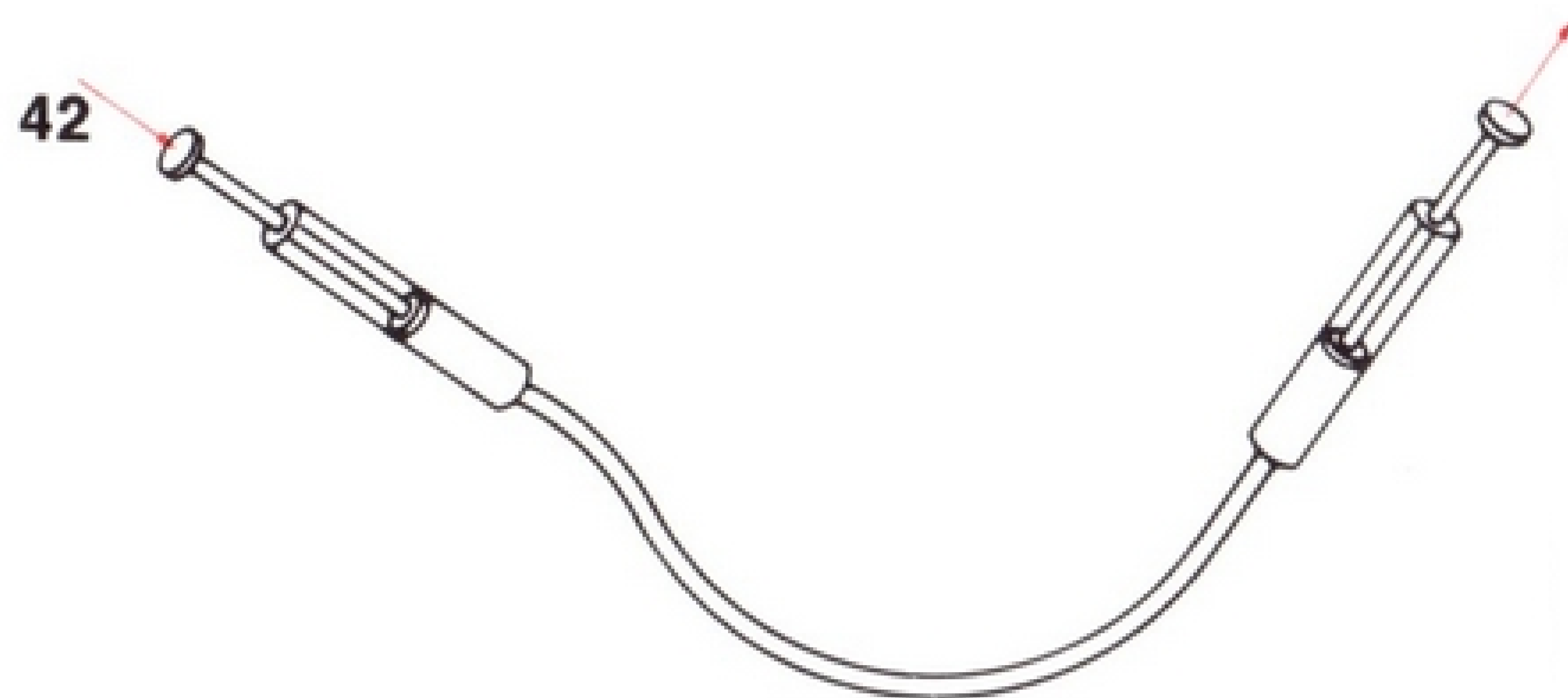
41



1.3.4. Hydraulik- oder Pneumatikantrieb

Bild 42 und das Modell nach Bild 43 zeigen die Anwendung dieses Prinzips auf die vorliegende Aufgabenstellung. Beim Modell wird der schräge Ausleger von zwei Bausteinen 15 mit 2 runden Zapfen getragen.

42



1.3.5. Elektrische Nachführregelung

Auch an diese Lösung muß in dem vorliegenden Zusammenhang noch einmal erinnert werden.

1.4. Koppelung von Rotationsbewegungen bei fluchtenden oder parallelen Drehachsen

Diese Aufgabe tritt im Maschinen- und Fahrzeugbau sehr oft auf, und ein Teil der möglichen Lösungen ist sicher schon geläufig. Das bekannteste Beispiel sind die Treibachsen einer Dampflokomotive, welche ja alle die gleiche Drehbewegung machen sollen und von denen nur eine oder zwei von der Lokomotivdampfmaschine angetrieben werden.

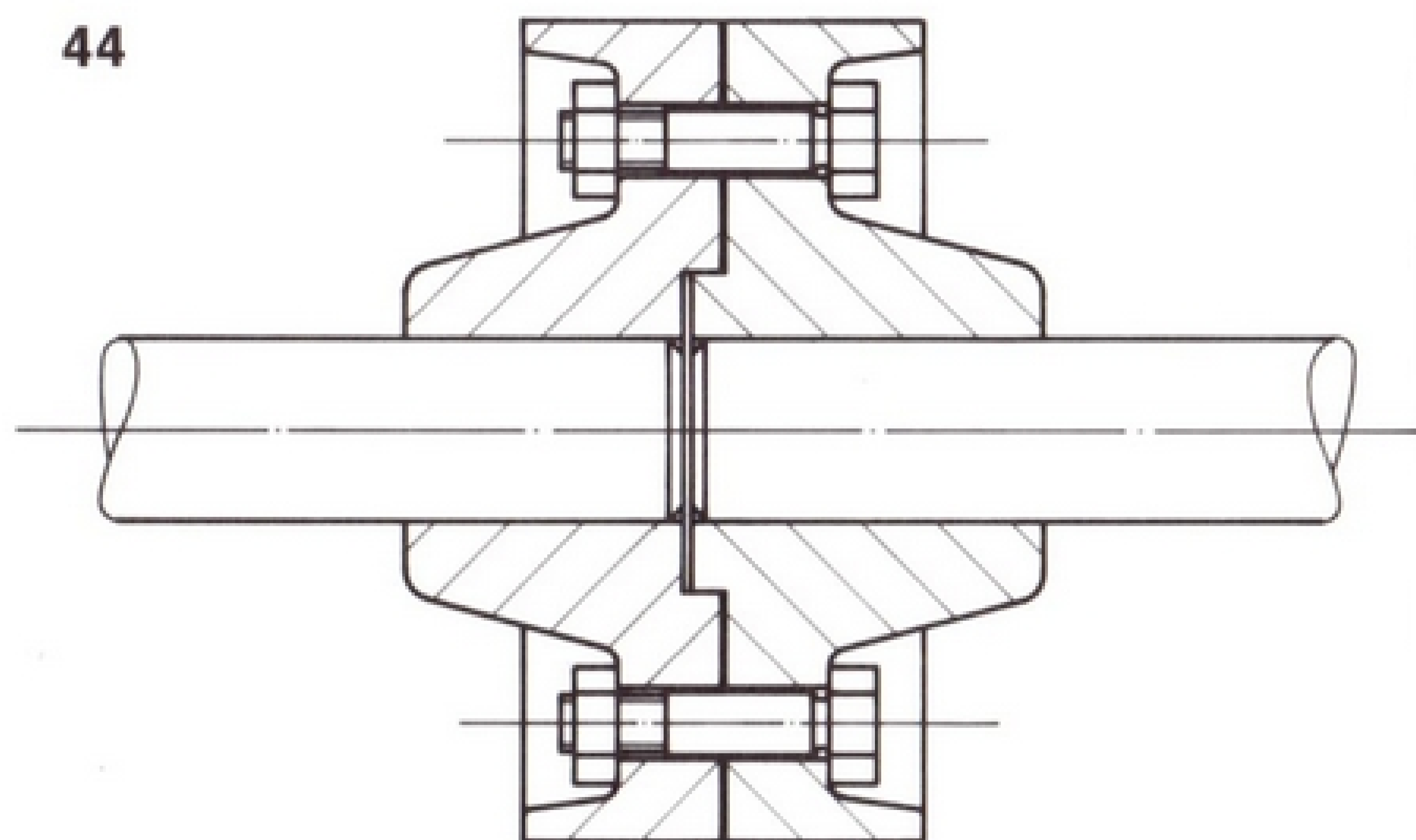
Hier soll jedoch eine ganze Reihe von Möglichkeiten zusammengestellt werden, Drehbewegungen ungeändert zu übertragen.

1.4.1. Kupplungen

Liegen die Wellen, zwischen denen die Bewegung übertragen werden soll, nicht parallel nebeneinander, sondern in einer Flucht hintereinander (fluchtende Wellen), so kann man die Bewegung durch eine Kupplung (Wellenkupplung) weiterleiten. Es gibt sehr viele, auf den jeweiligen Verwendungszweck besonders abgestimmte Kupplungsbauarten [4].

Hier soll das Bild einer **Bolzenkupplung** genügen (Bild 44). Das Modell nach Bild 45 zeigt hingegen

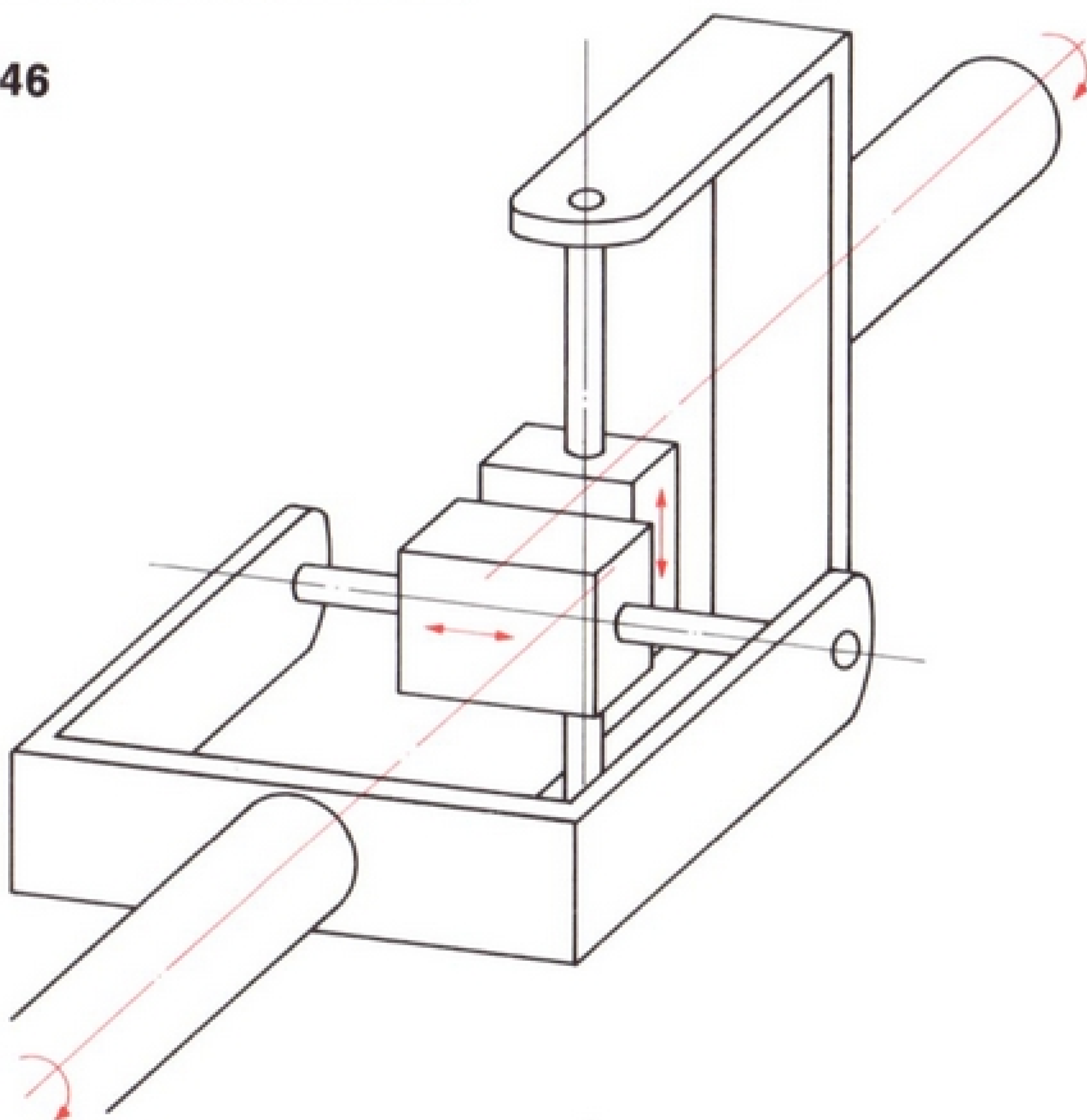
44



gleich zwei Bauarten: die fischertechnik Klemmkupplung, technisch etwa der **Schalenkupplung** vergleichbar, und eine Bolzenkupplung. Als Scheiben dieser Kupplung dienen große Drehscheiben, als Bolzen Achsen 30, welche durch Riegelscheiben am Herausfallen gehindert werden. Beim Aufbau des Fundamentes und der Lager muß darauf geachtet werden, daß die Wellen genau fluchten, sonst klemmen sie in ihren Lagern. In der Praxis würde man hier **elastische** Kupplungen verwenden, welche geringe Fluchtfehler auszugleichen vermögen. Eine der großen Drehscheiben sitzt auf einer Achse, welche nur an einer Seite gelagert ist. Man spricht von **fliegender Lagerung**. Damit die Welle bei der Drehung infolge des Spiels in der Bausteinnut nicht schwankt, ist die Lagerlänge durch einen Baustein 15 vergrößert, welcher am Baustein 30 mit Bohrung angebracht ist.

Sind die Wellen nicht in einer Flucht oder verschoben sie sich gar während des Betriebes seitlich, so muß man **bewegliche** Kupplungen verwenden. Bild 46 zeigt ein Beispiel in Form einer doppelten Kurbelschleife [5]. Das zugehörige, sehr interessante Funktionsmodell ist auf Bild 47 zu sehen. Bemerkenswert ist, daß beide Achsen absichtlich in verschiedenen Höhen gelagert sind. Trotzdem stellt sich eine einwandfreie Drehbewegung ein. Lehrreich ist auch der sehr steife Aufbau des Fundaments.

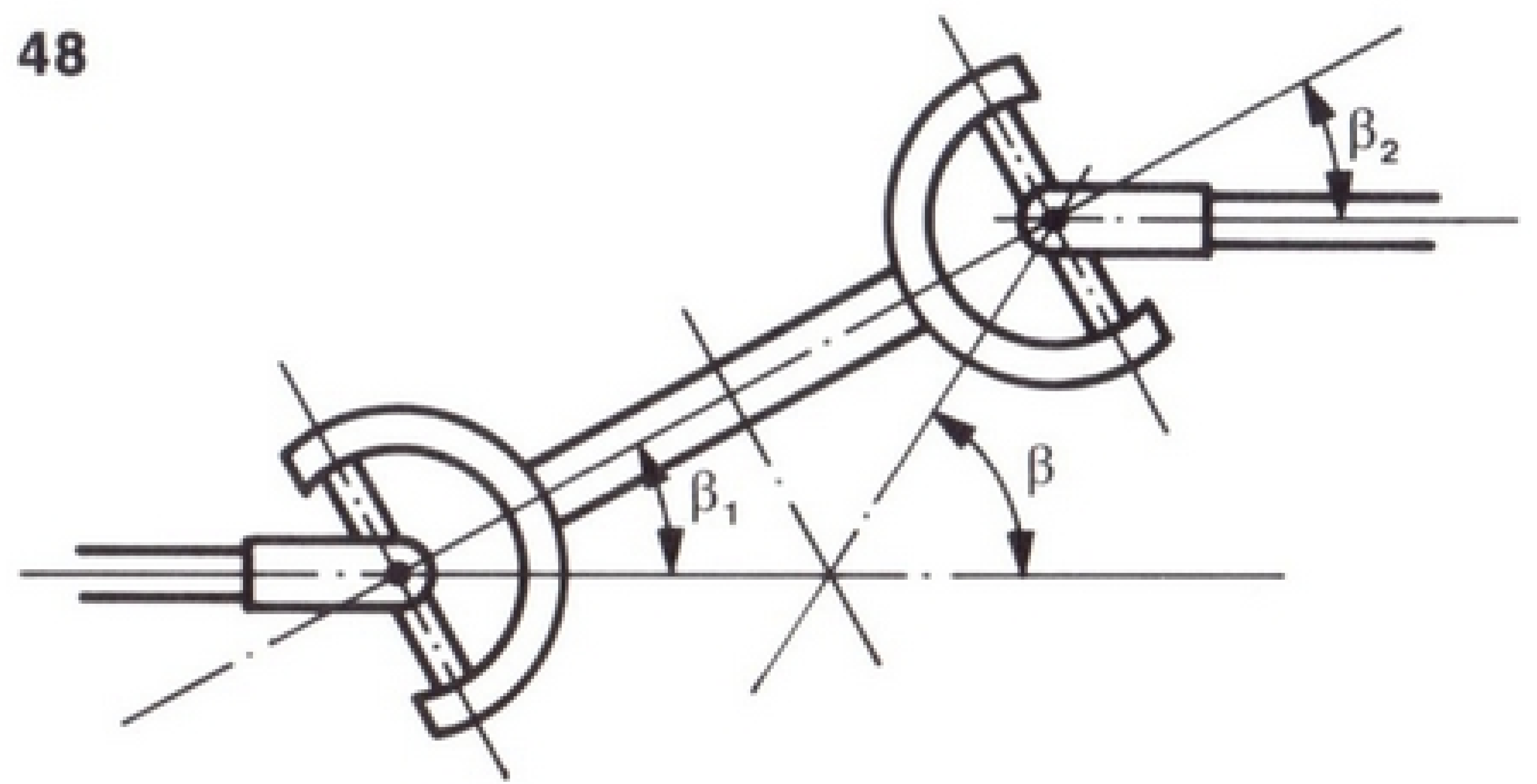
46



1.4.2. Kreuzgelenke

Durch 2 Kreuzgelenke in der in Bild 48 gezeigten Anordnung (**Z-Beugung** genannt) lassen sich Drehbewegungen völlig exakt auf eine andere parallele Welle übertragen. Anwendungen gibt es im Werkzeugmaschinen- und im Fahrzeugbau

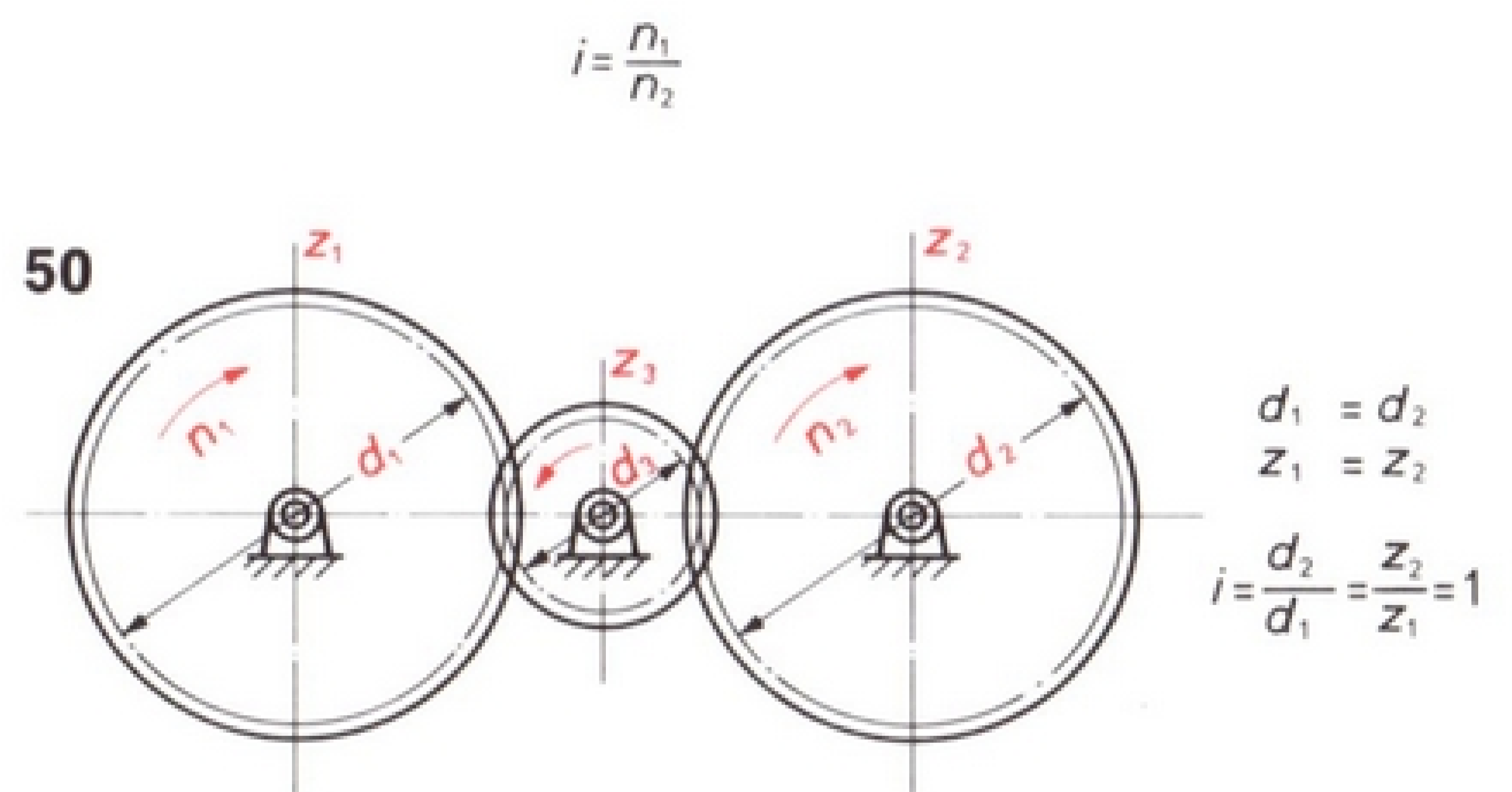
48



[6]. Das Funktionsmodell ist nach Bild 49 leicht zu bauen. Die beiden Winkel β_1 und β_2 zwischen den Endwellen und der Zwischenwelle müssen genau gleich sein. Für einen technisch richtigen Aufbau müssen die Gabeln der Gelenke an der Zwischenwelle in der gleichen Stellung befestigt sein (vergleiche Bild 48, Bild 49 und [6]). Werden die genannten Bedingungen nicht eingehalten, so ergibt sich eine fehlerhafte Bewegungsübertragung, d. h. die Abtriebswelle läuft trotz gleichförmiger Drehung der Antriebswelle **ungleichförmig**. Allerdings wird man diese Unregelmäßigkeit beim Drehen mit der Hand nicht spüren. In einem der folgenden Hefte dieser Reihe wird auf die Kreuzgelenke noch näher eingegangen werden.

1.4.3. Zahnräder

Dies ist nun endlich die bekannteste Lösung: Zwei gleich große Zahnräder mit Zwischenrad (Bild 50). Die »Größe« der Zahnräder läßt sich durch den **Teilkreisdurchmesser** (s. Anhang, Seite 25) oder aber durch die Zähnezah ausdrücken.



Unter dem Übersetzungsverhältnis i versteht man die Anzahl der Umdrehungen, welche das treibende Rad ausführt, geteilt durch die Anzahl der Umdrehungen des getriebenen Rades; es läßt sich nach der Formel berechnen:

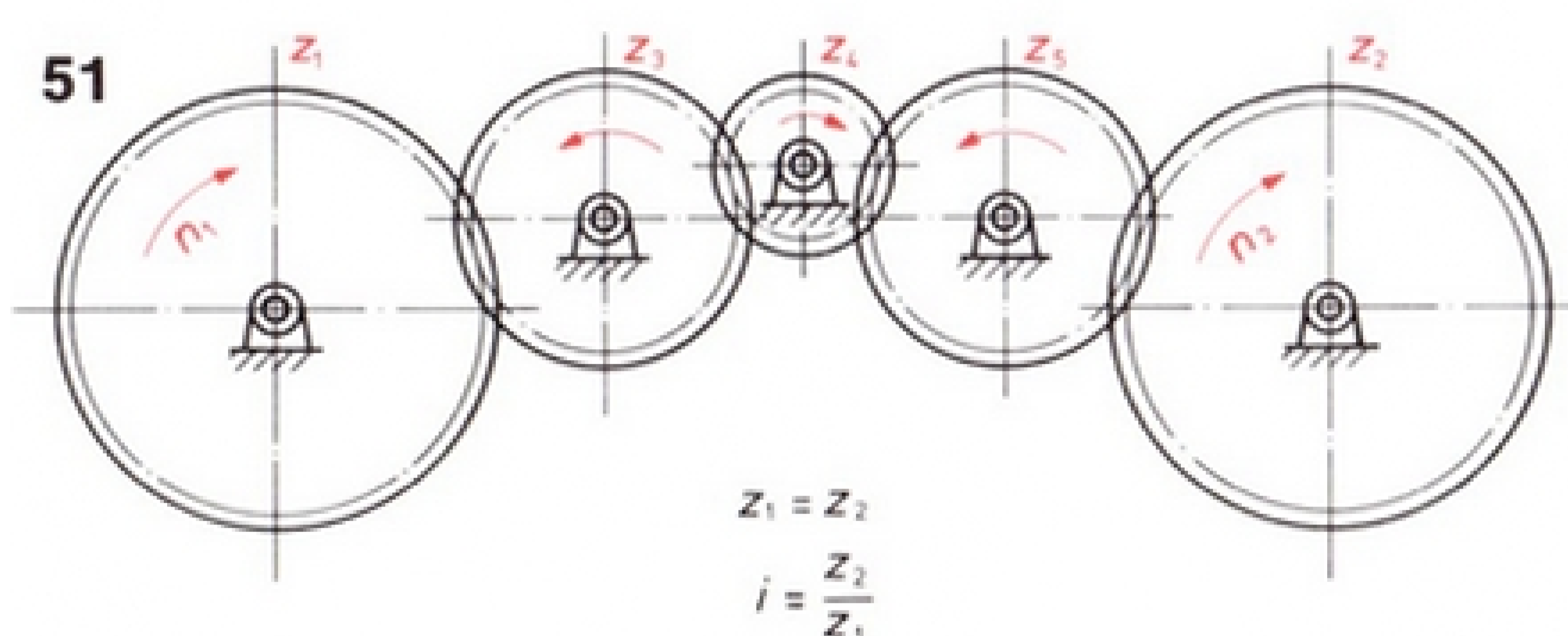
$$i = \frac{z_2}{z_1} .$$

Zahlenmäßig gibt das Übersetzungsverhältnis an, wievielmals sich das treibende Rad drehen muß, während das getriebene Rad gerade eine volle Umdrehung ausführt.

Da im vorliegenden Fall $z_1 = z_2$ ist, wird $i = 1$.

Die Drehbewegung beider Räder stimmt also überein. **Die Zähnezahzahl des Zwischenrades ist dabei ohne Bedeutung.** Es dient lediglich dazu, bei beiden Wellen den gleichen **Drehsinn**, d. h. die gleiche Drehrichtung, zu bewirken. Seine Zähnezahzahl kann beliebig gewählt werden.

Auch durch mehrere Zwischenräder ändert sich das Übersetzungsverhältnis nicht (s. Bild 51). Bei einer **ungeraden** Anzahl von Zwischenrädern (also 1, 3, 5 usw. Zwischenrädern) drehen sich die beiden gleich großen Räder 1 und 2 in derselben Drehrichtung. Das Modell hierzu läßt sich anhand von Bild 52 leicht nachbauen.

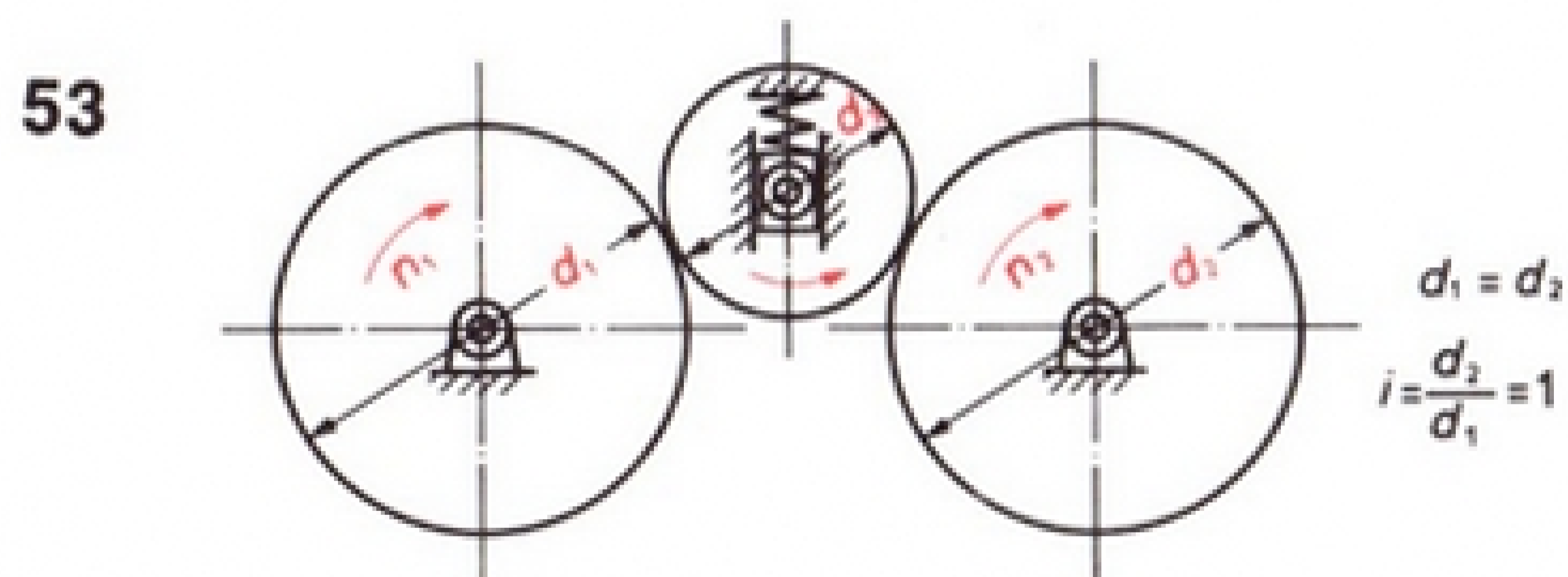


1.4.4. Reibräder

Anstelle der gleich großen Zahnräder lassen sich auch Reibräder mit gleich großen Durchmessern verwenden. Auch hier ist ein Zwischenrad erforderlich, wenn der Drehsinn ungeändert bleiben soll (Bild 53). Sein Durchmesser ist auch hier ohne Einfluß auf das Übersetzungsverhältnis. Dieses lautet formelmäßig mit d_1 und d_2 als Reibraddurchmessern:

$$i = \frac{d_2}{d_1}$$

Im vorliegenden Fall ist $d_1 = d_2$ und daher $i = 1$.

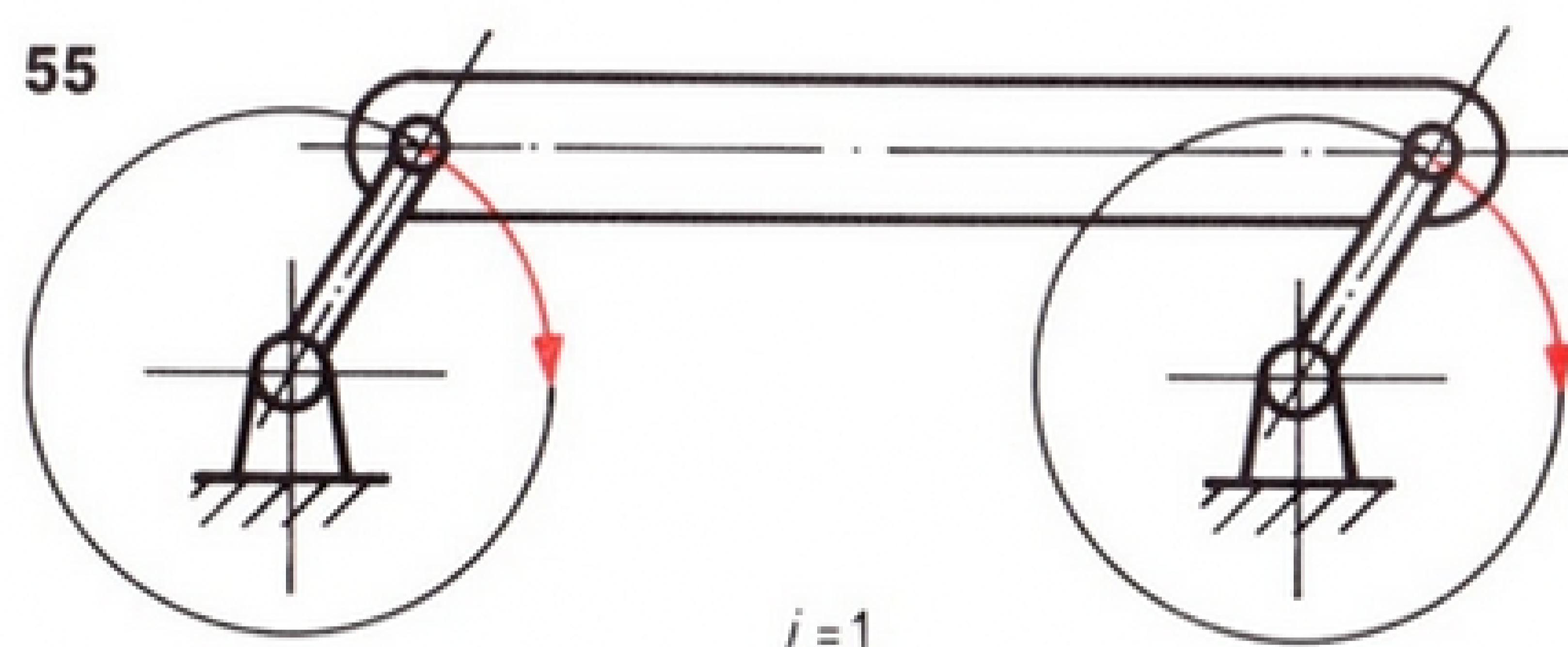


Die Drehbewegung beider Räder ist also auch hier gleich. Damit zwischen den Rädern eine Reibungskraft auftreten kann, muß, wie Bild 53 zeigt, das Zwischenrad gegen die Reibräder gepreßt werden. Zahnräder übertragen nämlich die Bewegung **formschlüssig**, d. h. durch das Ineinandergreifen der Zähne, Reibräder arbeiten hingegen

kraftschlüssig, also durch das Haften der Oberflächen aneinander infolge der Reibungskraft. Diese muß durch die Anpreßkraft erst hervorgehoben werden. Beim Modell nach Bild 54 ist das Rad 23 auf einem Federgelenkstein (z. B. aus mot 7) gelagert. Dieser wird so eingestellt, daß das Rad an beiden Reifen 60 gleichmäßig anliegt. Die Reifen müssen mit den zugehörigen Gummiringen versehen sein.

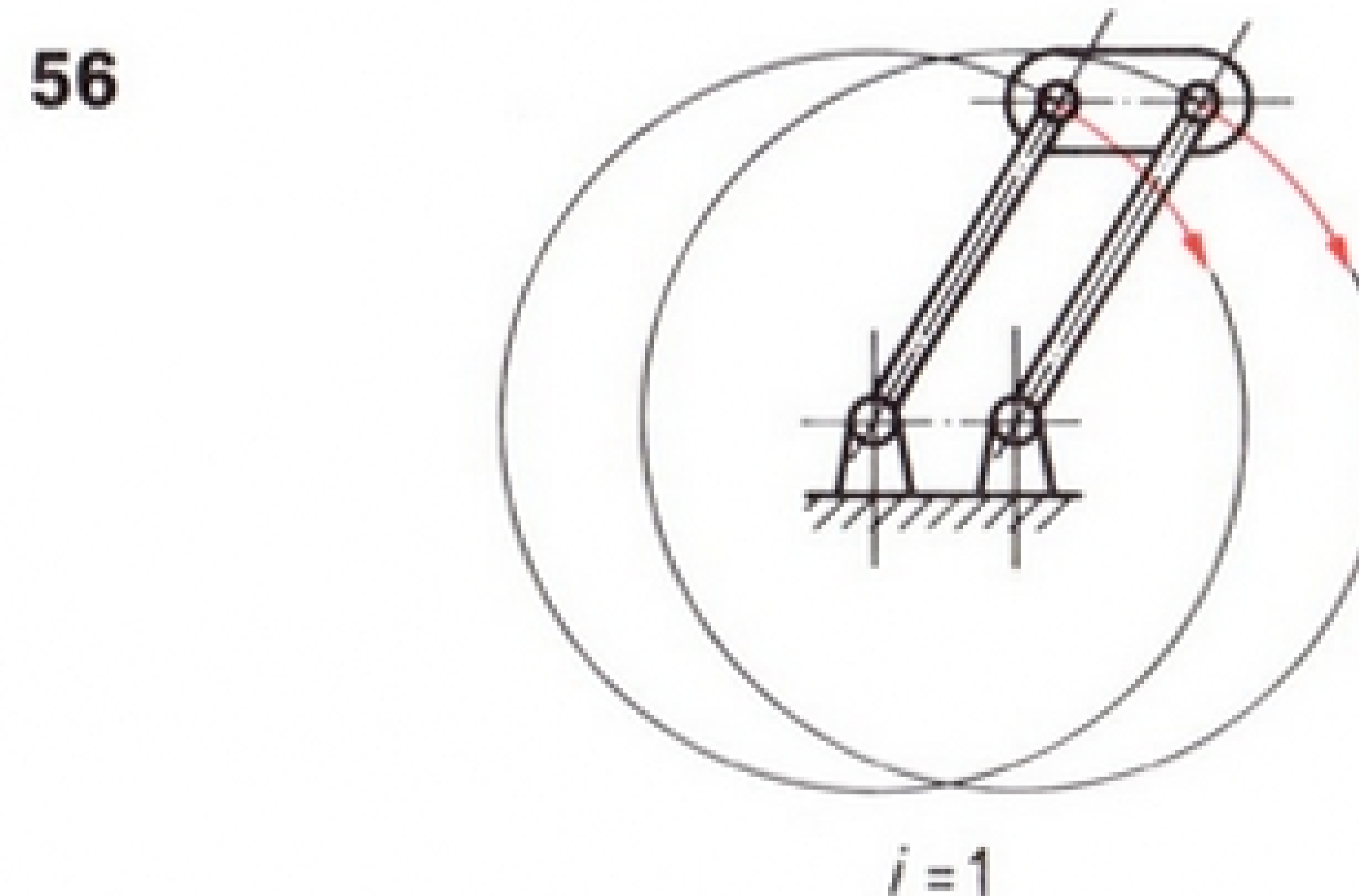
1.4.5. Parallelkurbelgetriebe

Auch auf eine ganz andere Weise kann eine Drehbewegung unverändert auf eine zweite, zur ersten parallele Welle übertragen werden. Diese, von der Dampflokomotive her bekannte Lösung zeigt Bild 55.



Zwei gleich lange **Kurbeln** sind durch die **Koppel** miteinander verbunden. Die Gelenke der Koppel haben die gleiche Entfernung voneinander, wie die Lager der Kurbeln. Daher bildet das Gestänge immer ein Viereck in Form eines Parallelogramms (je zwei gegenüberliegende Seiten sind gleich lang und zueinander parallel), woher auch der Name stammt. In [4] steht noch viel Wissenswertes über dieses Getriebe, aber auch eines der folgenden Hefte dieser Reihe wird sich noch mit diesem Thema zu beschäftigen haben.

Bei dem Getriebe nach Bild 55 sind die Kurbeln kürzer als die Koppel, bei der Bauart nach Bild 56



dagegen länger. Beide Bauarten haben die gleichen Eigenschaften, lediglich die Lagerung der Kurbeln bei der zweiten Ausführung ist komplizierter, weil die Koppel hier zwischen den Kurbeln laufen muß. Nun zu den Modellen:

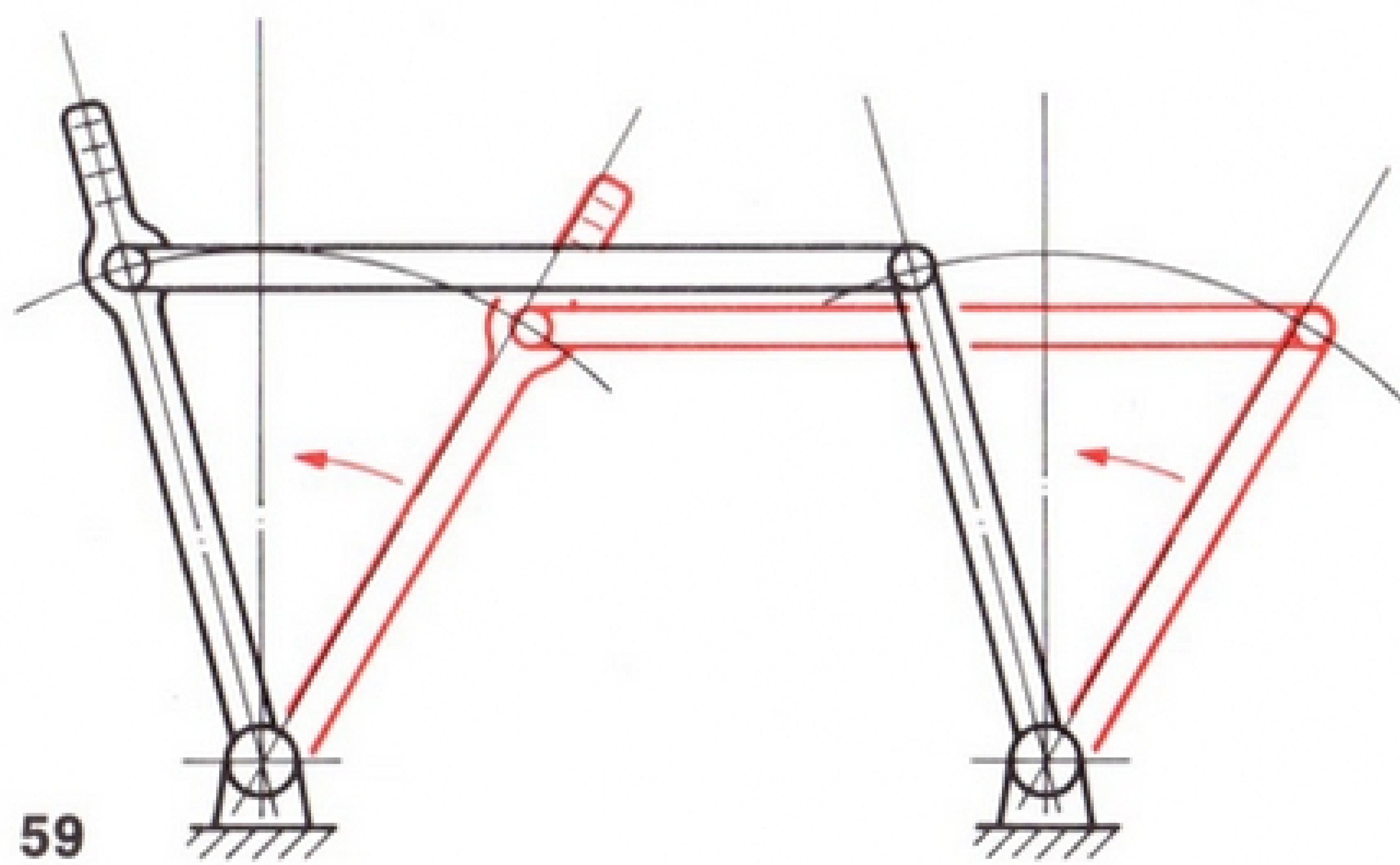
In Bild 57 ist die Verwendung von 2 Kurbeln 60 vorgesehen (zweite Kurbel aus der Zusatzpakung 033). Sie sind auf der Rückseite des Modells durch eine Strebe 60 mit Löchern verbunden und bilden dadurch ein **zweites Parallelkurbelgetriebe**, welches mit demjenigen auf der Vorderseite zusammenarbeitet.

Beim Bau des Modells ist besonders darauf zu achten, daß die rückseitigen Kurbeln nicht in die gleiche Richtung zeigen wie die Kurbelzapfen (Achsen 30) der Nockenscheiben auf der Vorderseite. Es empfiehlt sich, aufmerksam die Modellfotos zu betrachten.

Warum diese eigenartige Anordnung notwendig ist, zeigt sich sofort, wenn man die Strebe des rückseitigen Getriebes ausbaut und dann die Kurbel des übriggebliebenen Getriebes betätigt.

Das Modell nach Bild 58 besitzt an beiden Kurbeln Gegengewichte. Die Länge der Kurbeln wird durch Verschieben der Seiltrommeln in den Bausteinnuten so eingestellt, daß die Gegengewichte die Kurbeln **ohne** die angeschlossene Koppel gerade im Gleichgewicht halten. Die Kurbeln müssen genau gleich lang sein, und die Entfernung der Wellenlager muß genau gleich der Lagerentfernung auf der Koppel sein. Die fliegende Lagerung der Kurbeln ist wieder durch Bausteine 15 verbessert.

Wenn keine vollständige Drehung, sondern nur eine schwingende Bewegung weitergeleitet werden soll, so kann dies nach Bild 59 geschehen. Es

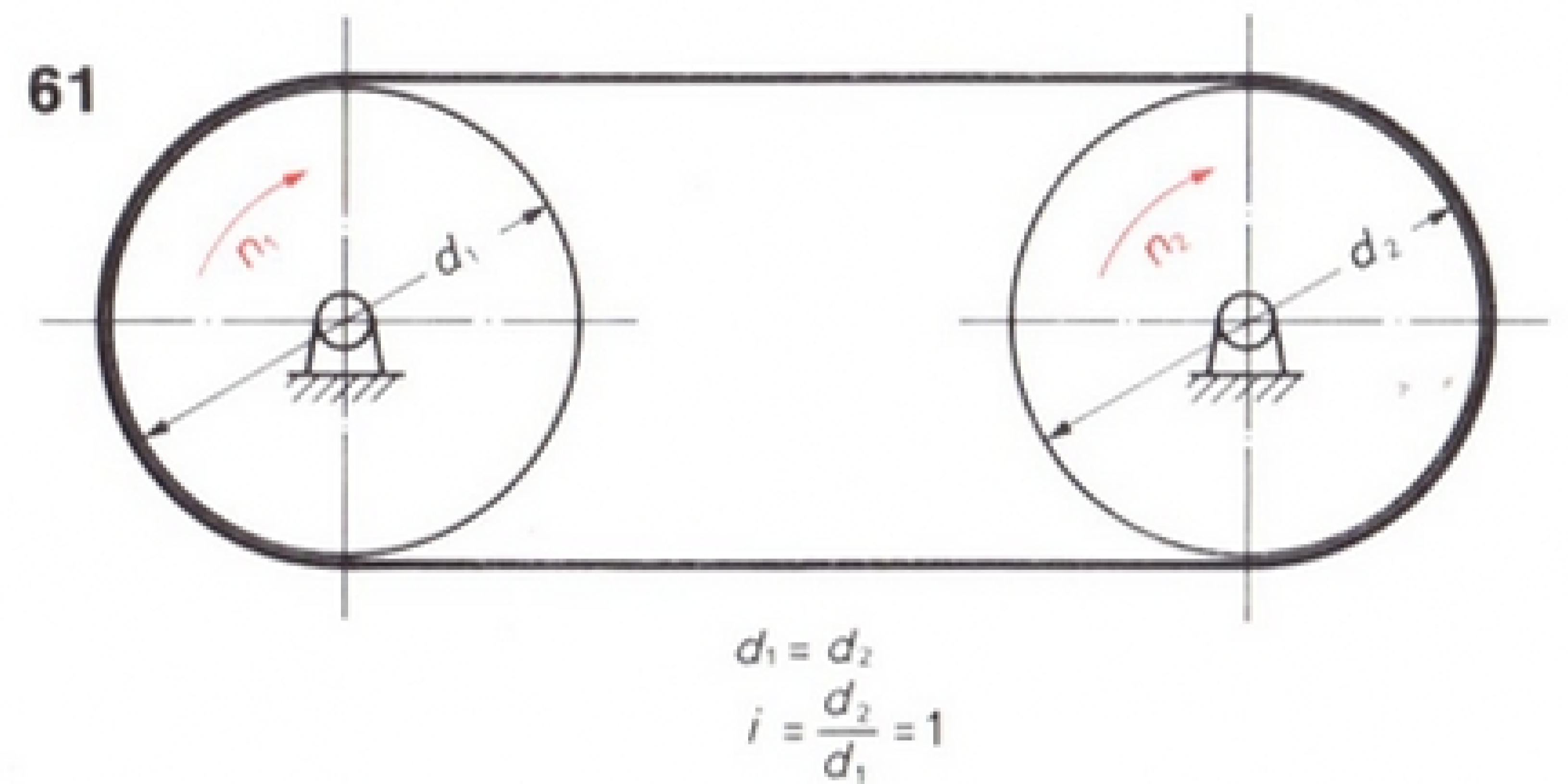


handelt sich dabei ebenfalls um ein Parallelkurbelgetriebe, nur eben für begrenzte Bewegungen. Solche Anordnungen sind sehr häufig, man findet sie bei aufmerksamer Beobachtung an vielen Maschinen und Geräten des täglichen Lebens, angefangen von der Zeichenmaschine des Konstrukteurs über die Briefwaage, den aufklappbaren Werkzeugkasten bis hin zum Scheibenwischergestänge usw. [4]

Das Modell nach Bild 60 benutzt eine Strebe 120 als Koppel. Zur Begrenzung des Ausschlages ist ein Kupplungsstück 2 angebracht.

1.4.6. Zugmittel

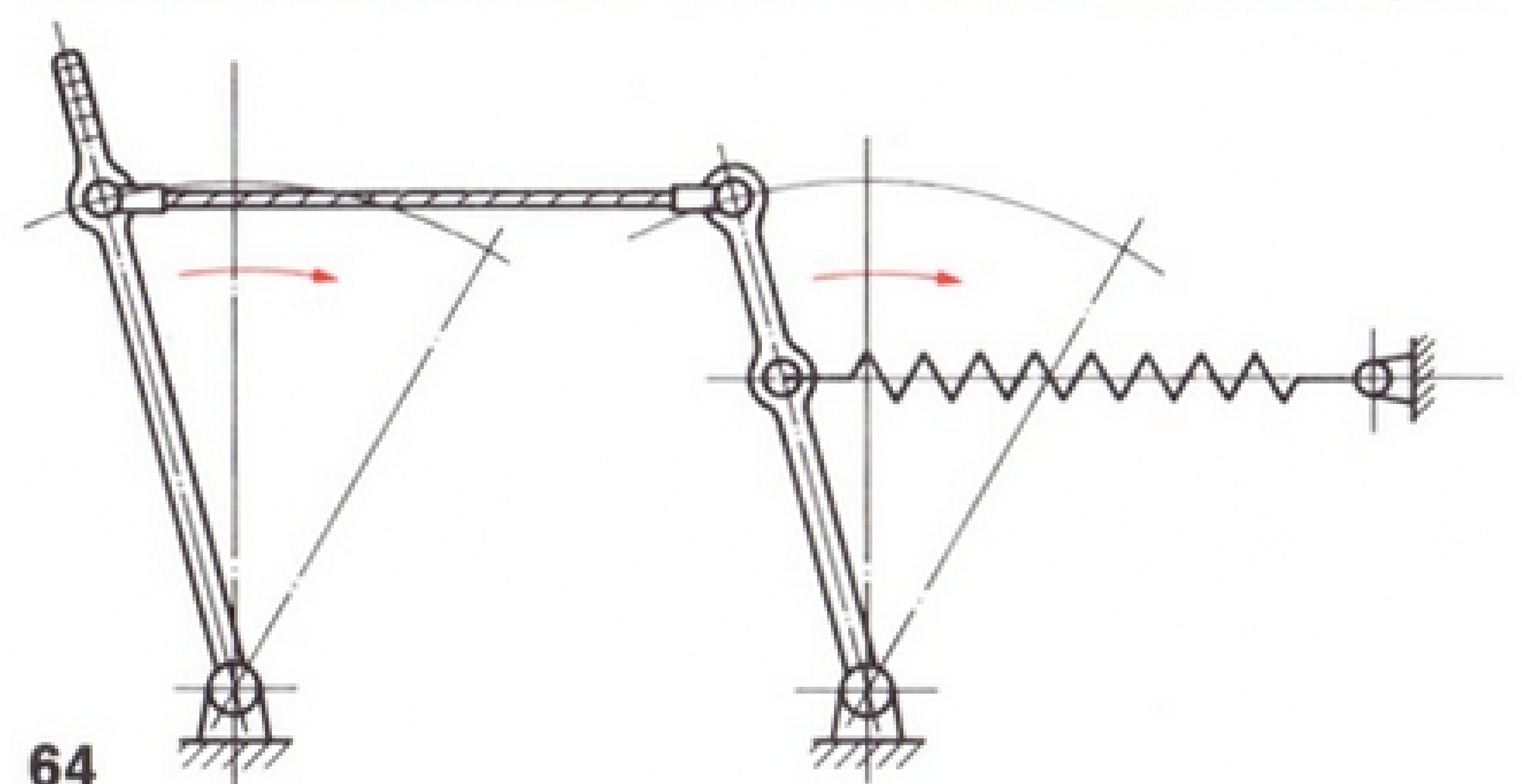
Verbindet man zwei Riemenscheiben oder zwei Kettenräder mit gleichem Durchmesser bzw. gleicher Zähnezah durch einen Riemen bzw. eine Kette miteinander, so wird die Drehbewegung der Antriebswelle in gleicher Drehrichtung auf die zweite, die Abtriebswelle weitergeleitet (Bild 61).



Der Riementrieb muß so konstruiert sein, daß entweder der Riemen elastisch ist und dadurch seine Spannung erhält, oder es muß eine besondere Spannvorrichtung (z. B. eine Spannrolle) vorgesehen werden, damit eine ausreichende Reibungskraft zwischen Riemen und Scheibe auftritt; trotzdem wird sich die getriebene Welle stets etwas langsamer drehen als die Antriebswelle. Sie bleibt hinter deren Drehung um so weiter zurück, je größer die vom Riemen übertragene Kraft ist. Das kommt daher, daß der Riemen auf den Riemenscheiben stets etwas gleitet. Man nennt diese Erscheinung **Schlupf**.

Der **Kettentrieb** ist schlupffrei und ergibt praktisch eine exakte Bewegungsübertragung. Trotzdem muß auch die Kette genügend gespannt sein, damit sie nicht von den Kettenrädern abspringen kann. Riemen- und Kettentriebe werden in einem späteren Heft ebenfalls noch ausführlicher behandelt werden. Das Modell nach Bild 62 benützt als Zugmittel eine Antriebsfeder, die wegen ihrer Elastizität eine Spannvorrichtung überflüssig macht. Beim Modell von Bild 63 kann die Kette durch Verschieben der beiden Lagerböcke gespannt werden.

Soll durch ein Zugmittel nur eine schwingende Bewegung übertragen werden, so muß dafür gesorgt sein, daß dieses nur Zugkräfte aufzunehmen hat. Hierzu kann eine Feder wie in Bild 64 die-



nen. Beim zugehörigen Modell (Bild 65) wirkt ein Gummiring als Rückzugsfeder. Die Bewegungsübertragung ist nur von dem mit dem Handgriff versehenen Hebel her möglich. Bei der Anbringung des Nylonseils ist auf gleiche wirksame Hebellängen zu achten, d. h. auch in der Strebe 90 muß das Seil im 5. Loch festgeknotet werden.

1.4.7. Strömungstriebwerke

Hier findet ein ganz andersartiges Prinzip zur Bewegungsübertragung Anwendung. Es zeigt sich wieder, wie zur Bewältigung eines technischen Problems eine umfangreiche technische Allgemeinbildung von Vorteil ist, um auch entlegene, aber vielleicht doch sehr vorteilhafte Lösungen zu finden.

Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen ist das Modell nach Bild 66. Man benötigt dazu die Zusatzpackungen minimot 10 und 027. Als Stromquelle eignet sich besonders das Netzgerät mot 4. Die Lagerung der nicht vom Motor selbst angetriebenen Luftschaube muß sehr sorgfältig auf leichtesten Lauf eingestellt werden. Vor dem Aufsetzen der Luftschaube ist das Ende der Achse mit etwas Klebeband zu umwickeln, damit die Nabe fest sitzt. Ihre Bohrung ist nämlich für den Achsendurchmesser etwas zu weit; dafür paßt sie aber genau auf die Antriebsschnecke des Minimotors. Man kann also die andere Luftschaube unmittelbar auf die Motorschnecke aufstecken.

Der Anschluß des Motors am Netzgerät muß so erfolgen, daß der von der Luftschaube erzeugte Luftstrom auf die zweite Schraube bläst. Ist dies nicht der Fall, muß die Drehrichtung umgekehrt werden.

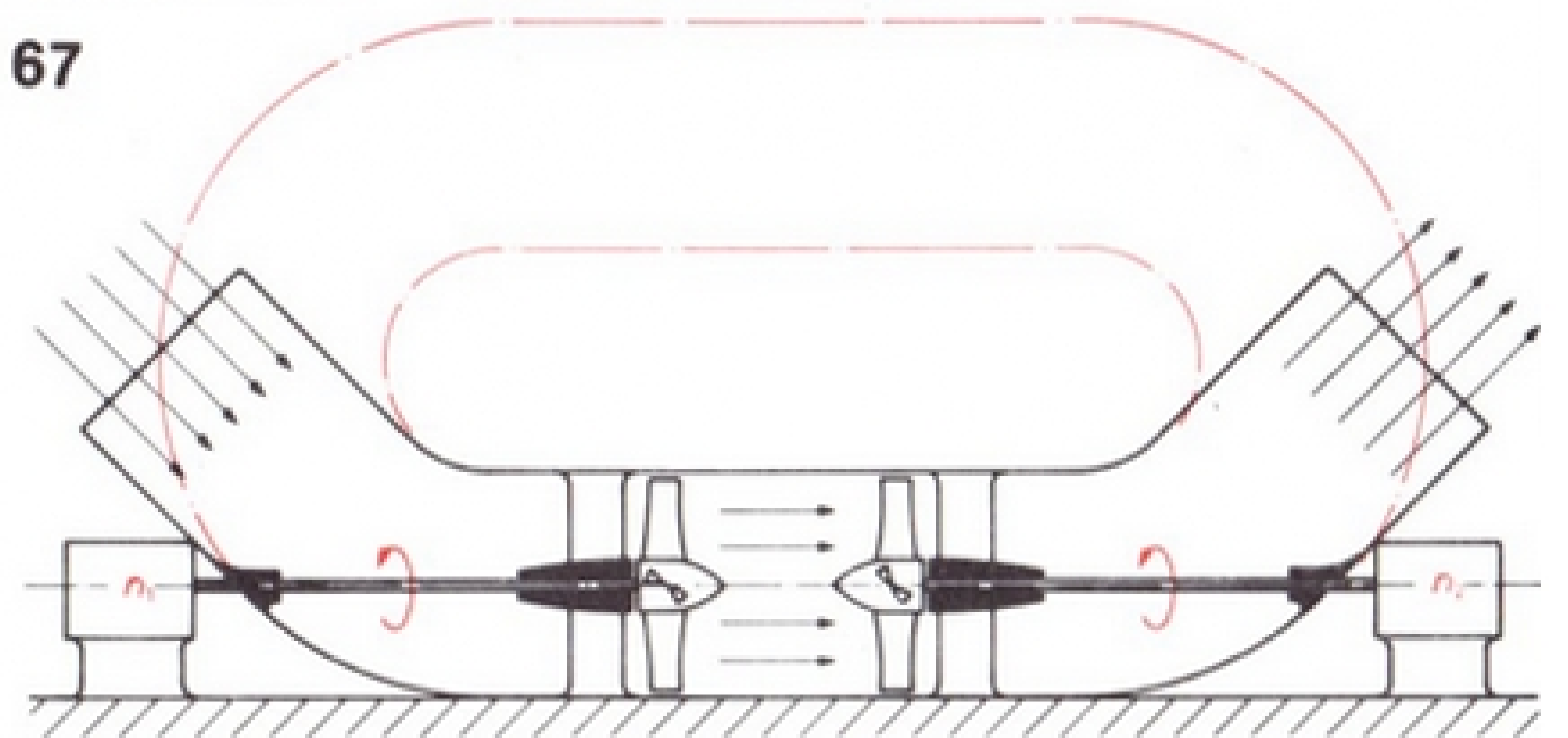
Steigert man die Motordrehzahl, so setzt sich die zweite Luftschaube allmählich in Drehung und wird immer schneller. Allerdings wird die Drehzahl der treibenden Luftschaube nie ganz erreicht werden. Zwischen Antriebs- und Abtriebswelle tritt also ein Schlupf auf, wie dies von kraftschlüssigen Getrieben (Reibräder, Riemtrieb) her bekannt ist. Im vorliegenden Fall dienen Luftkräfte zur Bewegungsübertragung.

Der Schlupf ist an sich unerwünscht, da er zu einem Verlust an übertragender Leistung führt. Andererseits wirkt diese Einrichtung aber als »Anfahrkupplung«, denn bei sehr niedrigen Motordrehzahlen dreht sich die zweite Luftschaube kaum; bei Drehzahlsteigerung des Motors wird sie allmählich und stoßfrei mitgenommen. Eine solche Anordnung würde sich also für das Automobil eignen, denn dadurch würde das Kupplungspedal überflüssig; vielmehr würde sich der Wagen durch einfaches Gasgeben in

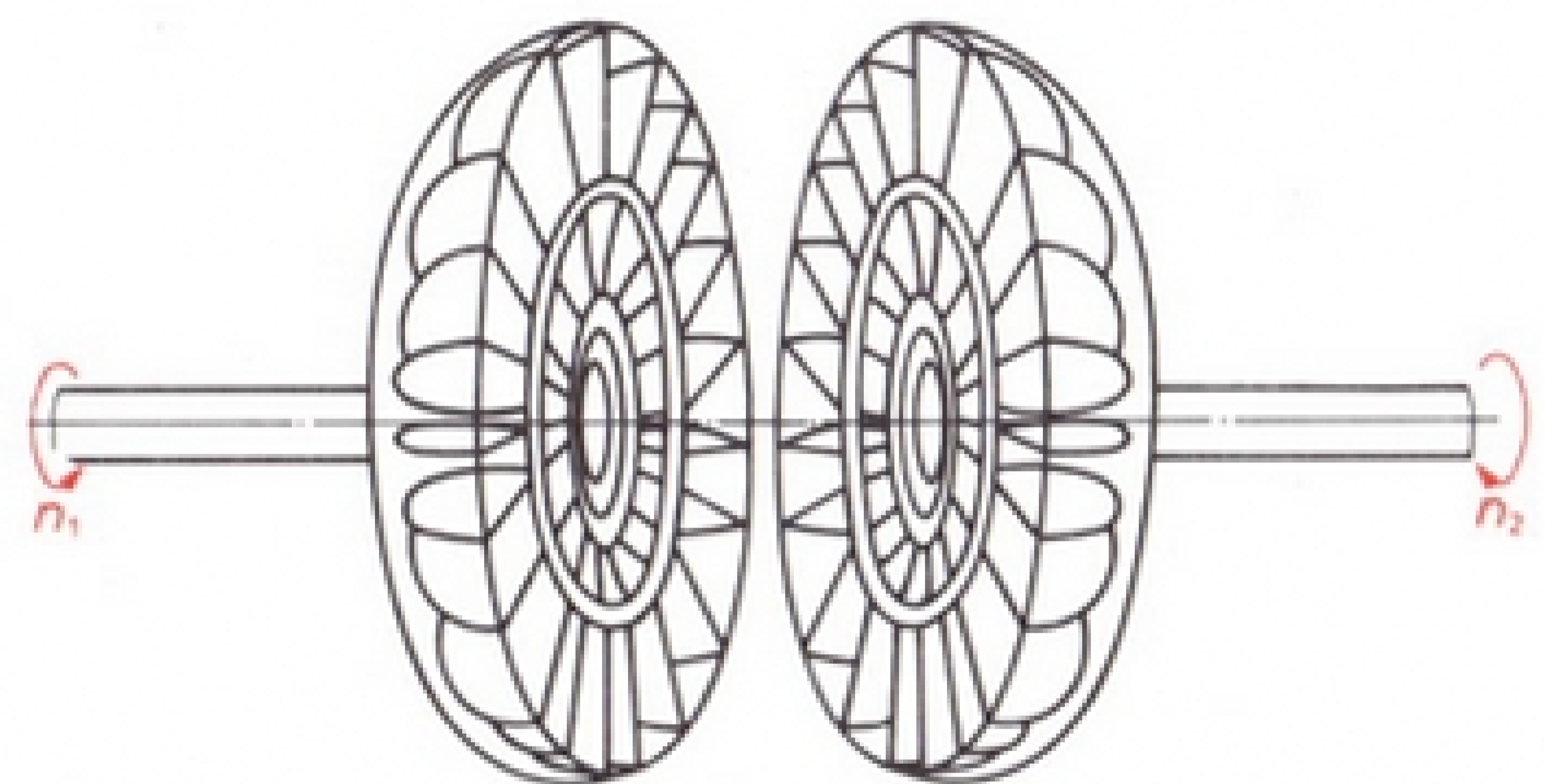
Bewegung setzen. Beim Gaswegnehmen würde der Motor automatisch abgekuppelt und könnte nicht »abgewürgt« werden, wenn man vergißt, bei haltendem Fahrzeug das Kupplungspedal zu treten. Tatsächlich werden ähnlich funktionierende Einrichtungen in automatischen Kraftfahrzeuggetrieben eingesetzt.

Beim geschilderten Modell ist der Schlupf besonders groß, u. a. weil ein Teil der strömenden Luft an der Luftschaube vorbeizieht. Besser wäre es schon, wie Bild 67 es zeigt, die beiden Luftschauben in ein eng umschließendes Rohr zu setzen. Dabei sind die langen Wellen zwischen Antriebsmotor und Luftschaube und zweiter Luftschaube und Verbraucher unangenehm. Man kann jedoch, wie in Bild 67 strichpunktiert eingezeichnet, jetzt auch einen geschlossenen Kreislauf der Luft ausführen, oder sogar **anstelle von Luft Wasser oder Öl** als strömendes Medium verwenden. Dies würde eine Steigerung der übertragenen Leistung ermöglichen, denn ein solches Getriebe wirkt um so besser, je dichter das strömende Medium ist.

67



68



In der praktischen Ausführung stehen sich anstelle der zwei Luftschauben zwei Schaufelräder gegenüber (Bild 68). Sie sind von einem flüssigkeitsdichten Gehäuse umschlossen, das mit Wasser oder Öl gefüllt ist. In dieser Form wird das Getriebe als Anfahrkupplung für schwer anlaufende Maschinen verwendet (**Strömungskupplung**, oder – nach ihrem Erfinder – **Föttinger-Kupplung**). Für Kraftfahrzeuge verwendet man eine ähnliche, ölgefüllte Bauform, die aber noch ein drittes Schaufelrad besitzt und dadurch die Zugkraft des Motors erhöhen kann (»Föttinger«-Wandler) [8] und [9].

Am Modell läßt sich übrigens beobachten, daß sich beide Wellen in der gleichen Richtung dre-

hen. Dies ist dann der Fall, wenn zwei gleiche Luftschrauben verwendet werden.

1.4.8. Hydrostatische Antriebe

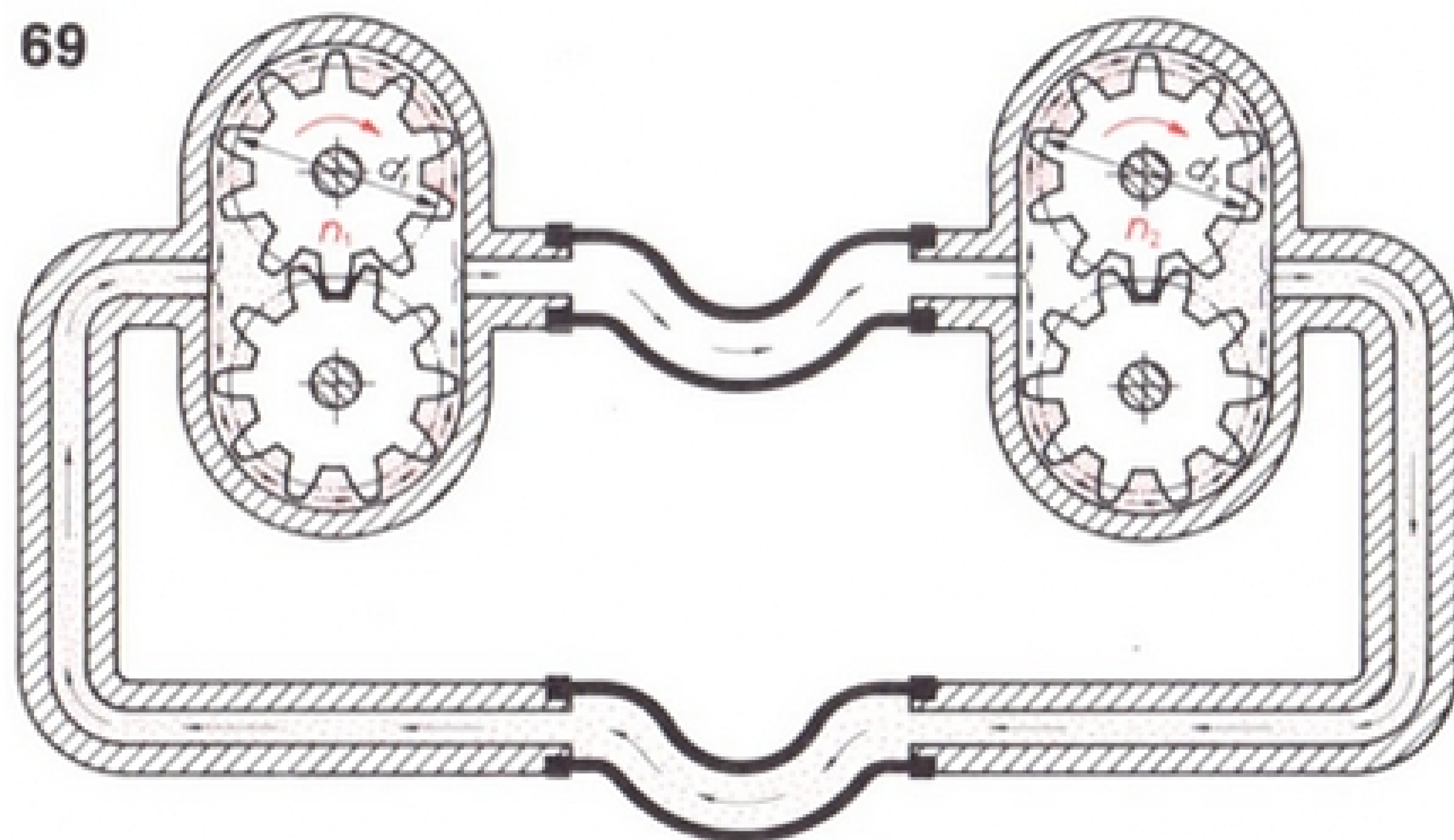
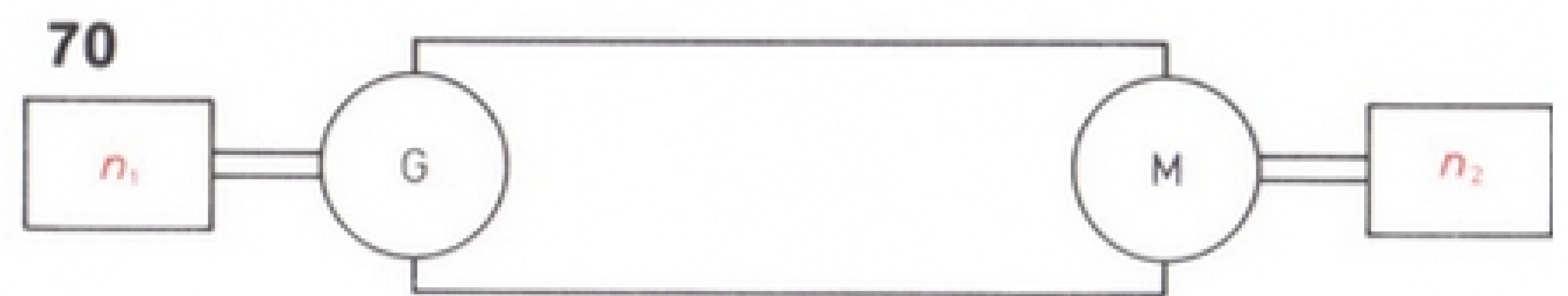


Bild 69 zeigt zwei Zahnradpumpen. Sie bestehen jeweils aus zwei gleichen Zahnrädern, welche eng von einem Gehäuse umschlossen sind. Dort wo ein Zahn einen solchen des Gegenrades berührt, findet eine Abdichtung statt. Zwischen den Rädern kann also keine Flüssigkeit hindurchdringen. Tritt nun ein Zahn in die Lücke des Gegenrades ein, so verdrängt er die darin befindliche Flüssigkeit und preßt sie in die Druckleitung. Die übrigen Zahnluken nehmen die Flüssigkeit mit sich und befördern sie außen am Gehäuse entlang vom Saug- zum Druckraum. Eine solche Einrichtung wirkt also als Pumpe, wenn man eines ihrer Räder antreibt. Sie kann sehr hohe Drücke erzeugen. Man nennt diese Zahnradpumpe im folgenden Zusammenhang **Hydropumpe**. Führt man nun einer völlig gleichartig aufgebauten Einrichtung Flüssigkeit unter Druck zu, so übt diese auf die Zähne der beiden Räder eine Kraft aus, während sie an der Gehäusewand entlangfließt. Dadurch drehen sich die Zahnräder. Man hat also einen durch Druckflüssigkeit betriebenen Motor (**Hydromotor**) vor sich. Verbindet man Hydropumpe und Hydromotor durch eine Druckleitung (Hochdruckschlauch), so kann man die Drehbewegung auch auf größere Entfernungen weiterleiten. Aus dem Hydromotor führt eine Saugleitung wieder zur Pumpe zurück, so daß sich ein geschlossener Kreislauf einstellt. Da Undichtigkeiten an Pumpe und Motor nicht ganz zu vermeiden sind, tritt bei der Bewegungsübertragung auch hier normalerweise ein gewisser Schlupf auf. Die hier besprochene Anordnung heißt **Hydrostatischer Antrieb**. Man beachte die in Bild 69 eingezeichneten Drehrichtungen von Hydropumpe und Hydromotor.

Statt der hier als Beispiel gewählten Zahnradpumpen und -motoren gibt es noch zahlreiche andere Bauarten von Hydropumpen bzw. -motoren.

1.4.9. Elektrische Übertragung

Auch für die Übertragung von Drehbewegungen bietet sich ein elektrischer Weg an. Hierbei treibt gemäß Bild 70 der Antriebsmotor, dessen Dre-



hung übertragen werden soll, einen elektrischen Generator an. Dieser liefert den Strom für einen Elektromotor, welcher dann den Verbraucher, also eine Maschine oder ein Fahrzeug, antreibt. Diese Art der Bewegungsübertragung ist deswegen vorteilhaft, weil zwischen Antriebsmotor und Verbraucher nur elektrische Kabel, also keine Gelenkwellen oder Schläuche notwendig sind. Verlangt man allerdings eine genaue Übereinstimmung der beiden Drehbewegungen, so sind aufwendigere Regeleinrichtungen erforderlich.

Wer drei fischertechnik-Motoren zur Verfügung hat, kann das interessante Funktionsmodell von Bild 71 bauen. Außerdem wird noch die Kupplungshülse aus em 2 benötigt. Der erste Motor wird aus dem Netzgerät mot 4 gespeist. Er treibt über die Kupplungshülse den zweiten Motor als **Generator** (Stromerzeuger) an. Die Kupplungshülse wird einfach auf die Antriebsschnecken der Motoren aufgesteckt. Ihr Querschlitz muß aber frei bleiben, damit die Kupplung ihre Funktion als elastische Wellenverbindung ausüben kann. Durch entsprechendes axiales Verschieben der Motoren läßt sich dies leicht erreichen.

Der Generator liefert nun den Betriebsstrom für den dritten Motor, welcher sich demzufolge, wenn auch langsamer als die beiden andern, drehen wird. Durch richtige Polung der Verbindungsleitungen zwischen Generator und Motor läßt sich bei beiden Maschinen gleiche Drehrichtung erzielen.

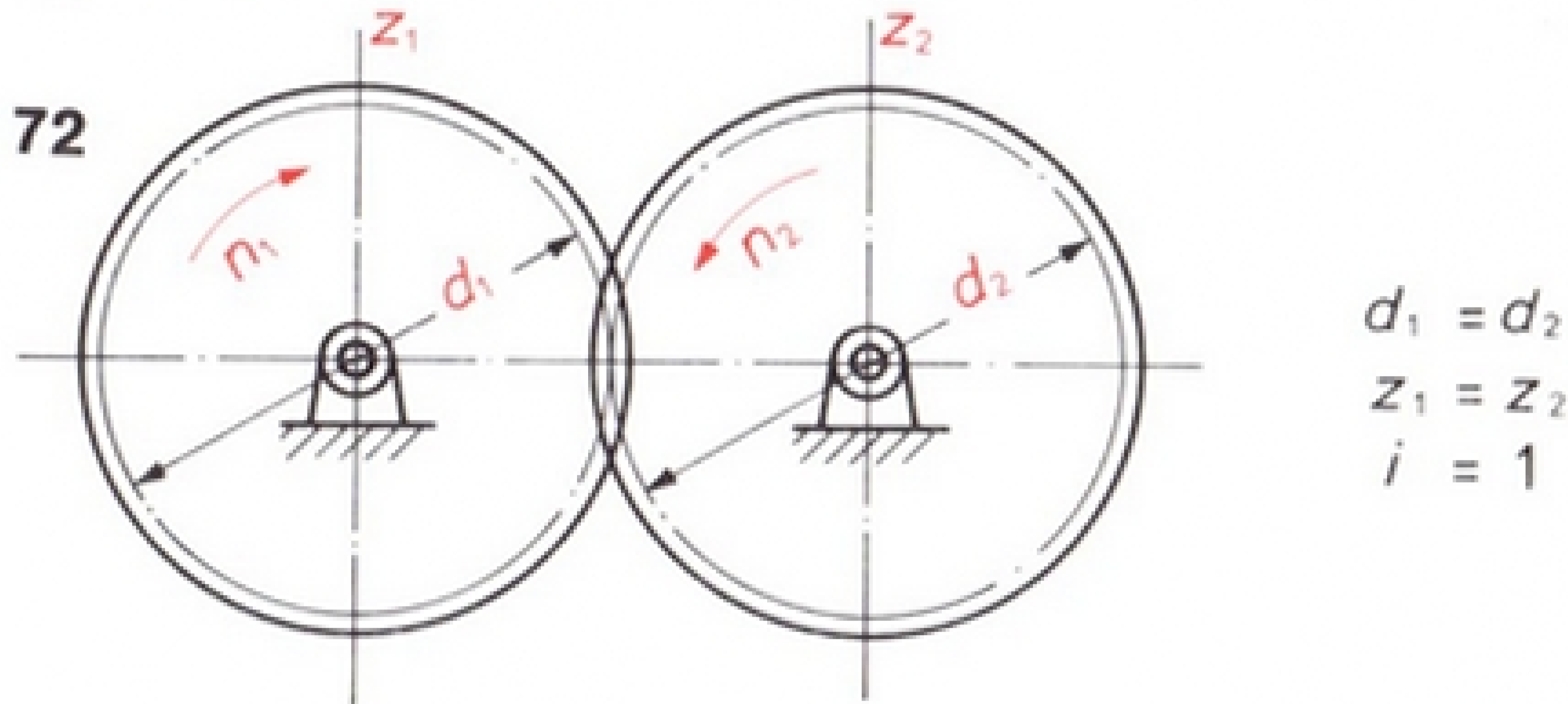
Dieser Versuch zeigt, daß elektrische Generatoren und Motoren im Prinzip völlig baugleich sein können, so daß man die gleiche elektrische Maschine wahlweise für den einen oder den anderen Zweck einsetzen kann. In zahlreichen praktischen Anwendungen laufen Motoren zeitweise als Generatoren und umgekehrt. Wird allerdings eine elektrische Maschine ausschließlich für einen bestimmten Einsatz, entweder nur als Generator oder nur als Motor bestimmt, so kann man sie durch besondere Konstruktion diesem Einsatz noch besser anpassen.

Nachteilig bei dieser Art der Bewegungsübertragung sind die verhältnismäßig großen Verluste, bedingt durch die mehrfache Umwandlung der Energie.

1.5. Drehrichtungsumkehr

Sehr häufig soll die Drehrichtung der getriebenen Welle derjenigen der Antriebswelle entgegengesetzt sein. Manchmal spielt aber auch die Drehrichtung der Abtriebswelle für den gedachten Zweck keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Dann lassen sich die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Lösungen in abgewandelter, meist vereinfachter Form auch hier anwenden.

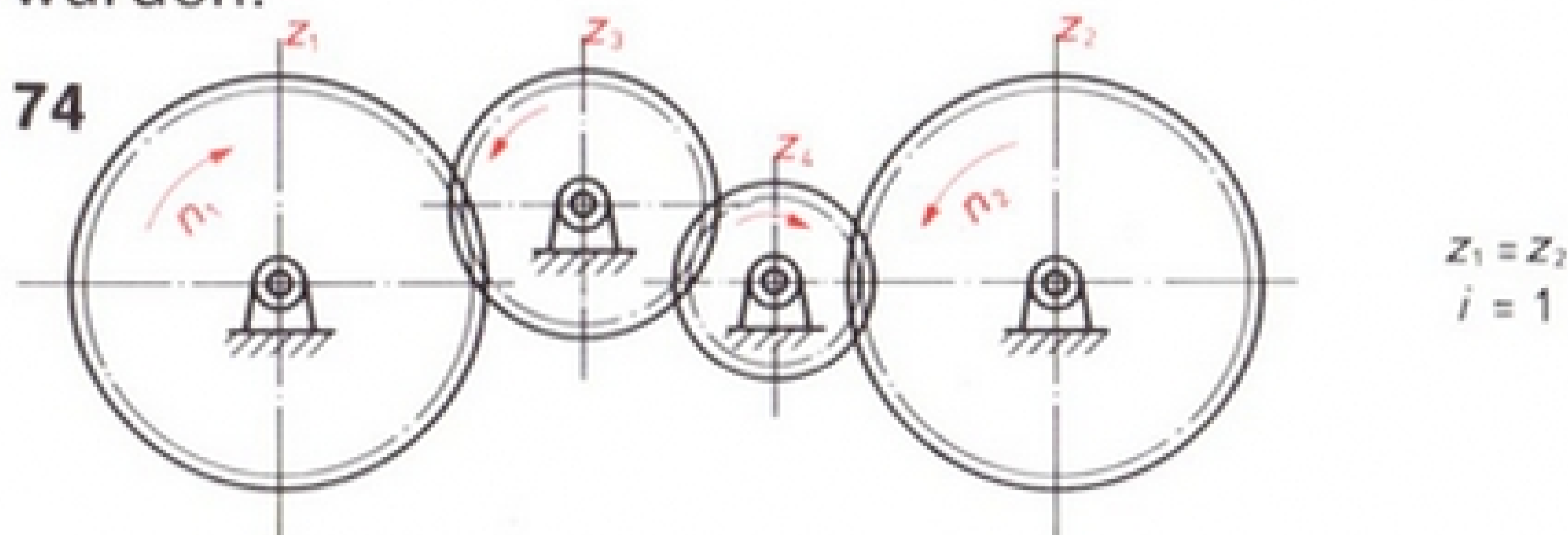
1.5.1. Stirnzahnräder



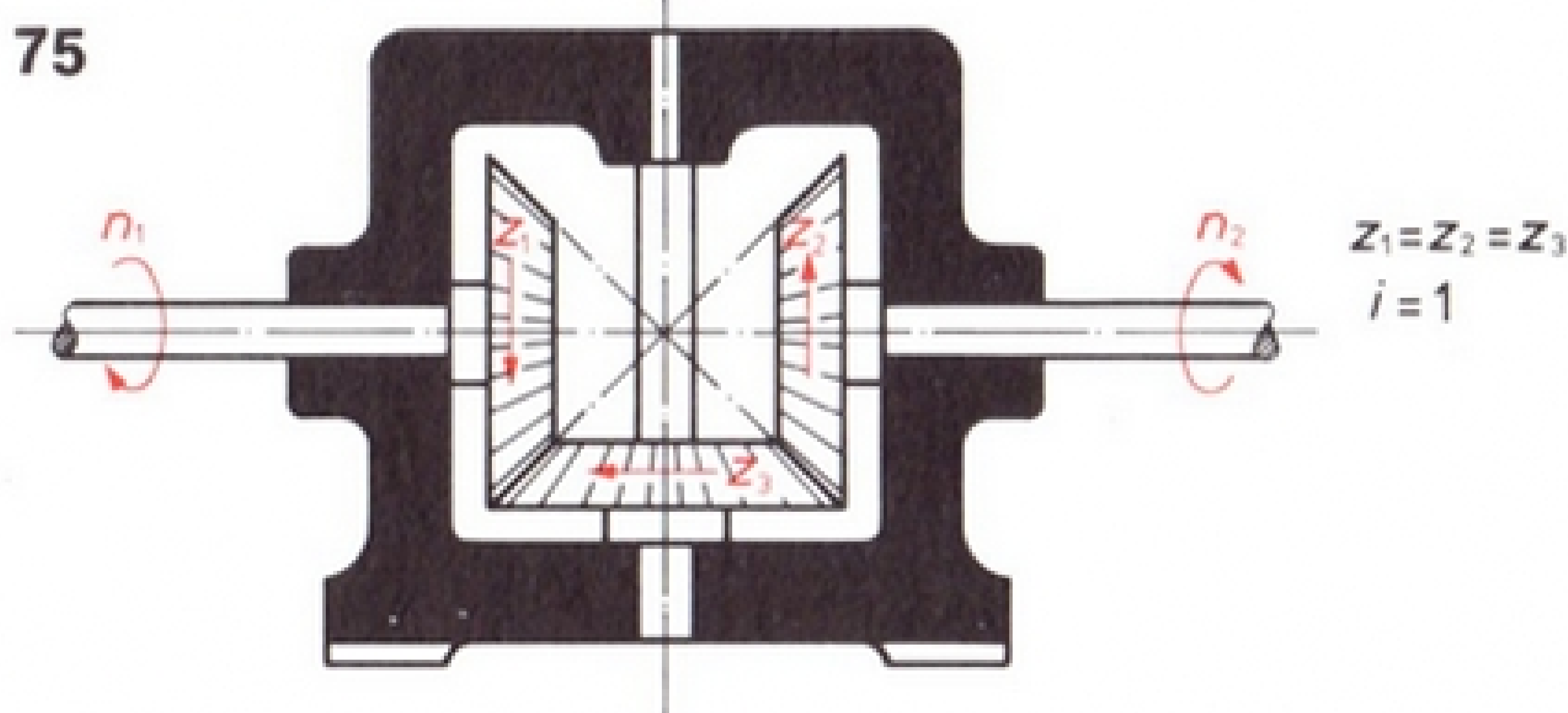
Zwei nach Bild 72 unmittelbar, d. h. ohne Zwischenrad in Eingriff stehende, gleiche Zahnräder ergeben eine Umkehrung der Drehrichtung. Das Übersetzungsverhältnis ist

$$i = -1$$

Das Minuszeichen soll die Drehrichtungsumkehr andeuten. Das einfach zu bauende Funktionsmodell zeigt Bild 73. Das gleiche Ziel kann man auch mit einer geraden Anzahl von Zwischenrädern (also mit 2, 4, 6 usw. Zwischenrädern) erreichen (Bild 74). Diese Lösung wird man dann wählen, wenn der Achsabstand so groß ist, daß sich für zwei Zahnräder sehr große Durchmesser ergeben würden.



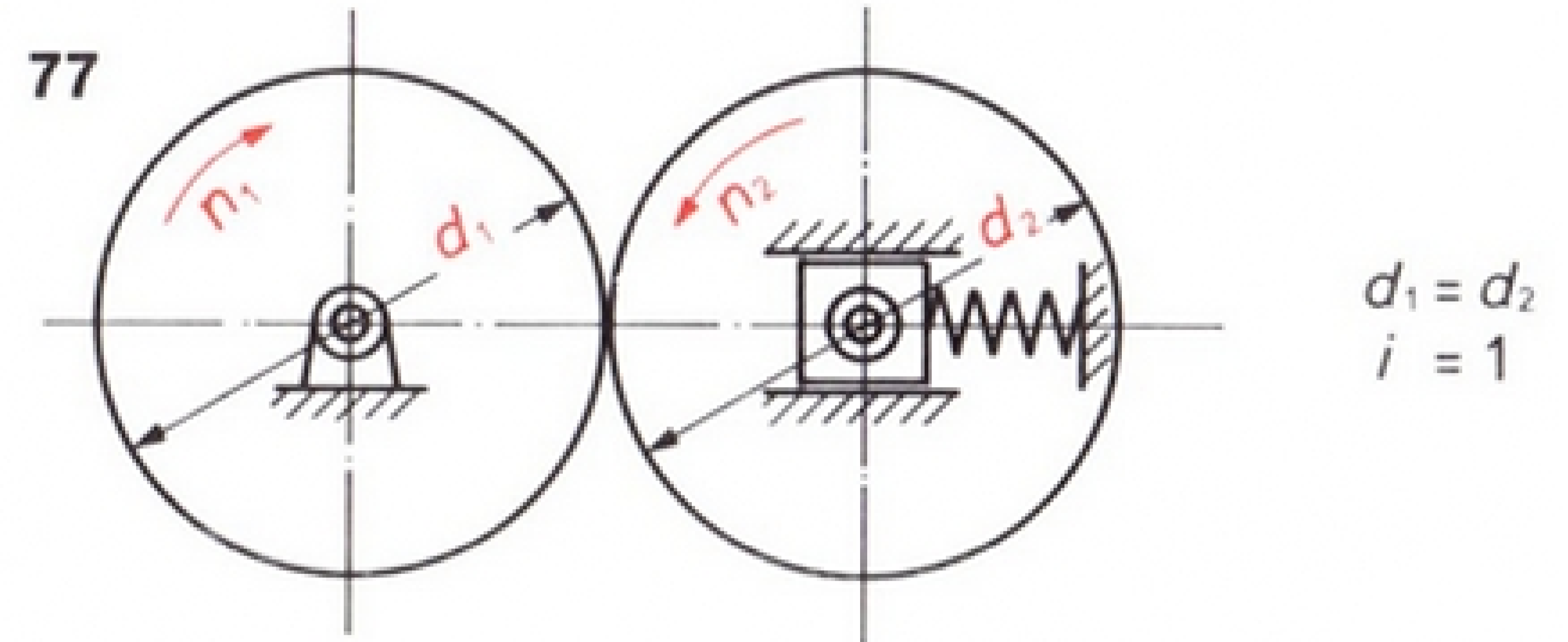
1.5.2. Kegelhahnräder



Statt der oben beschriebenen Stirnzahnräder lassen sich auch Kegelhahnräder, kurz **Kegelräder** genannt, verwenden, wie Bild 75 zeigt. Zu einer

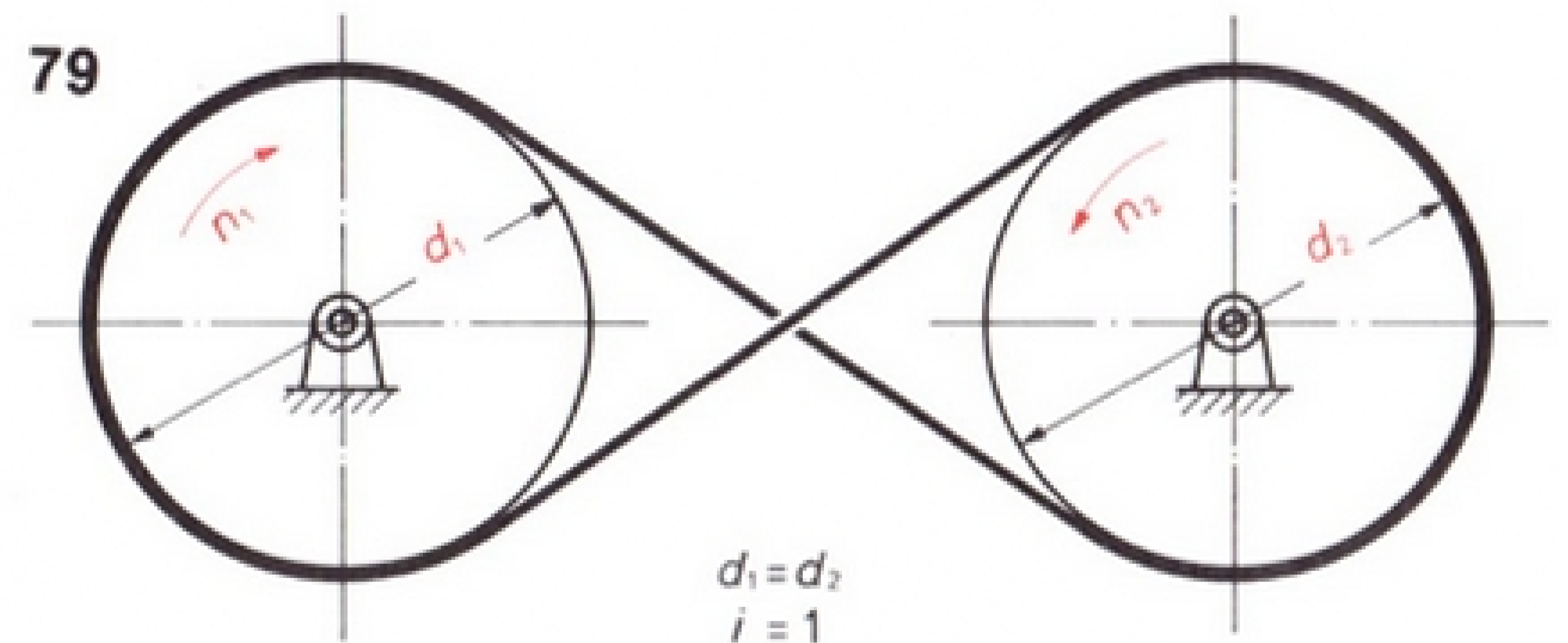
solchen Lösung greift man dann, wenn die beiden Wellen nicht parallel nebeneinander, sondern **in einer Flucht** liegen. Das Funktionsmodell nach Bild 76 muß sorgfältig gebaut werden, damit die Kegelhahradverzahnungen einwandfrei ineinandergreifen. Das notwendige 3. Kegelhahrad stammt z. B. aus der Zusatzpackung mot 11.

1.5.3. Reibräder

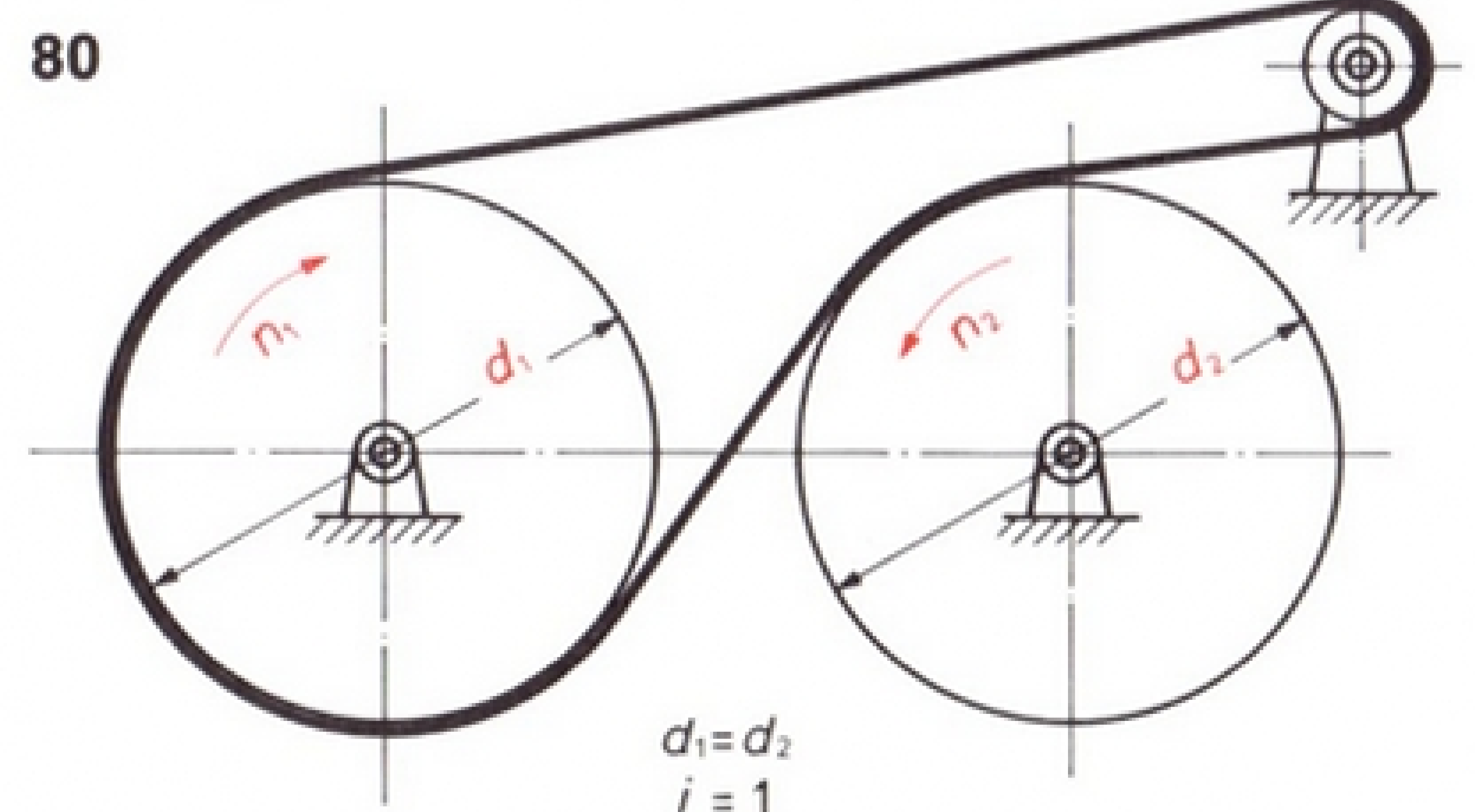


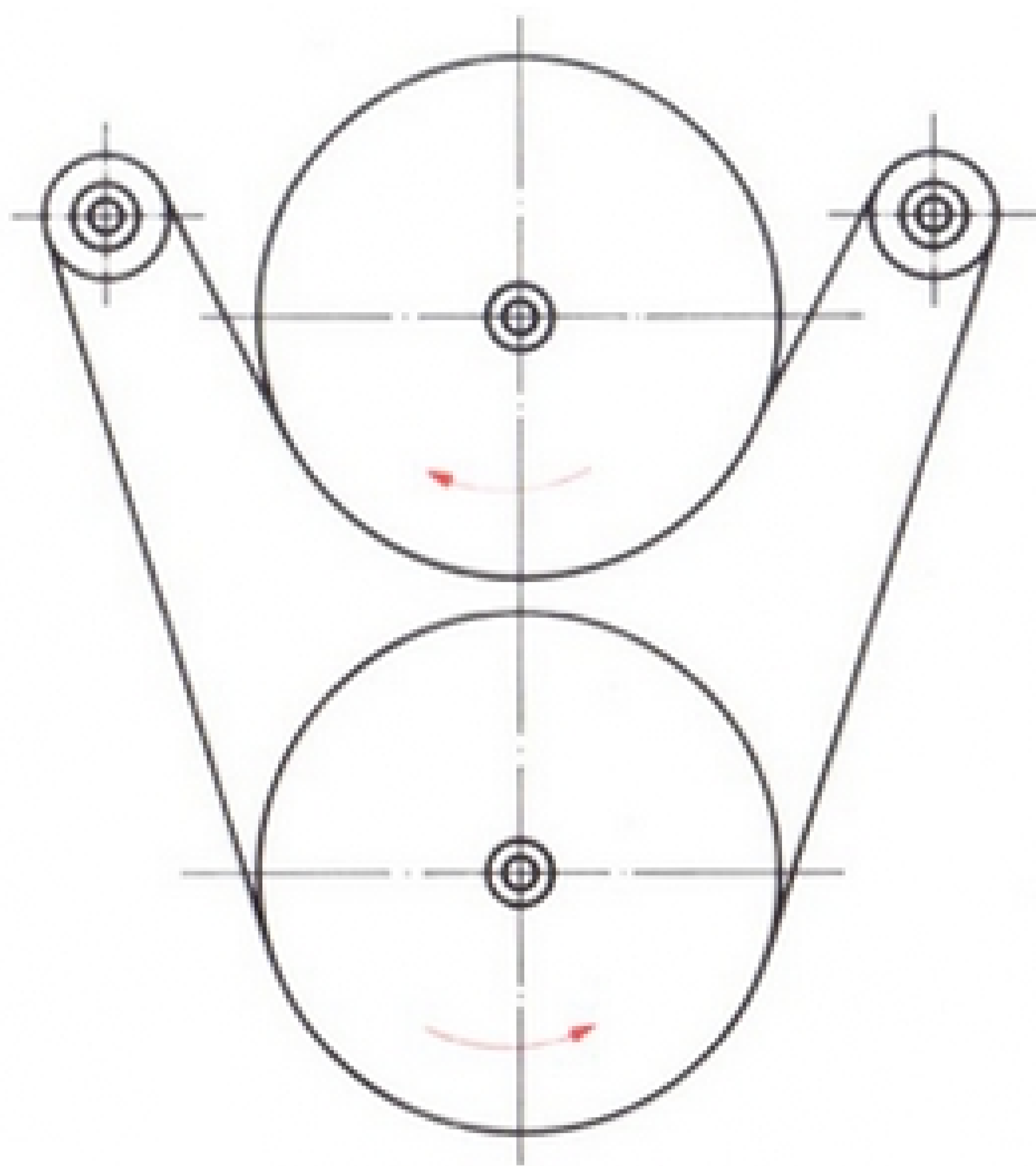
Zwei gleich große Reibräder ohne Zwischenrad ergeben eine ähnliche Lösung wie zwei gleiche Stirnzahnräder. Wegen der kraftschlüssigen Bewegungsübertragung muß hier aber ein Rad an das andere angepreßt werden, s. Bild 77. Beim zugehörigen Funktionsmodell (Bild 78) ist die Lagerung des oberen Rades auf einem Zwischenstück $5 \times 15 \times 30$ längs zweier Achsen 60 schlitzenartig verschieblich und durch einen Gummiring gefedert.

1.5.4. Zugmittel



Durch geeignete Führung eines Zugmittels (Riemen oder Kette) läßt sich ebenfalls eine Drehrichtungsumkehr bewirken. Bild 79 bietet als einfachste Lösung den **gekreuzten Riementrieb** an, die Bilder 80 und 81 stellen Beispiele für Riemenführungen mit Drehrichtungsumkehr vor. Im

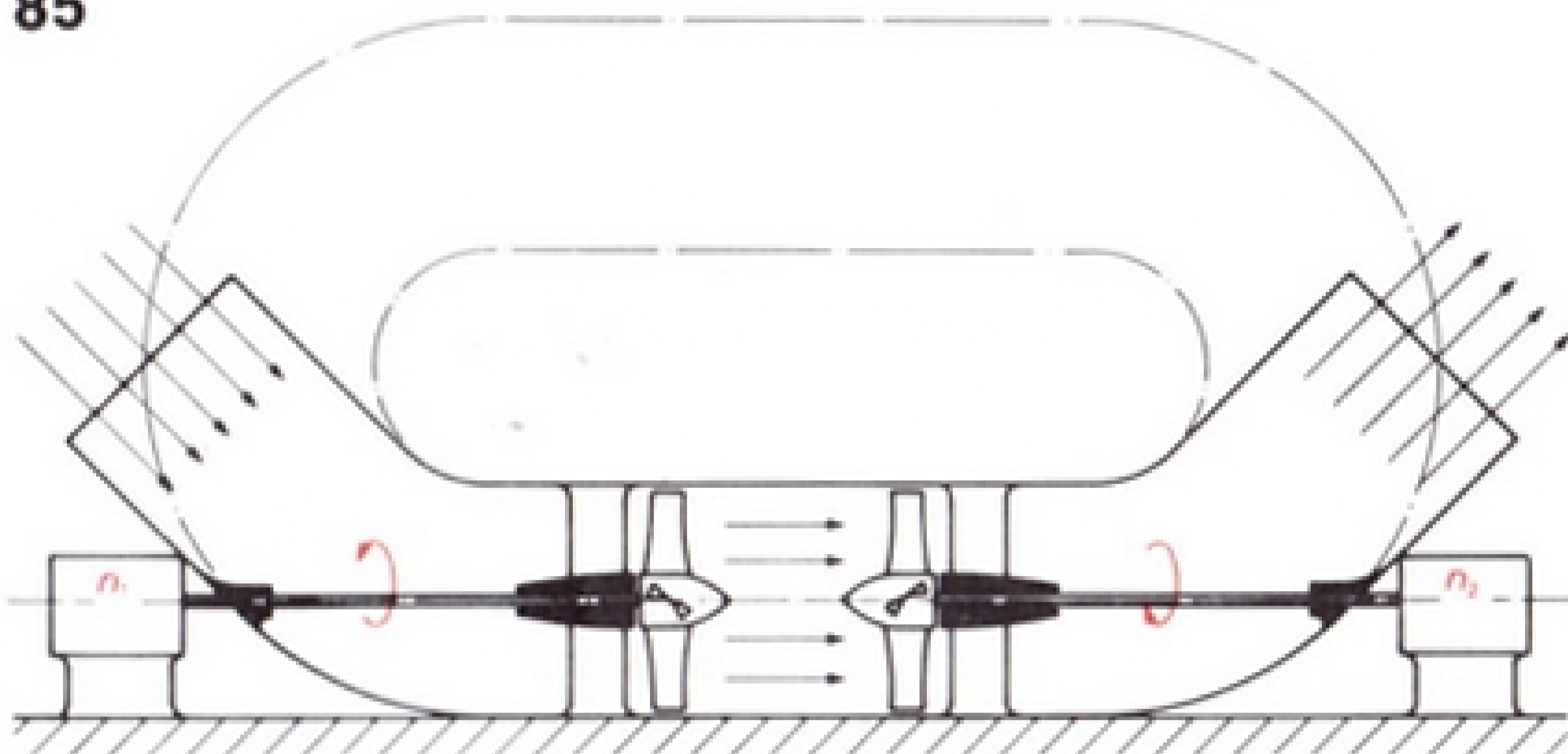




Gegensatz zum gekreuzten Riementrieb sind sie auch für Ketten brauchbar. Im übrigen gilt alles bisher über Zugmittel Gesagte auch hier. Die Funktionsmodelle der Bilder 82, 83 und 84 bieten keine Schwierigkeiten. Es ist aber vielleicht doch darauf hinzuweisen, daß im Bild 84 **die beiden Reifen** die gegensinnigen Drehbewegungen aufweisen sollen.

1.5.5. Strömungsgetriebe

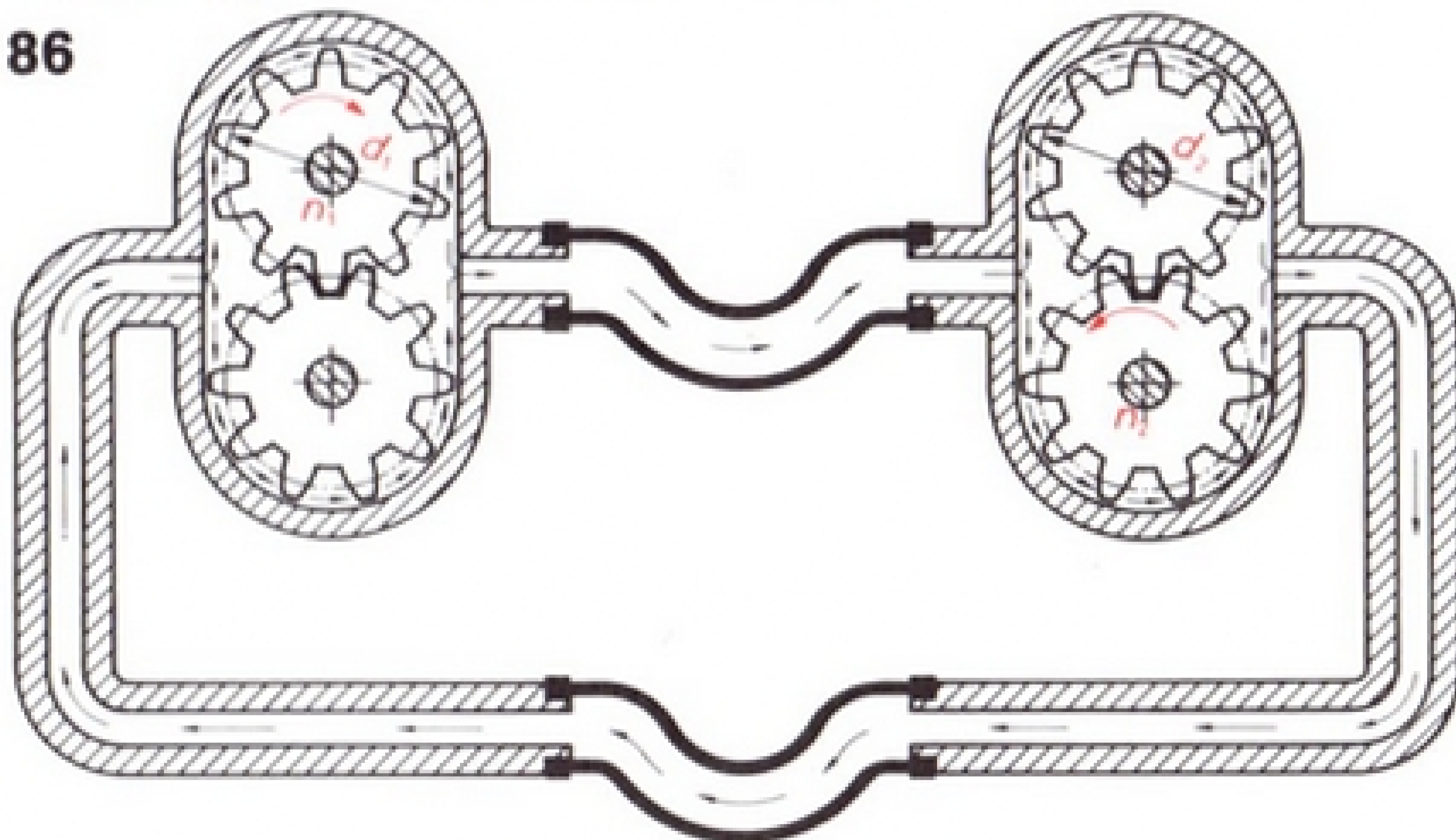
85



Verwendet man statt zweier gleicher Luftschrauben solche mit entgegengesetzt verwundenen Blättern, also entgegengesetzter Blattsteigung, so ergibt sich in einfachster Weise eine Drehrichtungsumkehr (Bild 85).

1.5.6. Hydrostatische Antriebe

86



Einfach dadurch, daß die Drehbewegung am unteren Zahnrad des Hydromotors abgenommen wird, läßt sich bei dieser Anordnung Drehrichtungsumkehr erzielen (Bild 86).

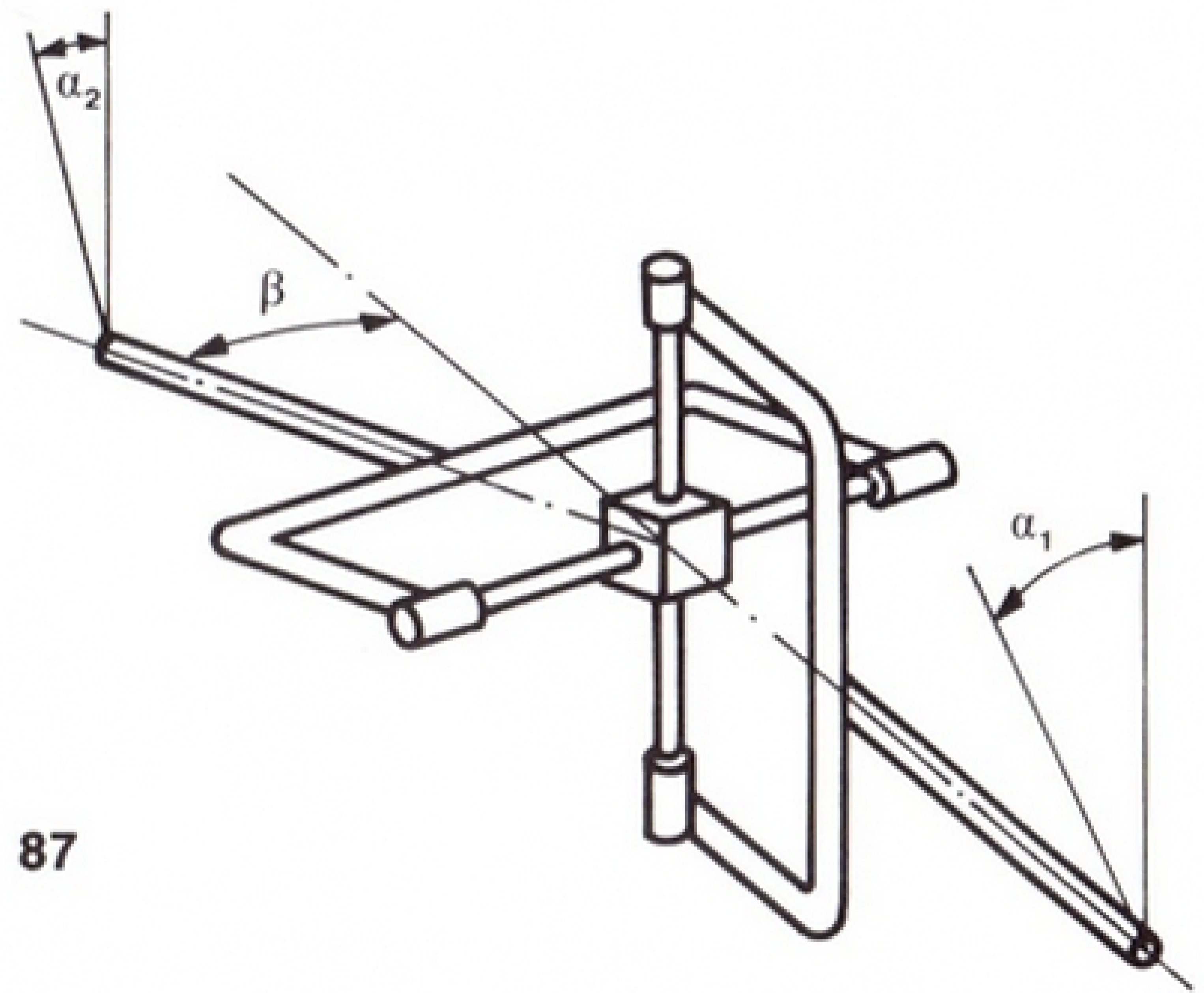
1.5.7. Elektrische Übertragung

Bei den fischertechnik-Motoren erreicht man eine Änderung der Drehrichtung in simpler Weise durch Vertauschen der Anschlußleitungen des Motors. Bei anderen Motorenbauarten bringt diese Maßnahme allerdings nicht immer den gewünschten Erfolg. Es ist jedoch durch zweckentsprechende Schaltungen immer möglich, ohne allzugroßen Aufwand die Motordrehrichtung gegenüber derjenigen des Generators zu ändern.

1.6. Übertragung von Drehbewegungen zwischen zwei beliebig zueinander geneigten Achsen

Bisher lagen die Wellen, zwischen denen die Drehbewegung übertragen werden sollte, entweder in einer Flucht oder aber parallel zueinander. Welche Möglichkeiten bieten sich nun, wenn man eine Drehung zwischen beliebig zueinander geneigten Wellen übertragen will?

1.6.1. Kreuzgelenke



87

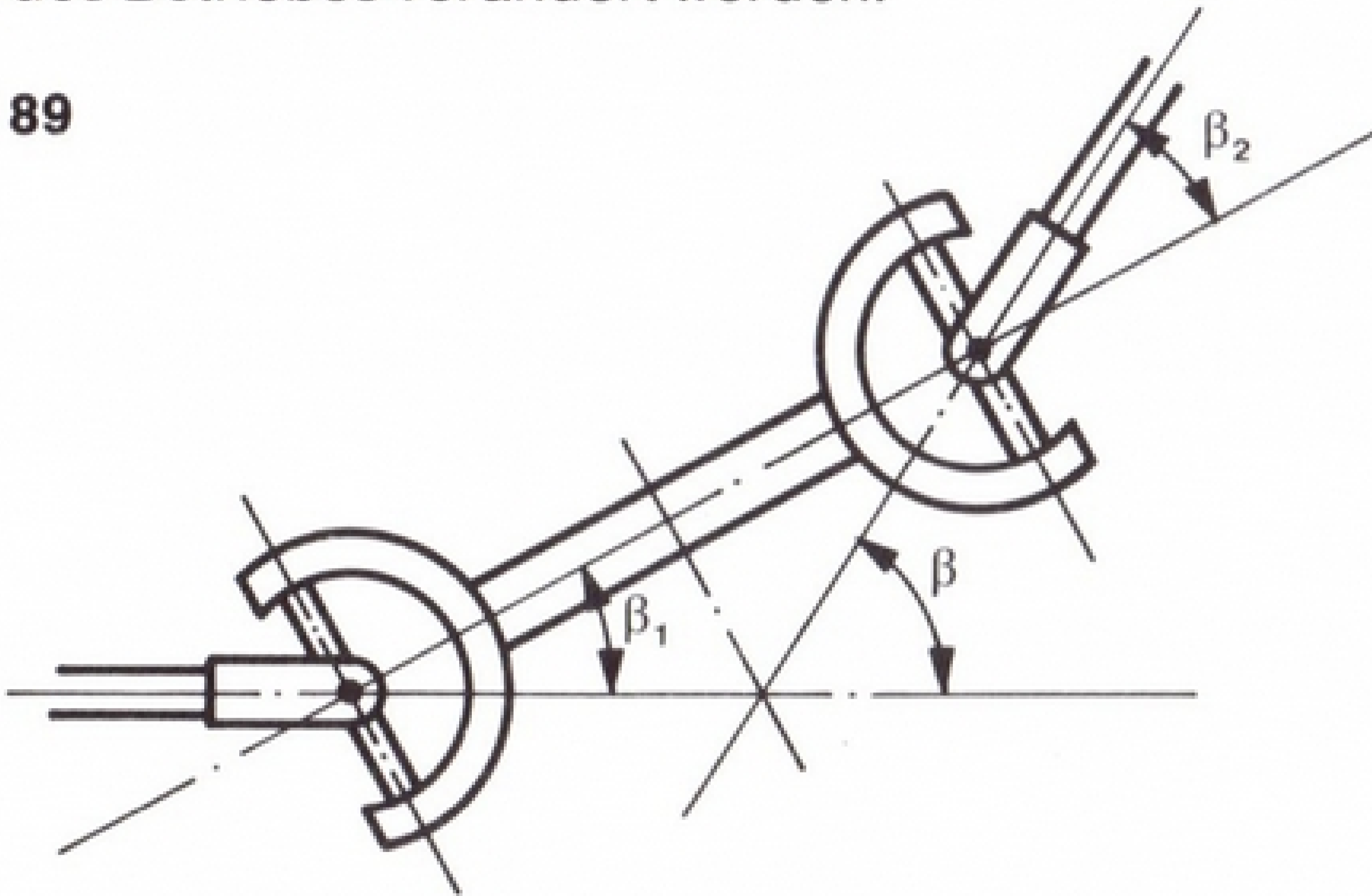
Das einfache Kreuzgelenk nach Bild 87 vermag im Prinzip, eine Drehbewegung von einer Welle auf eine zweite, dazu geneigte, weiterzuleiten. Dem Baukasten 300 liegt ein solches Kreuzgelenk fertig bei, und eine Anordnung mit 2 Kreuzgelenken wurde ja schon einmal im Abschnitt 1.4.2. vorgestellt. Trotz der verblüffenden Eigenschaft eines solchen Gelenkes, das offenbar eine Drehung »um die Ecke« zu leiten vermag, ist auch ein in der Praxis manchmal störender Nachteil vorhanden: Die Weiterleitung geschieht **ungleichförmig**, die Abtriebswelle dreht sich während einer Umdrehung der Antriebswelle abwechselnd langsamer oder schneller als diese, d.h. der Winkel α_2 , den die Abtriebswelle zurücklegt, ist kleiner

oder größer als α_1 , der Drehwinkel der Antriebswelle, s. Bild 87. Vgl. hierzu auch [6].

Natürlich kann in Fällen, in denen die ungleichförmige Drehung nicht stört, das Kreuzgelenk in dieser einfachen Form verwendet werden. Es führt übrigens auch den Namen **Kardangelenk** nach dem italienischen Mathematiker, Arzt, Naturforscher und Philosophen Geronimo Cardano (1501 – 1576).

Das Funktionsmodell nach Bild 88 benutzt das fischertechnik-Kreuzgelenk. Die Drehachse des Gelenksteines muß durch die Gelenkmitte verlaufen. Der Winkel zwischen den beiden durch das Gelenk verbundenen Wellen kann während des Betriebes verändert werden.

89



Ordnet man wie in Bild 89 zwei Kreuzgelenke hintereinander an, so daß sich jeweils gleiche Beugungswinkel ergeben ($\beta_1 = \beta_2$), so kann die erwähnte Ungleichförmigkeit vermieden werden (W-Beugung). Der gesamte Beugungswinkel zwischen An- und Abtriebswelle ist dann $\beta = \beta_1 + \beta_2$. Die Gelenkgabeln auf der Zwischenwelle müssen in der gleichen Stellung angebracht werden (Modellbild 90 genau beachten!).

1.6.2. Gleichlaufgelenke

Will man die Ungleichförmigkeit der Bewegungsübertragung des einfachen Kreuzgelenkes, den sog. **Kardanfehler** vermeiden, hat aber keinen Raum für eine Zwischenwelle zur Verfügung, so wählt man ein **Gleichlaufgelenk**, auch **homokinetisches Gelenk** genannt, wovon es zahlreiche Systeme gibt. Sie alle erlauben bei völlig gleichförmiger oder nur wenig fehlerbehafteter Bewegungsübertragung eine Änderung des Beugungswinkels während des Betriebes.

Eine Anwendung findet sich bei Kraftfahrzeugen mit Frontantrieb, weil bei diesen die Antriebsräder zusätzlich gelenkt werden. Hier würde sich der Kardanfehler in ruckender Kurvenfahrt unangenehm bemerkbar machen, und zwar um so störender, je enger die befahrene Kurve ist, je stärker also die Räder eingeschlagen sind. Näheres über Gleichlaufgelenke ist [10] zu entnehmen.

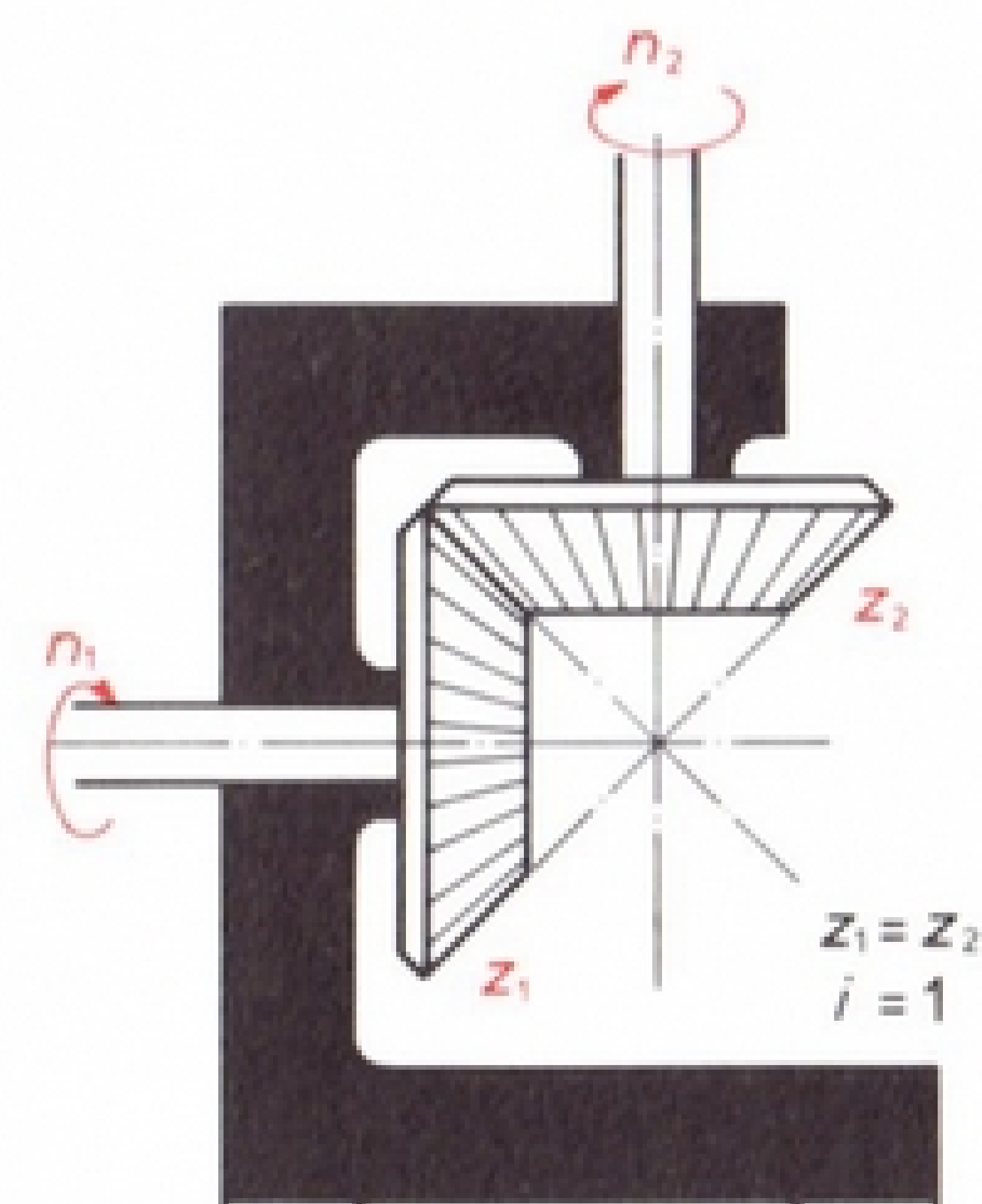
Hier genügt das Funktionsmodell eines Gleichlaufgelenkes (Bild 91); die wirkliche technische Ausführung weicht recht erheblich davon ab. Die zusätzlich benötigte 6. Achse 60 kann aus mot 7 entnommen werden. Es muß genau auf die Anordnung der insgesamt 6 an der Bewegungsübertragung beteiligten Achsen und die Art, wie sie gegenseitig verschränkt sind, geachtet werden. Die Abtriebswelle ist während des Betriebes gegenüber der Antriebswelle schwenkbar. Die gedachte Drehachse des Gelenksteines muß genau durch den ebenfalls gedachten Schnittpunkt von Antriebs- und Abtriebswelle gehen. Zur Ausschlagbegrenzung sind ein Winkelstein $10 \times 15 \times 15$ und ein gleichschenkliger Winkelstein vorgesehen. Die beiden Wellen dürfen nämlich (nur im Modell, nicht bei den wirklich ausgeführten Gelenken!) nicht in eine Flucht gelangen, d.h. der Beugungswinkel darf nicht zu Null werden. Sonst würden die Achsen 60 außer Eingriff kommen.

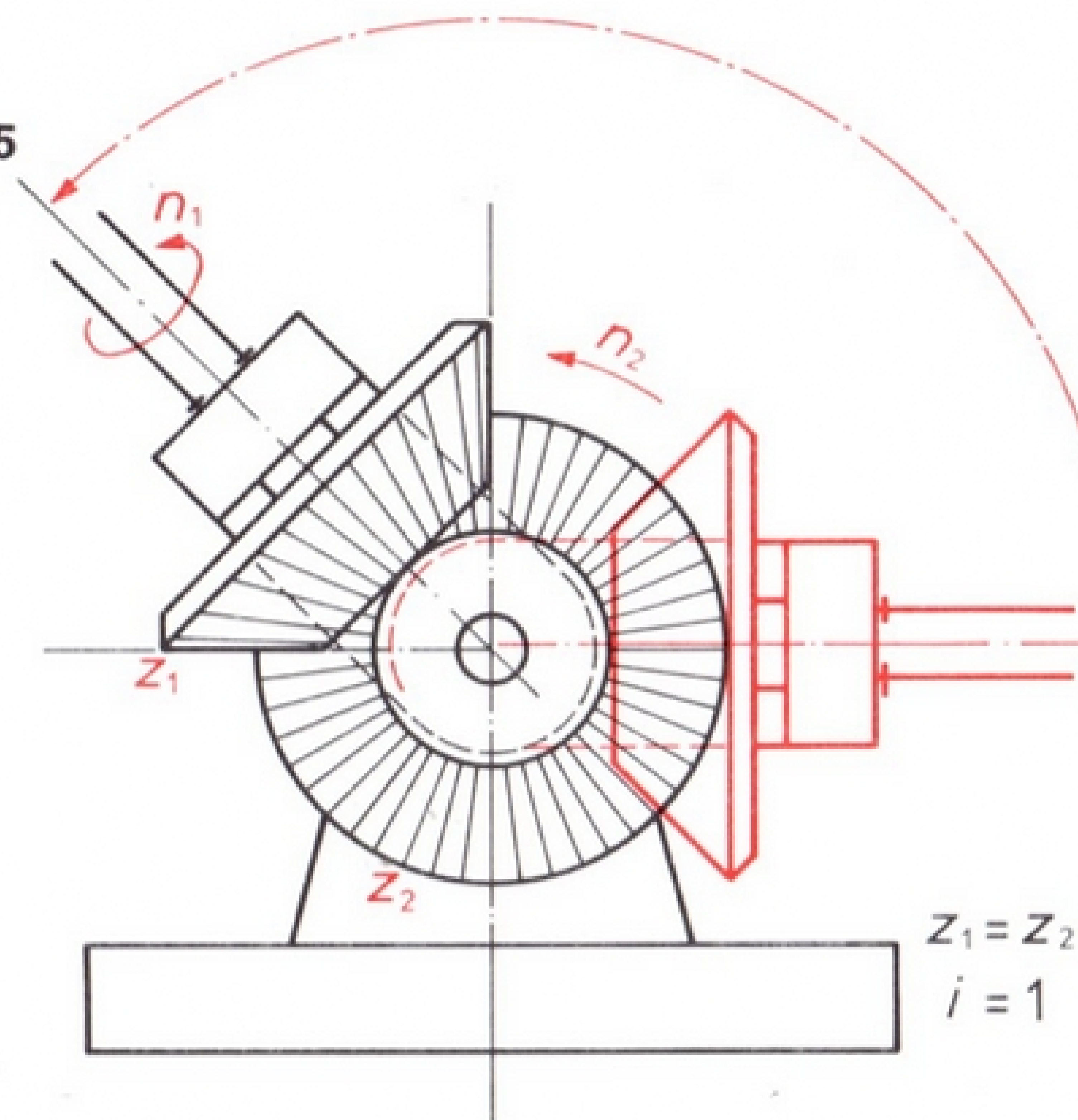
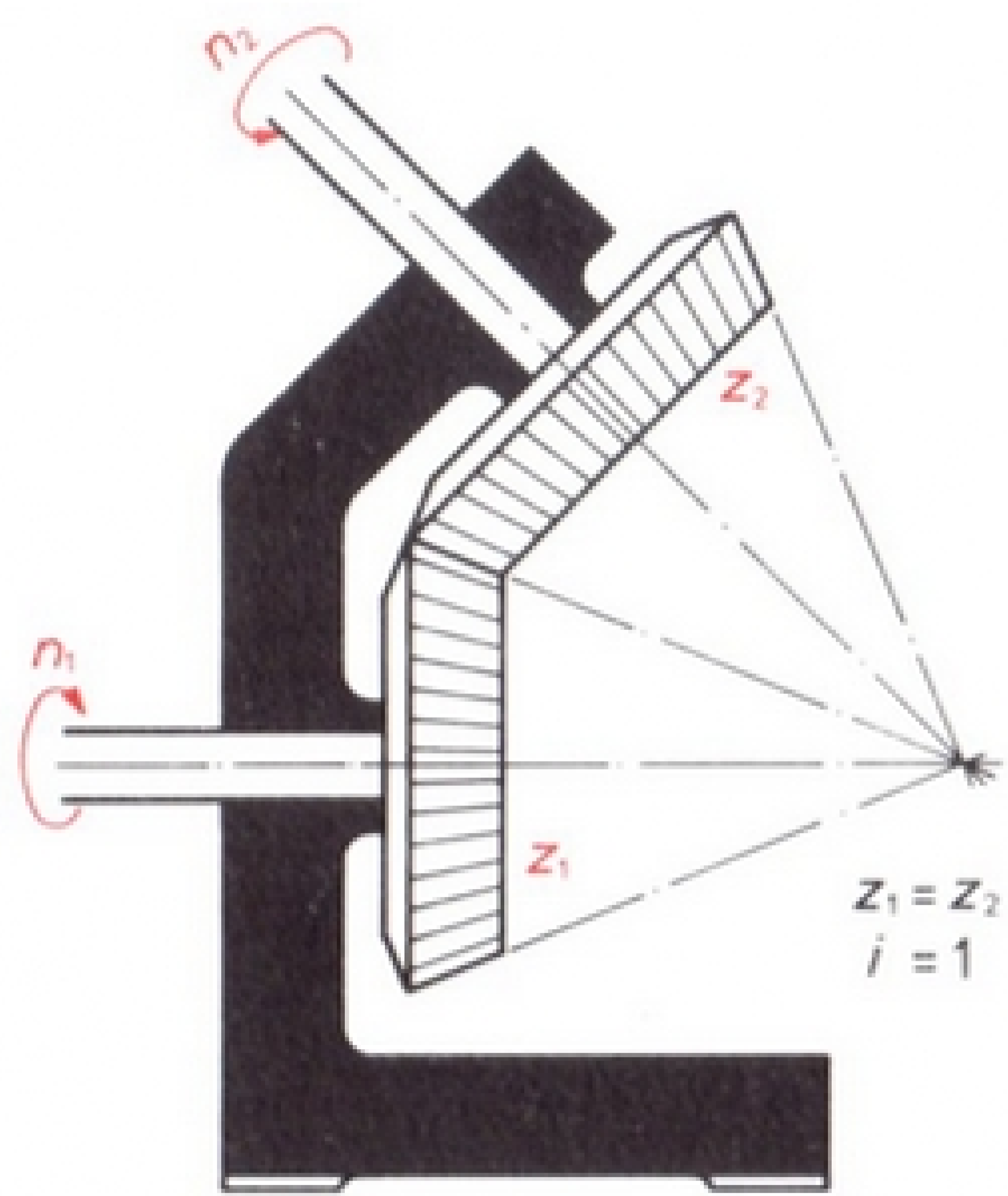
Das Modell nach Bild 92 zeigt eine Anordnung, welche auf dem gleichen Prinzip beruht wie die vorige. Allerdings ist hier der Winkel zwischen An- und Abtriebswelle nicht veränderlich; es handelt sich demnach um kein Gelenk. Wegen der rechtwinklig abgelenkten Winkelachsen wird die Drehung um einen rechten Winkel umgeleitet, übrigens ebenfalls ohne Kardanfehler. Wären die Winkelachsen um einen anderen Winkel abgelenkt, so ergäbe sich auch für die Umlenkung ein entsprechend anderer Winkel. Am Modell ist deutlich zu beobachten, wie sich die Ecken aller vier Winkelachsen stets in ein und derselben Ebene bewegen, welche den Winkel zwischen An- und Abtriebsachse (hier 90°) halbiert (hier also unter 45° verläuft).

1.6.3. Kegelzahnräder

Kegelzahnräder, kurz: Kegelräder, sind die bekanntesten Einrichtungen zur Umleitung einer Drehbewegung in eine andere Richtung. Gewöhnlich bilden die fraglichen Wellen einen rechten Winkel miteinander, ihre Achsen schneiden sich in der Spitze des Kegels auf Bild 93. Man ist aber

93

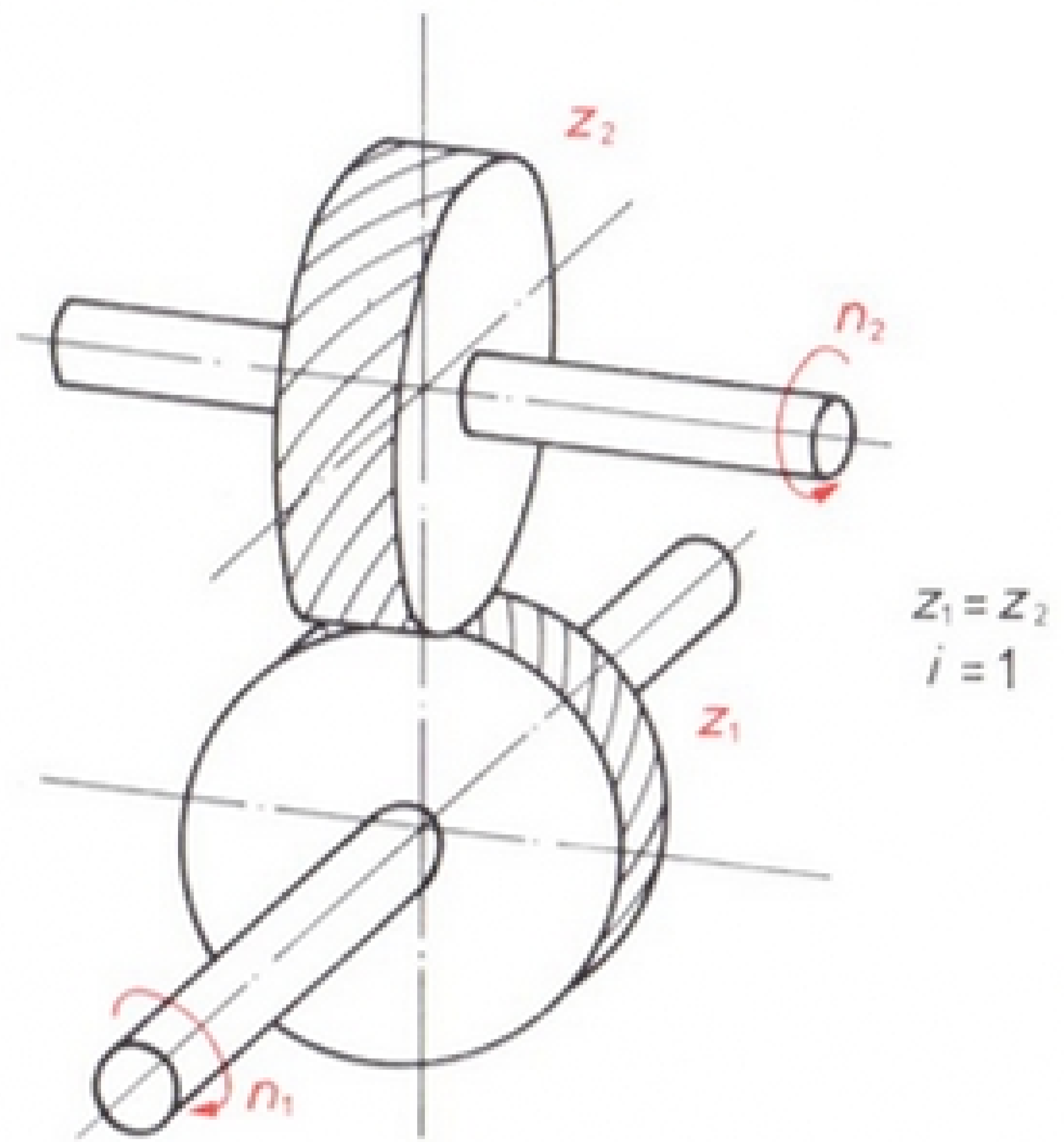




nicht an den rechten Winkel gebunden, s. Bild 94. Bei gleichen Kegelrädern ist das Übersetzungsverhältnis $i = 1$.

Während die Anordnungen nach Bild 93 und 94 feste Winkel zwischen den Wellen aufweisen, kann die Abtriebswelle bei Bild 95 während des Betriebes geschwenkt werden. Die zugehörigen Modelle sind in den Bildern 96 und 97 dargestellt. Beim letztgenannten Modell wird zusätzlich eine Achse aus der Packung 029 benötigt. Die schwenkbare Achslagerung hat ihre Drehachse auf der Antriebswelle, ist also auf dieser gelagert (Baustein 30 mit Bohrung). Eine Arretierung aus einer Strebe 30, einem Kupplungsstück 1 und einem Verschlussriegel hält sie in jeder Stellung fest. Zum Schwenken wird das Kupplungsstück 1 in der Nut der Bausteine 15 bzw. 30 verschoben.

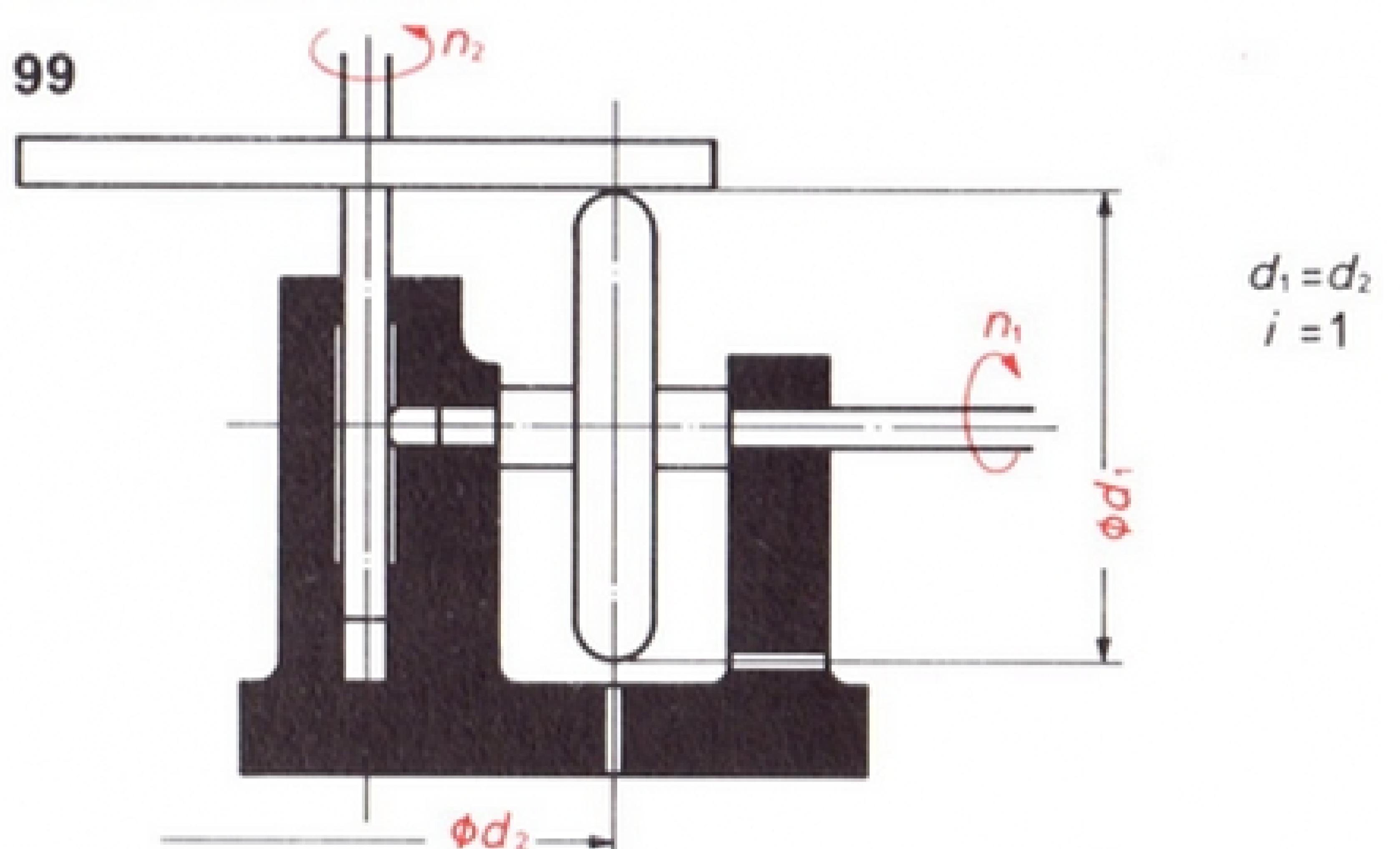
1.6.4. Schraubenzahnräder



Obwohl das fischertechnik-Programm z. Z. noch keine Schraubenzahnräder umfaßt, muß der Vollständigkeit halber auch diese Lösungsmöglichkeit erwähnt werden.

Während sich bei den Kegelrädern die verlängerten Wellenachsen in einem Punkt **schneiden**, nämlich in der in Bild 93 und 94 zu sehenden Kegelspitze, schneiden sich bei den Schraubenzahnrädern (kurz Schraubenräder genannt) die Wellen überhaupt nicht! Sie laufen aneinander vorbei, sie **kreuzen** sich. Schraubenräder werden also zur Bewegungsübertragung zwischen sich kreuzenden Wellen eingesetzt. Letztere müssen keinen rechten Winkel miteinander bilden (Bild 98). Wie dort angedeutet ist, sind die Zähne schraubengangartig auf dem Radumfang angeordnet. Schraubenräder eignen sich nur für verhältnismäßig kleine Übertragungskräfte, z.B. zum Antrieb der Tachometerwelle oder des Zündverteilers bei Kraftfahrzeugen.

1.6.5. Reibräder



Wie Bild 99 zeigt, kann man Drehbewegungen auch mit Hilfe von Reibradgetrieben umlenken. Das Übersetzungsverhältnis $i = 1$ ergibt sich für

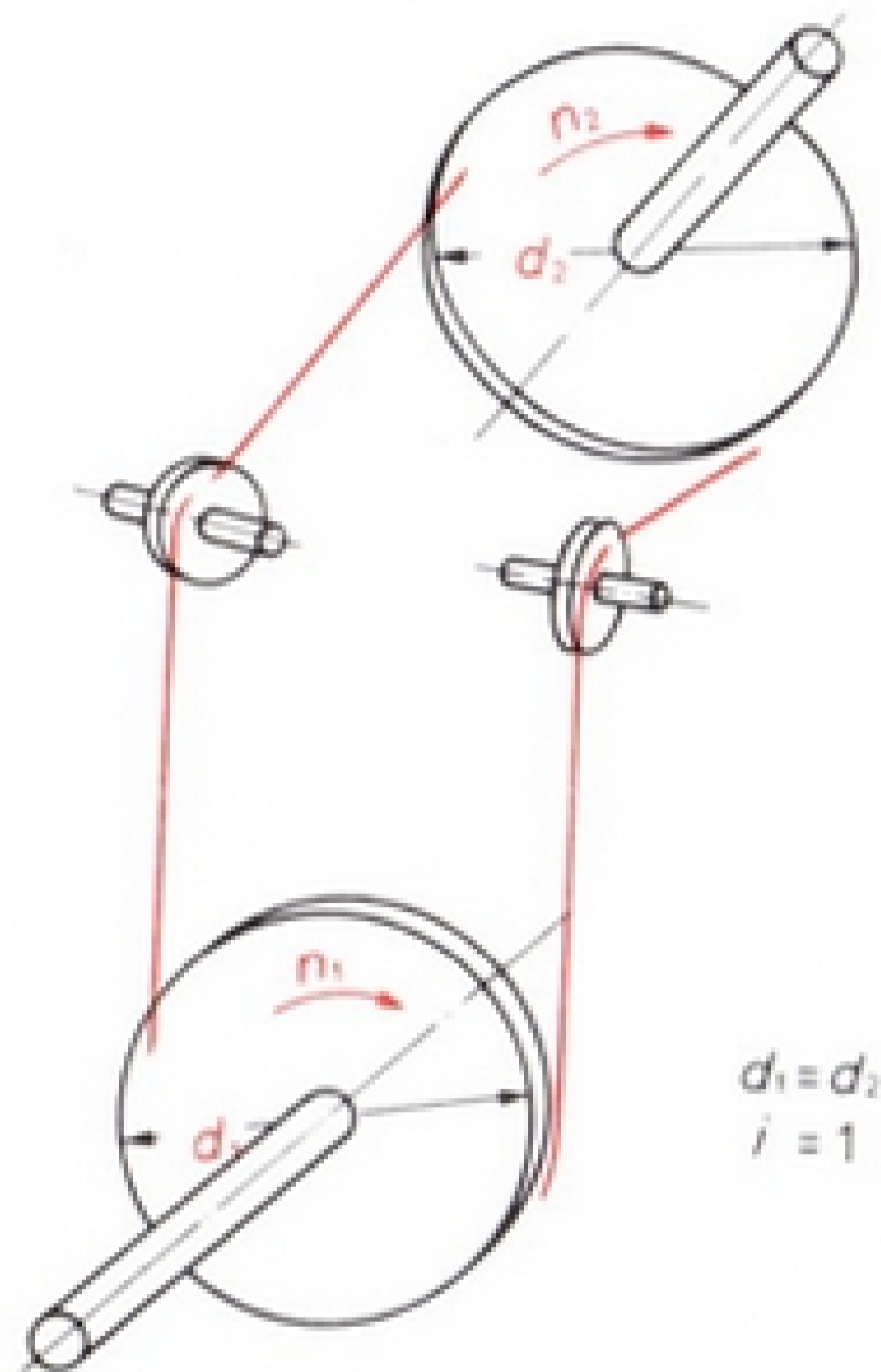
$$d_1 = d_2.$$

Die notwendige Anpreßkraft für die kraftschlüssige Übertragung wird bei der gezeigten Anord-

nung durch die Gewichtskraft der horizontalen Reibscheibe erzeugt. Das zugehörige Funktionsmodell findet sich auf Bild 100. Übrigens müssen auch hier die Achsen nicht unbedingt rechtwinklig zueinander stehen; sie sollen sich aber schneiden.

1.6.6. Zugmittel

101



Durch Seile oder Riemen lassen sich, wie Bild 101 zeigt, Drehbewegungen auf beliebig geneigte Achsen weiterleiten, gegebenenfalls unter Verwendung von Leitrollen.

Die Modelle nach Bild 102 und 103 bieten hierfür Beispiele. Wegen der Dehnbarkeit der Antriebsfeder kann man beim Modell nach Bild 102 den Winkel zwischen den beiden Wellen während des Betriebes verstellen. Die beiden Federgelenksteine sollen der Spannkraft der Antriebsfeder entgegenwirkend eingesetzt werden.

1.6.7. Biegsame Welle

Biegsame Wellen eignen sich zur Übertragung von geringen Kräften, gestatten aber die beliebige Lage von Antriebs- und Abtriebswelle.

Biegsame Wellen werden z.B. zum Antrieb des Tachometers bei Kraftfahrzeugen und Fahrrädern benutzt. Auch bei Fräs- und Schleifgeräten werden sie angewendet. Sehr kleine Kräfte können einfach durch einen Gummi- oder Plastikschlauch übertragen werden. Sonst ist eine biegsame Welle aus mehreren Lagen eines wendelförmig gewickelten Stahldrahtes (ähnlich der fischertechnik-Antriebsfeder) aufgebaut und von einem biegsamen Metallschlauch umgeben. Sie gestattet eine beliebige, **auch während des Betriebes veränderliche Lage** der durch sie verbundenen Wellen zueinander mit der Einschränkung, daß bei der Verlegung der biegsamen Welle die Biegeradien nicht zu klein werden dürfen. Eine zu stark abgebogene oder gar geknickte biegsame Welle hat nur eine kurze Lebensdauer.

Beim Modell nach Bild 104 wird ein Stück Gummi- oder Plastik-Schlauch verwendet. Das Modell nach Bild 105 soll einen Werkzeugantrieb mit biegsamer Welle darstellen. Als solche wird die fischertechnik-Antriebsfeder eingesetzt. Sie ist an ihren beiden Enden mit Klebeband umwickelt und steckt jeweils in einer Klemmkupplung. Das Werkzeug, es könnte ein Schleifstein oder ein Fräser sein, ist an einem Kupplungsstück 2 abnehmbar aufgehängt.

1.6.8. Hydrostatischer Antrieb und elektrische Übertragung

Da bei beiden Systemen keine feste Verbindung zwischen den Wellen besteht, vielmehr die Fortleitung der Bewegung über Schlauchleitungen oder Kabel vor sich geht, leuchtet es ein, daß man die Drehung ohne Schwierigkeiten beliebig umlenken kann. Hierauf braucht nicht näher eingegangen zu werden.

In den vorausgegangenen Abschnitten wurden zahlreiche Möglichkeiten der Bewegungsübertragung vorgestellt. Bei allen gezeigten Lösungen wurde die Bewegung im Prinzip nicht verändert, d.h. der Weg bzw. der Drehwinkel wurden, von gewissen unvermeidlichen Übertragungsfehlern abgesehen (Schlupf, Kardanfehler), gleichgehalten. Im nächsten Heft wird nun besprochen werden, wie man die Bewegungen so verändern kann, daß Weg oder Drehwinkel in beabsichtigter Weise zu- oder abnehmen.

2. Anhang

2.1. Die Basiseinheit der Zeit

In Heft 1 wurde ausführlich dargelegt, daß zumindest zwei Beobachtungen eines Körpers zu verschiedenen Zeiten notwendig sind, um eine Bewegung feststellen zu können. Daher spielt die **Zeit** in der Bewegungslehre eine wichtige Rolle. Sie ist wie die Länge oder der Winkel, welche in Heft 1 besprochen wurden, eine wichtige physikalische Größe und darüber hinaus wie die Länge eine Basisgröße des **Internationalen Einheitensystems SI**, wovon ebenfalls im 1. Heft schon die Rede war.

Es kommt im Zusammenhang mit der Bewegung von Körpern nicht so sehr auf die Angabe eines bestimmten **Zeitpunktes** als auf die Festlegung einer bestimmten **Zeitspanne** an, z. B. auf die Zeitspanne zwischen zwei Beobachtungen, wie man sie etwa mit einer Stoppuhr mißt, deren Zeiger man zum ersten Zeitpunkt in Bewegung setzt und im zweiten abstoppt. Das Formelzeichen für die Zeit ist t , der Name der Zeiteinheit ist **Sekunde**, abgekürzt s. Wie die Basiseinheit der Länge, so ist heute auch die Basiseinheit der Zeit über Vorgänge im atomaren Bereich festgelegt. Ursprünglich war sie jedoch von der Erddrehung abgeleitet, nur ist diese Festlegung für wissenschaftliche Zwecke nicht mehr exakt genug. Für die Praxis genügt es aber noch, sich den **mittleren Sonnentag**, das ist die Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Höchstständen der Sonne, als Ausgangsbasis für die Zeitmessung vorzustellen. Man muß hier einen gedachten, mittleren Sonnentag verwenden, weil die Tageslänge zwischen zwei Sonnenhöchstständen jahreszeitlich etwas schwankt. Diesen mittleren Sonnentag also teilt man in 24 **Stunden**, von denen jede in 60 **Minuten** und jede Minute wieder in 60 **Sekunden** eingeteilt werden. Daher ist eine Sekunde der 86400. Teil des mittleren Sonnentages.

Damit ergeben sich folgende, mit der Sekunde zusammenhängende Zeiteinheiten:

der Tag, Kurzzeichen d (v. lat. dies = Tag)

$$1 \text{ d} = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400 \text{ s}$$

die Stunde, Kurzzeichen h (v. lat. hora)

$$1 \text{ h} = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ s}$$

die Minute, Kurzzeichen min

$$1 \text{ min.} = 60 \text{ s.}$$

Heutzutage ist aber die Sekunde nicht als 86400.

Teil des Tages, sondern umgekehrt dieser als das 86400-fache der Sekunde festgesetzt.

Mit den im Anhang von Heft 1 genannten **Vorsatzsilben** können von der Sekunde (nicht aber von min, h. und d!) Teile und Vielfache gebildet werden. Am gebräuchlichsten ist die

$$\text{Millisekunde} = 1/1000 \text{ s} = 0,001 \text{ s.}$$

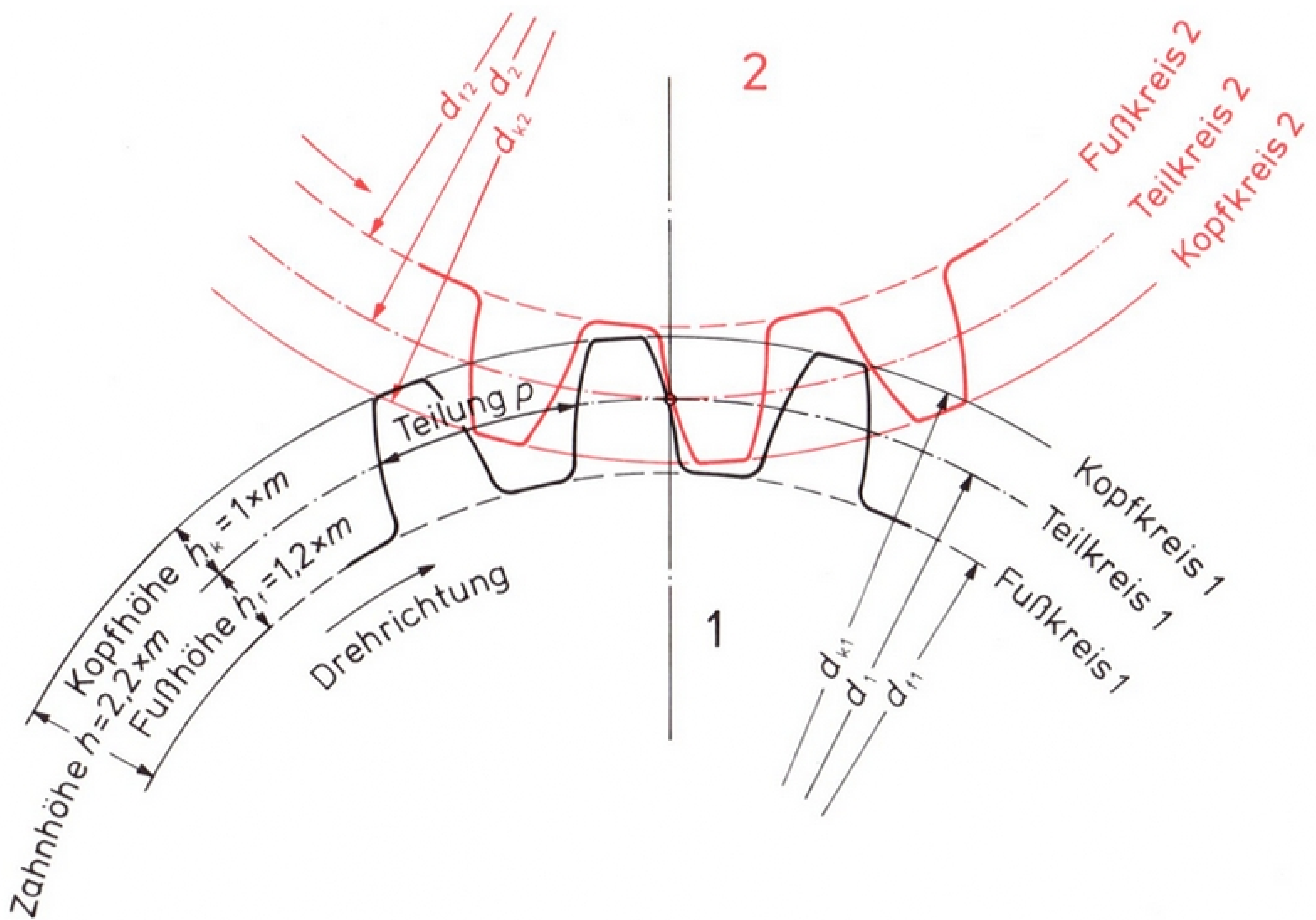
2.2. Maße an Zahnrädern

In den vorausgehenden Abschnitten war öfter von »zwei gleichen Zahnrädern« die Rede. Wann aber sind zwei Zahnräder »gleich« im Hinblick auf die Bewegungsübertragung?

Sicher sind sie es nicht unbedingt dann, wenn sie gleiche Außendurchmesser besitzen, denn Zahnräder mit wenigen, aber groben Zähnen können den gleichen Außendurchmesser aufweisen wie solche mit vielen, jedoch feineren Zähnen. Aber auch Zahnräder mit gleichen Zähnezahlen sind nicht ohne weiteres gleich, eben weil die Verzahnung gröber oder feiner sein kann und dadurch verschiedenen Durchmesser zustande kommen.

Bild 106 gibt schematisch die Verzahnung eines Rades wieder, wie sie in diejenige des Gegenrades eingreift. Sieht man das Rad 1 als treibend an, so berühren seine Zähne diejenigen des Gegenrades und schieben sie weiter. Die sich berührenden, gebogenen Flächen der Zähne heißen **Zahnflanken**; nur bei der geraden Zahnstange sind die Zahnflanken eben. Der Abstand zweier Zahnflanken (d.h. zweier linker bzw. zweier rechter Flanken) heißt »Teilung t «, nicht zu verwechseln mit der Zeit, welche ebenfalls das Formelzeichen t erhielt. Je weiter außen am Zahn die Teilung gemessen wird, desto größer wird ihr Wert, weswegen man sich auf einen bestimmten Kreis mit dem Durchmesser d_0 geeinigt hat, den **Teilkreis**, auf welchem die Teilung gemessen wird. Es ist interessant, daß sich die Zahnräder bei der Drehung so bewegen, als ob die Teilkreise wie schlupffreie Reibräder aufeinander abrollten. Daher spricht man auch von den »Wälzkreisen«.¹

¹ In der Praxis verwendet man allerdings häufig sog. korrigierte Verzahnungen, bei welchen Teilkreis und Wälzkreis voneinander verschieden sind. Darauf und auf andere Verzahnungssysteme als die hier geschilderte „Evolventenverzahnung“ kann in diesem Rahmen nicht eingegangen werden.



Der Teilkreisumfang ist

$$U_o = z \cdot t,$$

wenn z die Zähnezahl ist.

Das Übersetzungsverhältnis gibt an, wie oft sich das treibende Rad drehen muß, damit sich das getriebene 1 mal dreht oder, anders ausgedrückt, wie oft der Teilkreisumfang des treibenden Rades in demjenigen des getriebenen enthalten ist:

$$i = \frac{U_{o2}}{U_{o1}} = \frac{z_2 \cdot t_2}{z_1 \cdot t_1}.$$

Es leuchtet ein, daß nur solche Räder einwandfrei miteinander laufen können, deren Verzahnungen außer der gleichen, vom Verzahnungssystem bestimmten Form auch gleiche Teilungen besitzen, d.h. t_1 muß gleich t_2 sein.

Dann ergibt sich aus obiger Gleichung:

$$i = \frac{z_2}{z_1}.$$

Bekanntlich ist der Umfang eines Kreises:

$$U = d \cdot \pi,$$

wobei π (pi) die Zahl 3,14159, d.h. etwa $\frac{22}{7}$ ist.

Für den Teilkreisumfang gilt also:

$$U_o = d_o \cdot \pi$$

mit d_o als Teilkreisdurchmesser. Damit ist

$$i = \frac{U_{o2}}{U_{o1}} = \frac{d_{o2} \cdot \pi}{d_{o1} \cdot \pi} = \frac{d_{o2}}{d_{o1}}.$$

Die Abmessungen der Zähne sind genormt, und zwar in folgender Weise:

Nach den obigen Formeln ist:

$$d_o = \frac{U_o}{\pi} = \frac{t}{\pi} \cdot z.$$

Die Größe $\frac{t}{\pi}$ nennt man den „Modul“ m .

Somit läßt sich schreiben:

$$d_o = m \cdot z$$

Der Modul ist in verschiedenen Stufen genormt. Grobe Verzahnungen haben großen, feine Verzahnungen kleinen Modul. Daraus folgt, daß bei gleichen Zähnezahlen grobe Verzahnungen eben größere Teilkreisdurchmesser haben als feine.

Die fischertechnik-Zahnräder haben $m = 1,5$ mm und $m = 0,5$ mm. Ein Zahnrad von 30 Zähnen hat dann einen Teilkreisdurchmesser von 45 bzw. 15 mm. Natürlich können nur Verzahnungen mit gleichem Modul miteinander laufen, und die Zähne mit größerem Modul können unter sonst gleichen Verhältnissen größere Kräfte übertragen, was allerdings bei den Modellen keine Rolle spielt. Hier ist für die Wahl des Moduls vor allem die Raumfrage ausschlaggebend.

Alle übrigen Zahnabmessungen hat man zum Modul in Beziehung gesetzt.

Der Zahn wird nach außen vom **Kopfkreis** begrenzt; für diesen gilt:

$$d_K = d_o + 2 \cdot h_K = d_o + 2m.$$

Die **Zahnkopfhöhe**, vom Teilkreis aus gemessen, ist also:

$$h_K = m.$$

Der gesamte Zahn ist 2,2 m hoch, damit der Kopf des Gegenzahnrades nicht im Grunde der Zahn-
lücke aufläuft. Der Zahn wird nach innen durch
den **Fußkreis** begrenzt. Die **Zahnfußhöhe**, ge-
messen vom Teilkreis aus, beträgt:

$$h_F = 1,2.$$

Der Fußkreisdurchmesser ist dann (s. auch Bild
106):

$$d_F = d_o - 2h_F = d_o - 2 \cdot 1,2 \cdot m = d_o - 2,4 m.$$

Beim **Innenzahnrad** ist sinngemäß:

$$d_K = d_o - 2 m; \quad d_F = d_o + 2,4 m.$$

Von diesen festgelegten Werten gibt es für Son-
derzwecke allerdings auch Abweichungen.

Der Außendurchmesser eines normalen Stirn-
zahnades ist also gleich dem Kopfkreisdurch-
messer. Man kann den unbekanntem Modul
eines Zahnades aus einer Messung dieses
Außendurchmessers und durch Abzählen der
Zähnezahl bestimmen. Es ist nämlich:

$$d_K = d_o + 2m = z \cdot m + 2m = (z + 2)m,$$

$$m = \frac{d_K}{z + 2}.$$

Beispiel: Z 30 mit $d_K = 47,5 \text{ mm}$,

$$m = \frac{47,5 \text{ mm}}{30 + 2} = 1,484 \text{ mm} \approx 1,5 \text{ mm}.$$

2.3. Erläuterung von Fachausdrücken

abpressen Dichtheitsprüfung von Druckbehältern

abwürgen Wird beim Verbrennungsmotor eine gewisse
Minstdrehzahl unterschritten, so bleibt er ste-
hen. Dies geschieht, wenn man beim Abbremsen
eines Kraftfahrzeuges bis zum Stillstand vergißt,
durch Treten des Kupplungspedals den Motor vom
Schaltgetriebe zu trennen.

Achse a) Lagerung für ein drehbares Maschinenteil
oder Fahrzeugrad. Eine Achse wird nicht auf Verdre-
hung beansprucht, sondern nur auf Biegung oder
Abscheren (s. auch → Welle).

b) gedachte Mittellinie

Anfahrkupplung Kupplung, welche den Antriebsmotor
selbständig allmählich mit der Maschine oder dem
Fahrzeug verbindet und so Stöße verhindert.

Basiseinheit Grundeinheit des → SI

bewegliche Kupplung Kupplung zur Verbindung von
Wellen, welche während des Betriebes ihre Lage
zueinander ändern

Bewegung, oszillierende im vorliegenden Zusammen-
hang: hin- und hergehende geradlinige Bewegung

biegsame Welle → Welle, biegsame

Bolzenkupplung Kupplung, bei welcher die Kraftüber-
tragung durch mit Bolzen verbundene Scheiben
erfolgt

Bowdenzug in einer Schutzhülle laufendes Drahtseil
(oft auch einfacher Stahldraht)

Drehmaschine (früher auch Drehbank genannt)
Werkzeugmaschine zur Bearbeitung hauptsächlich
runder Werkstücke mit Hilfe von Drehmeißeln, welche
Späne von der Oberfläche des sich drehenden Werk-
stückes abnehmen

Drehsinn Drehrichtung. Man unterscheidet Drehrich-
tung im Uhrzeigersinn und entgegen dem Uhrzeiger-
sinn

Druckfeder Feder, bei welcher zum Zusammendrük-
ken eine Kraft überwunden werden muß. Diese ist in
der Regel um so größer, je stärker die Feder zusam-
mgedrückt, d.h. verkürzt wird.

Einheitensystem, internationales Nach dem Gesetz
über Einheiten im Meßwesen vom 2. 7. 69 sind für den
geschäftlichen und amtlichen Verkehr innerhalb der
Bundesrepublik Deutschland die Einheiten des
Système International d'Unités (SI) vorgeschrieben.
Dieses baut auf nur 7 Basiseinheiten auf, die so gewählt
sind, daß sich Rechnungen möglichsie einfach gestalten.

Einmalspritze Plastikspritze für medizinische Zwecke
zur einmaligen Benutzung. Wird nach Gebrauch weg-
geworfen, also nicht gereinigt und wiederverwendet.
In keimfreier Verpackung in Apotheken billig käuflich.

elastische Kupplung → Kupplung, elastische

Flachriemen Riemen mit rechteckigem Querschnitt

fliegende Lagerung → Lagerung, fliegende

fluchtende Wellen → Wellen, fluchtende

Föttinger-Kupplung nach ihrem Erfinder benannte
Strömungskupplung

Funktionsmodell Modell, das die Wirkungsweise einer
technischen Einrichtung erläutern soll. Um die Wir-
kungsweise oder Funktion klar herauszustellen, wird
oftmals auf wirklichkeitsgetreues Aussehen verzich-
tet.

Fußkreis innere Begrenzung des Zahnes eines Zahn-
rades

Geberzylinder Hydraulik- oder Pneumatikzylinder,
welcher das zur Übertragung benutzte Medium abgibt

Gelenkwelle Welle aus mehreren, durch bewegliche
Kupplungen oder Gelenke verbundenen Strängen

Generator Erzeuger, hier: Stromerzeuger

Gleichlaufgelenk bewegliche Wellenkupplung ohne
→Kardanfehler

Höchststand der Sonne Infolge der Erddrehung
beschreibt die Sonne während des Tagesverlaufs
scheinbar eine bogenförmige Bahn. Der höchste
Punkt dieser Bahn, der Sonnenhöchststand, wird am
Mittag erreicht.

homokinetisches Gelenk → Gleichlaufgelenk

Hydromotor durch Druckflüssigkeit angetriebener
Motor

Hydropumpe Flüssigkeitspumpe für hydrostatische
Antriebe

hydrostatisch mit Druckflüssigkeit arbeitend

Hydraulik eigentlich: Lehre von den strömenden Flüs-
sigkeiten, speziell: technische Anwendung der Flüs-
sigkeitsgesetze

hydraulisch durch Flüssigkeit betrieben

inkompressibel nicht zusammendrückbar

Internationales Einheitensystem → Einheitensystem, internationales

Kardanfehler Bei der Bewegungsübertragung durch Kardan- oder Kreuzgelenke ist der Drehwinkel der Abtriebswelle abwechselnd größer oder kleiner als derjenige der Antriebswelle. Der Unterschied der Drehwinkel heißt Kardanfehler.

Kardangelenk → Kreuzgelenk

Kegelzahnrad Zahnrad, bei welchem die Zähne auf einem Kegel angeordnet sind. Zur Bewegungsübertragung zwischen sich schneidenden Wellen.

Keilriemen Riemen mit trapezförmigem Querschnitt, welcher in einer Rille der Riemenscheibe läuft. Bekannt als Antrieb für Lichtmaschine, Wasserpumpe und Kühlventilator bei Kraftfahrzeugen

Keilschubgetriebe Einrichtung, bei welcher keilförmig abgeschrägte Körper zur Bewegungsübertragung benutzt werden

Kinematik Bewegungslehre ohne Berücksichtigung von Kräften. Es wird nur der Ablauf der Bewegungen betrachtet; nach den Ursachen wird nicht gefragt. Ändert sich jedoch bei einer Bewegung die Schnelligkeit oder die Richtung, so sind dafür Kräfte verantwortlich. Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Kräften und Bewegungen gehört in das Gebiet der Kinetik (Bewegungslehre unter Berücksichtigung von Kräften).

Körper allgemeiner Ausdruck für den Gegenstand, dessen Bewegung untersucht wird

kompressibel zusammendrückbar

Koppel Verbindungsglied

Koppelung Verbindung

Kopfkreis äußere Begrenzung des Zahnes eines Zahnrades

kraftschlüssig durch Vermittlung von Kräften, insbesondere der Reibungskraft

Kreuzgelenk bewegliche Kupplung zur Weiterleitung einer Drehbewegung auf eine geneigte Welle. Mit → Kardanfehler behaftet

Kupplung Maschinenelement zur Verbindung zweier Wellen, beim Kraftfahrzeug zur Verbindung des Motors mit dem Schaltgetriebe. Kann durch Treten des Kupplungspedals gelöst werden.

Kupplung, bewegliche Kupplung zur Verbindung von Wellen, welche nicht in einer Flucht liegen oder ihre Lage während des Betriebes ändern

Kupplung, elastische Kupplung zur Verbindung von Wellen, welche nicht genau fluchten oder sich während des Betriebes geringfügig gegeneinander bewegen

Lagerung, fliegende einseitige Lagerung einer Welle

Medium eigentl.: Mittel. Übertragungsmittel wie Flüssigkeit (Wasser, Öl) oder Gas (meist Luft).

Milliliter 1 ml = $\frac{1}{1000}$ l = 1 cm³

Modul Maß für die Größe einer Verzahnung.

$$m = \frac{t}{\pi}$$

Nehmerzylinder Hydraulik- oder Pneumatikzylinder, welcher das aus dem Geberzylinder verdrängte Medium aufnimmt

oszillierende Bewegung → Bewegung, oszillierende

Parallelkurbelgetriebe Getriebe, bei welchem das Gestänge in jeder Getriebestellung ein → Parallelogramm bildet

Parallelogramm Viereck mit je zwei gleich langen, parallelen Seiten

pneumatisch durch Gas-(Luft-)druck betrieben

Polung Verbindung eines Stromverbrauchers mit einer Gleichstromquelle unter Berücksichtigung des + und -Pols derselben

Reibrad Rad, welches seine Drehbewegung durch Reibungskräfte (kraftschlüssig) an ein anderes weitergibt

Schalenkupplung starre Kupplung zwischen zwei genau fluchtenden Wellen, bestehend aus zwei halbzylindrischen, miteinander verschraubten Schalen, in welchen die Wellenenden durch Reibung gehalten sind

Schiebersteuerung Einrichtung zur Steuerung des Dampf- Ein- und Auslasses am Arbeitszylinder einer Dampfmaschine

Schlupf Bei kraftschlüssiger Bewegungsübertragung ist der Weg des Abtriebsgliedes i. a. kleiner als der des Antriebsgliedes. Den Unterschied zwischen beiden Wegen, bezogen auf den Weg des Antriebsgliedes, nennt man Schlupf s .

$$s = \frac{x_{an} - x_{ab}}{x_{an}}$$

Schraubenzahnrad Zahnrad mit schraubenförmig auf dem Umfang angeordneten Zähnen. Dient zur Bewegungsübertragung zwischen sich kreuzenden Wellen

SI-System → Einheitensystem, Internationales

Stirnrad Zahnrad mit auf dem Umfang angeordneten, geraden oder schräggestellten Zähnen. Dient zur Bewegungsübertragung zwischen parallelen Achsen

Strömungsgetriebe Einrichtung zur Bewegungsübertragung durch ein strömendes Medium, wobei nicht dessen Druck, sondern seine Bewegungsenergie ausgenutzt wird (im Gegensatz zum hydrostatischen Antrieb)

Strömungskupplung Mit strömender Flüssigkeit als Übertragungsmedium arbeitende Kupplung, bestehend aus zwei nahezu baugleichen Schaufelrädern, welche sich in einem flüssigkeitsgefüllten Gehäuse gegenüberstehen

Teilkreis Kreis am Zahnrad, auf welchem die → Teilung gemessen wird

Teilung Entfernung zweier benachbarter rechter oder linker Zahnflanken, gemessen auf dem Teilkreis

Ungleichförmigkeit Abweichung der Drehung der Abtriebswelle von der als gleichförmig angesehenen Drehung der Antriebswelle

Ventiltrieb Einrichtung zur Betätigung der Ein- und Auslaßventile bei Verbrennungsmotoren

Wälzkreis Man kann sich die Bewegung zweier Zahnäder als das Abrollen zweier Kreise aufeinander vorstellen. Diese nennt man Wälzkreise.

W-Beugung Anordnung von zwei → Kreuzgelenken zur Bewegungsübertragung zwischen zwei zueinander geneigten Wellen. Dabei tritt kein → Kardanfehler auf.

Welle Maschinenelement zur Kraftübertragung zwischen sich drehenden Teilen. Im Gegensatz zur → Achse zusätzlich noch auf Verdrehung beansprucht

Welle, biegsame Einrichtung zur Übertragung einer drehenden Bewegung in beliebige, auch während des Betriebes veränderliche Richtung. Nur für geringe Kräfte geeignet

Wellen, fluchtende Wellen mit zusammenfallenden → Achsen (Mittellinien)

Winkelhebel zweiarmiger Hebel, bei welchem die Hebelarme einen Winkel miteinander einschließen

Zahnflanke Seitenfläche des Zahnes, auf welcher die Berührung mit dem Zahn des Gegenrades stattfindet. Zahn und Gegenzahn berühren sich aber nur auf einer Linie. Diese wandert während der Drehung der Räder über die Zahnflanke hinweg.

Zahnradpumpe Pumpe, welche aus zwei gleichen Stirnrädern in einem Gehäuse besteht und das Fördermedium in den Zahnücken der Räder transportiert

Zugmittel Maschinenteil, welches nur Zugkräfte zu übertragen vermag. Hierzu zählen Seile aus Hanf oder Stahldraht, Flach- oder Keilriemen, Ketten, Gummischnüre usw.

Ketten erlauben im Zusammenwirken mit Kettenrädern eine formschlüssige Bewegungsübertragung (Fahrradkette), alle übrigen Zugmittel ermöglichen i. a. nur kraftschlüssige Bewegungsübertragung.

Zweigelenkstab Bauteil mit einem Gelenk an jedem Ende zur Verbindung mit anderen Bauteilen

	formschlüssig	kraftschlüssig
Stirnräder		
Strömungsgetriebe		
Reibradgetriebe		
Kettentriebe		
Riementriebe		
elektrische Übertragung		

3. Test

Der Leser, der bis hierher aufmerksam gefolgt ist, kann im folgenden Test seine erworbenen Kenntnisse überprüfen. Das Durcharbeiten des Tests kann aber auch noch dazu beitragen, letzte Unklarheiten auszuräumen. Die Lösungen stehen auf Seite 30.

3.1. Testfragen

1. Wann nennt man die Übertragung einer Bewegung **formschlüssig**, wann **kraftschlüssig**?
2. Welche Übertragungseinrichtungen sind form- bzw. kraftschlüssig? (Zutreffendes ankreuzen):
 3. Welche der nachstehenden Einrichtungen sind Zugmittel?
 - a) Flachriemen
 - b) Keilriemen
 - c) Kupplungsstück 1 und 2
 - d) Seil
 - e) Kette
 - f) Gummiring
 - g) Antriebsfeder
 - h) Seilhaken
 4. Warum ist bei **pneumatischer** Bewegungsübertragung der Weg des Nehmerkolbens i. a. kleiner als der des Geberkolbens?

Wegen

 - a) Reibung
 - b) Undichtigkeiten
 - c) Kompressibilität
 - d) Schlupf
 - e) Temperatursteigerung des Gases?
 5. Welche Übertragungseinrichtungen ergeben (zumindest im Prinzip) eine exakte Weiterleitung einer Translationsbewegung?
 6. Welche Übertragungseinrichtungen erlauben eine exakte Umkehrung einer Drehbewegung?
 7. Welchen Nachteil haben einfache Kreuzgelenke, und wie kann man ihn vermeiden?
 8. Welchen Mangel haben Parallelkurbelgetriebe?
 9. Wie unterscheiden sich Hydropumpe und Hydromotor im Prinzip?
 10. Wie viele Sekunden hat 1 Woche?
 11. Wie viele Sekunden verstreichen zwischen 10.35 und 12.21 Uhr?

12. Wie groß ist der Modul eines Zahnrades mit $d_K = 328 \text{ mm}$ und $z = 80$?
13. Wie groß ist der Fußkreis-Durchmesser eines Zahnrades mit $t = 3 \text{ mm}$ und $z = 45$ Zähnen?
14. Kann ein Zahnrad mit $d_{K_1} = 105 \text{ mm}$ mit 40 Zähnen mit einem solchen mit $d_{K_2} = 111 \text{ mm}$ mit 35 Zähnen zusammen laufen?

3.2. Lösungen

1. Eine Bewegungsübertragung ist **formschlüssig**, wenn sie durch Ineinandergreifen zweckmäßig geformter Teile (Haken, Zähne, Klauen) geschieht. Dabei treten an den Berührungsstellen Druckkräfte auf. Die formschlüssige Übertragung ist **schlupffrei**. Eine Bewegungsübertragung ist **kraftschlüssig**, wenn sie durch Reibungskräfte, magnetische oder elektrische Kräfte, Kräfte strömender Flüssigkeiten oder Gase usw. geschieht. Es tritt ein mehr oder weniger großer **Schlupf** auf.

2.

	formschlüssig	kraftschlüssig
Stirnräder	X	
Strömungsgetriebe		X
Reibradgetriebe		X
Kettentriebe	X	
Riementriebe		X
elektrische Übertragung		X

3. Zugmittel sind a), b), d), e), f), g).
4. Die Reibung hindert die Verschiebung des Nehmerkolbens, wodurch sich Undichtigkeiten und Kompressibilität auswirken. Auch andere, den Nehmerkolben hemmende Kräfte haben die gleiche Wirkung.
5. Unmittelbare Berührung starrer Körper, formschlüssige Verbindung, Zweigelenkstab, Zugmittel; mit Einschränkungen Hydraulik, elektrische Nachführregelung
6. Stirnzahnräder, Kegelzahnräder, Kettentrieb, mit Einschränkungen Hydraulik, elektrische Nachführregelung

7. Ungleichförmige Drehung der Abtriebswelle. Abhilfe durch Hintereinanderschalten zweier gleicher Gelenke in Z-Beugung (Abschnitt 1.4.2.) oder W-Beugung (Abschnitt 1.6.1.)

8. Läßt man am Modell 57 die hintere Koppel (Strebe) weg, so tritt eine unsichere Stellung des Getriebes auf, wenn die Kurbeln und die Koppel in einer Linie stehen (ausprobieren!).

9. gar nicht

10. 1 Woche = 7 d = 7 · 86400 s = 604800 s

11. 12.21 – 10.35 → 1 h 46 min. = 3600s + 46 · 60s = 6360s

12. $m = \frac{d_K}{z + 2} = \frac{328 \text{ mm}}{80 + 2} = 4 \text{ mm}$

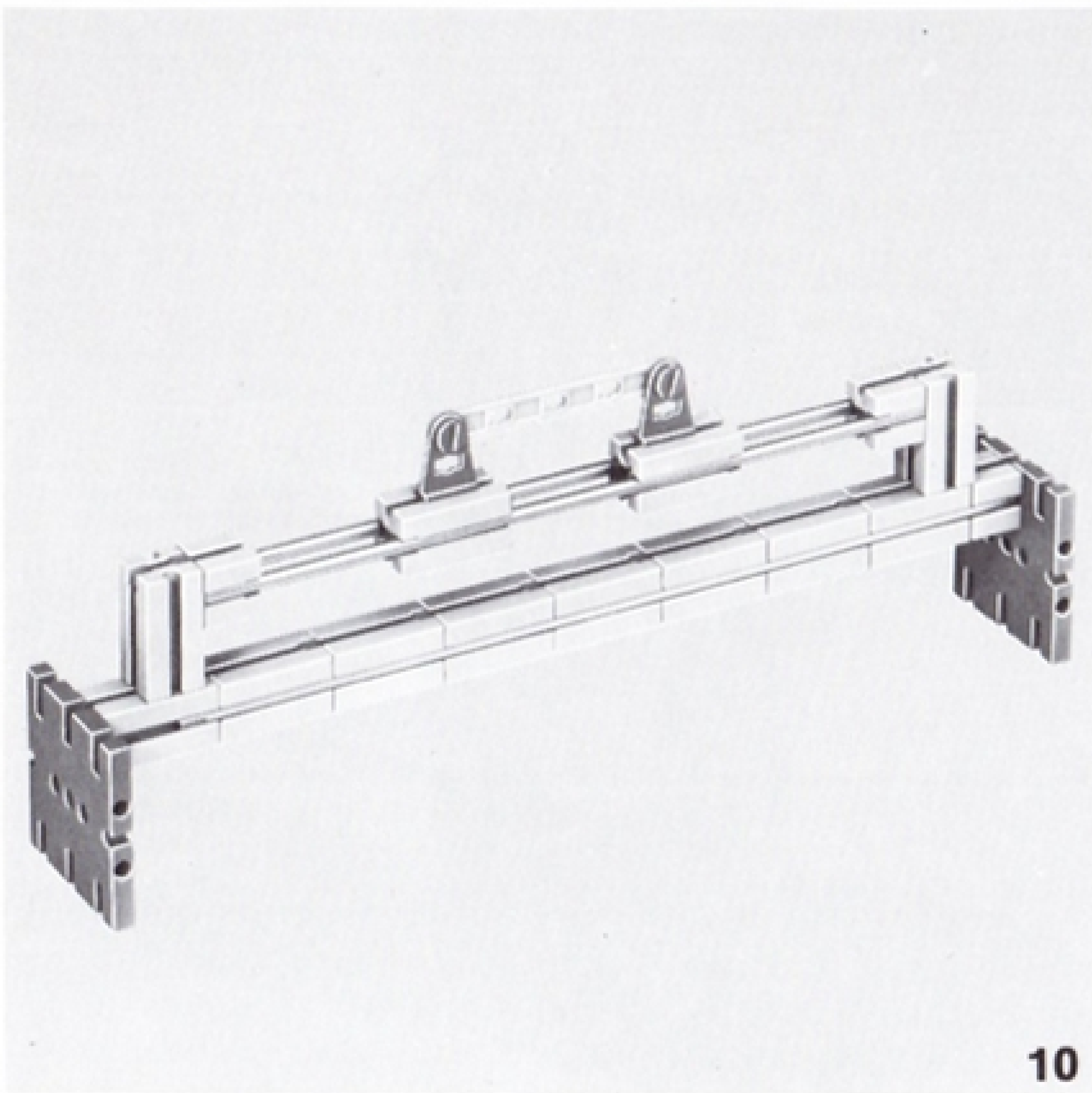
13. $d_F = d_o - 2,4 m = m \cdot z - 2,4 m = (z - 2,4) m = (z - 2,4) \frac{t}{\pi} = (45 - 2,4) \frac{3 \text{ mm}}{\pi} = 40,7 \text{ mm}$

14. $m_1 = \frac{105 \text{ mm}}{40 + 2} = 2,5 \text{ mm}$ $m_2 = \frac{111 \text{ mm}}{35 + 2} = 3 \text{ mm}$

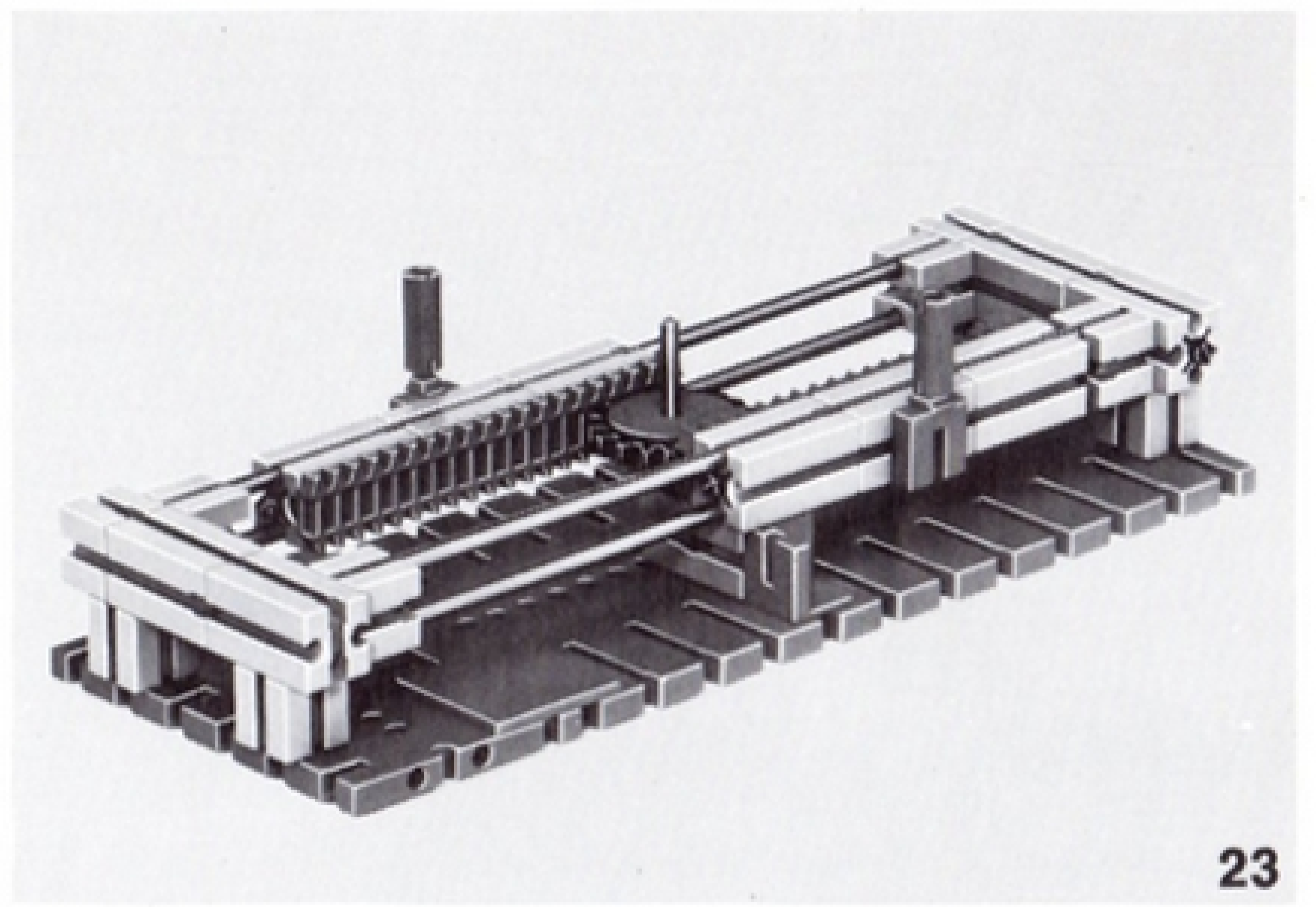
Beide Räder haben ungleichen Modul und können nicht zusammen laufen.

4. Literatur

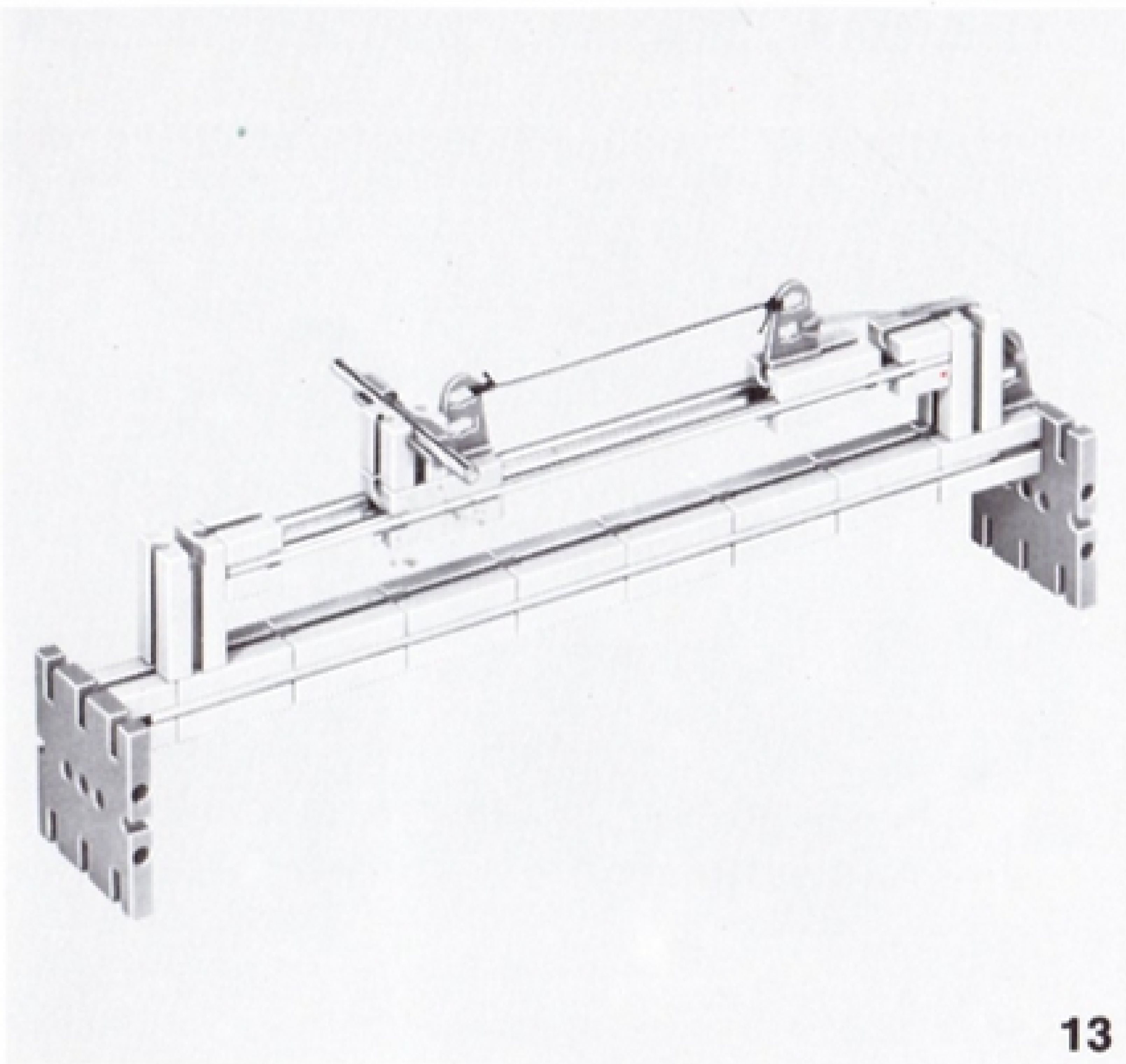
- [1.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 3, Seite 45
- [2.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 4 – 5, Seite 23
- [3.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 3, Seite 42
- [4.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 2, Seite 4ff.
- [5.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 2, Seite 12
- [6.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 3, Seite 74
- [7.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 5, Seite 18ff.
- [8.] Das große ADAC Autobuch, 1976 Verlag DAS BESTE, Stuttgart
- [9.] Bosch, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 18. Aufl. 1976, Seite 307ff.
- [10.] fischertechnik Experimentier- und Modellbuch Band 2 – 3, Seite 84



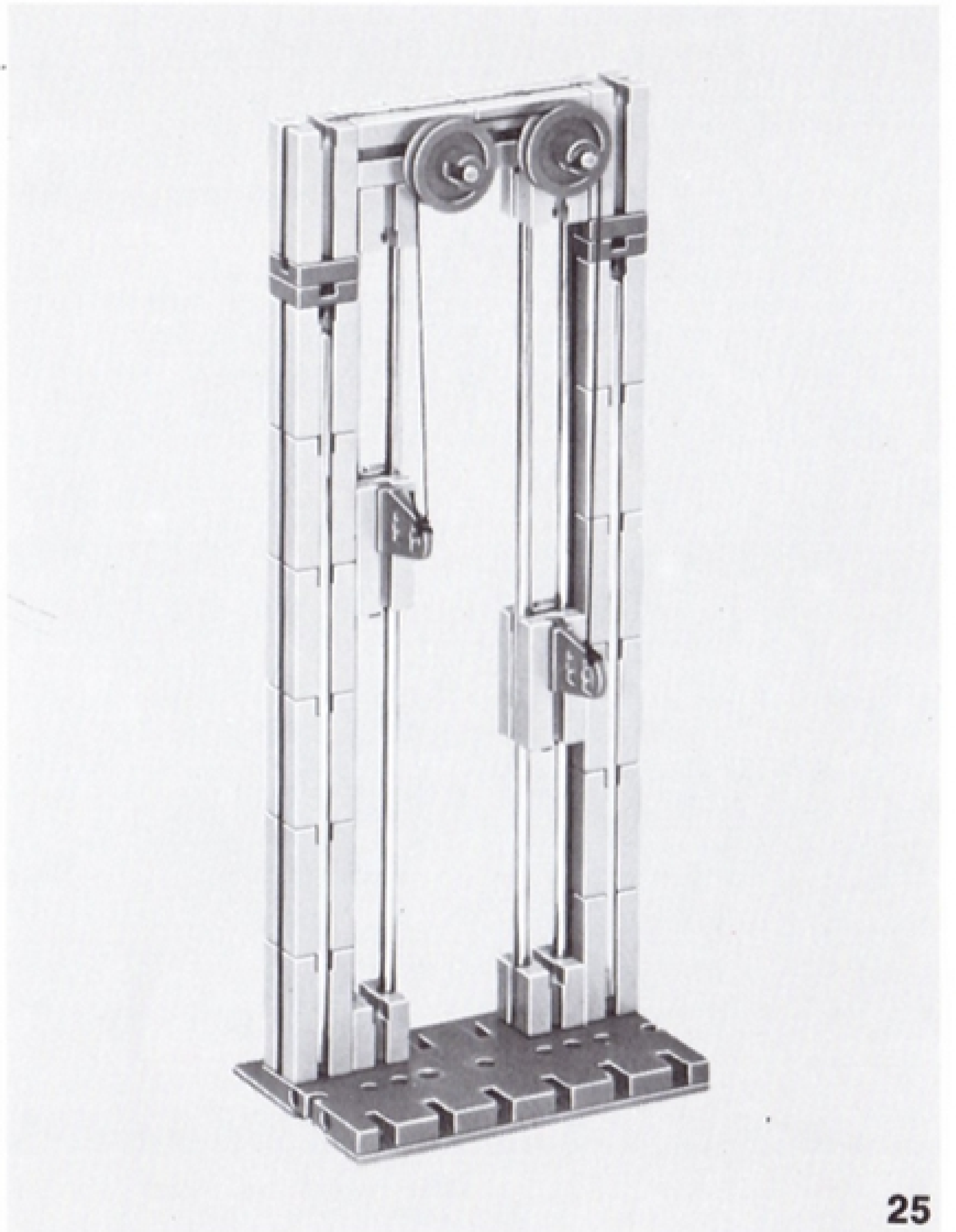
10



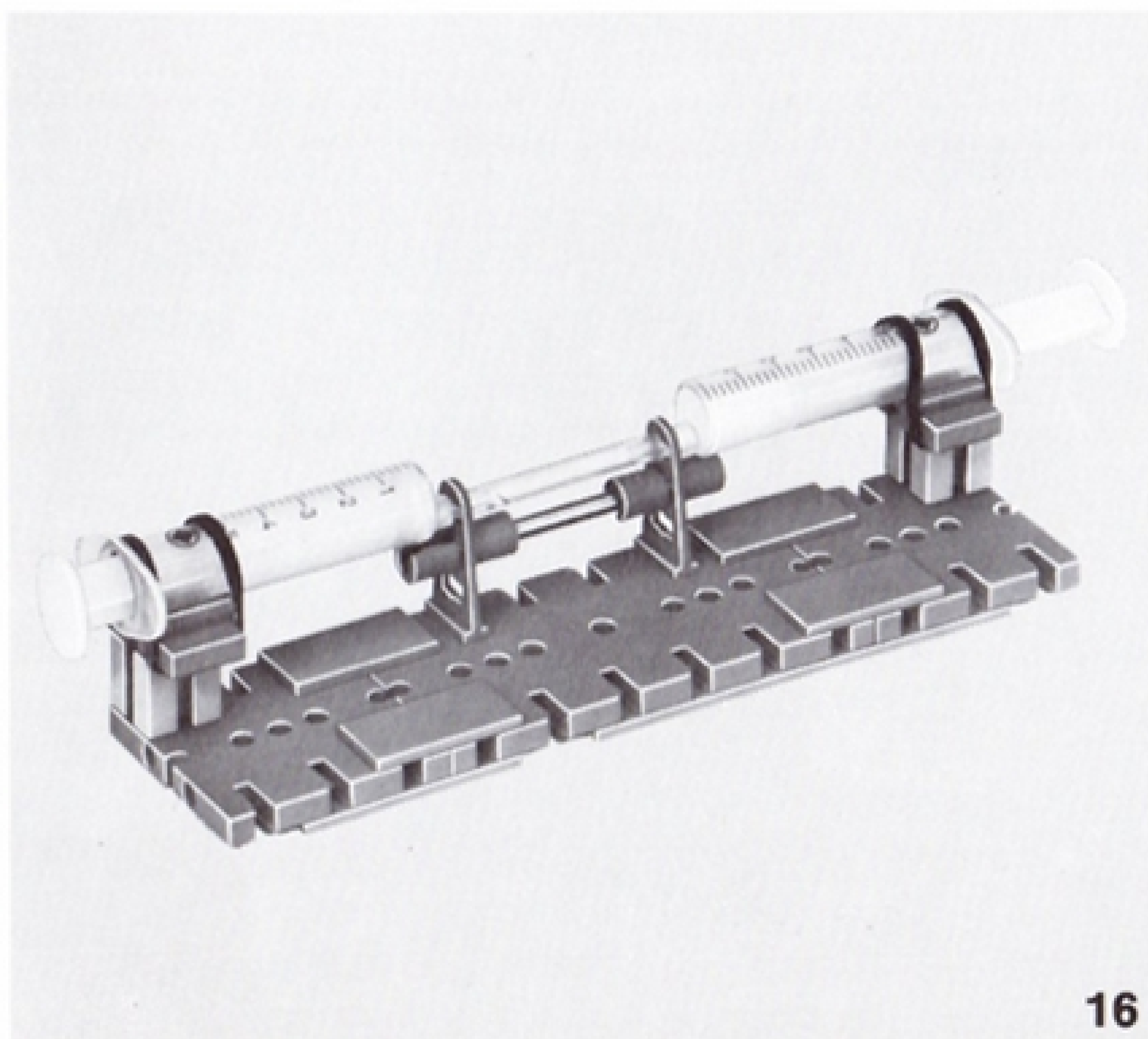
23



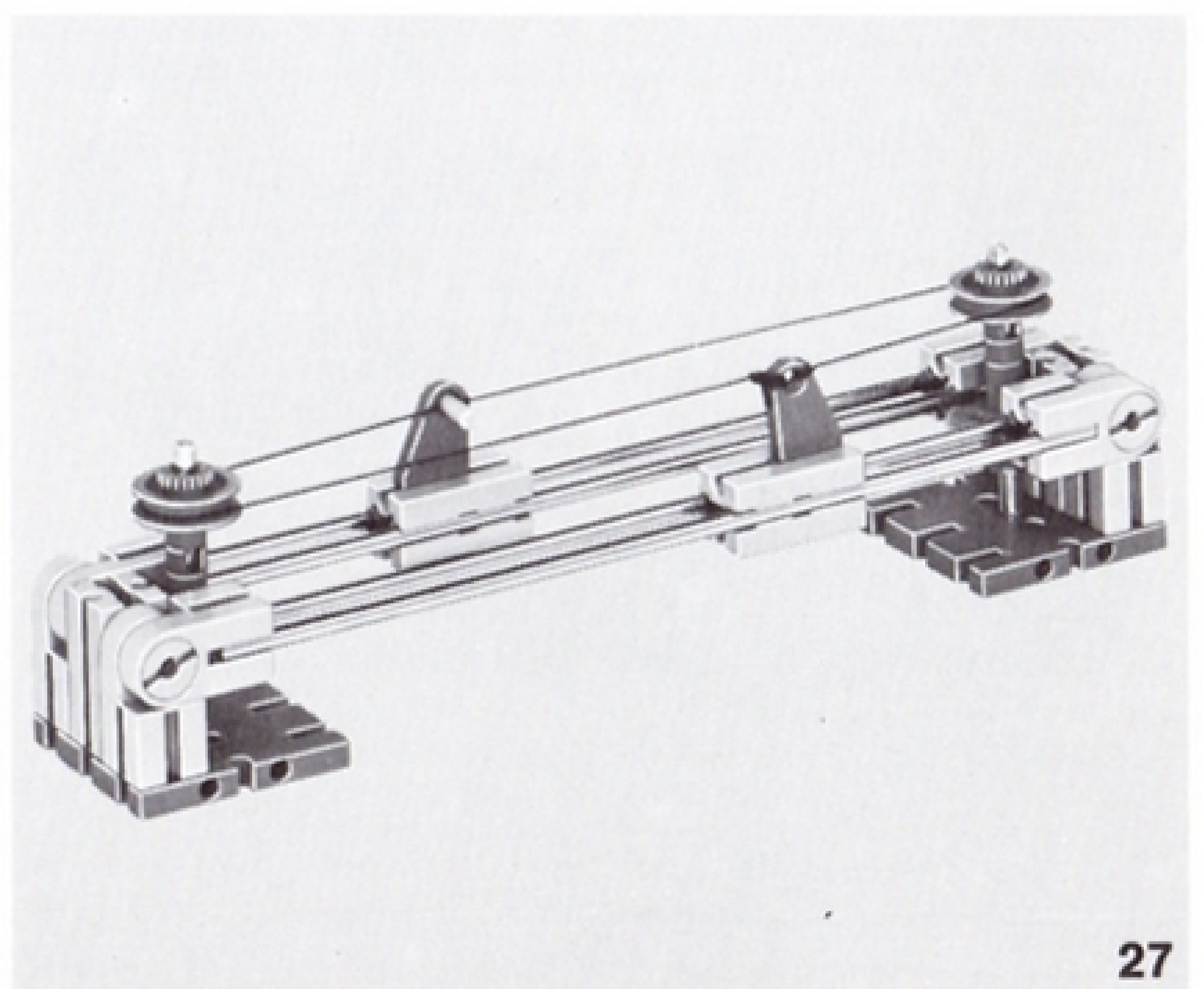
13



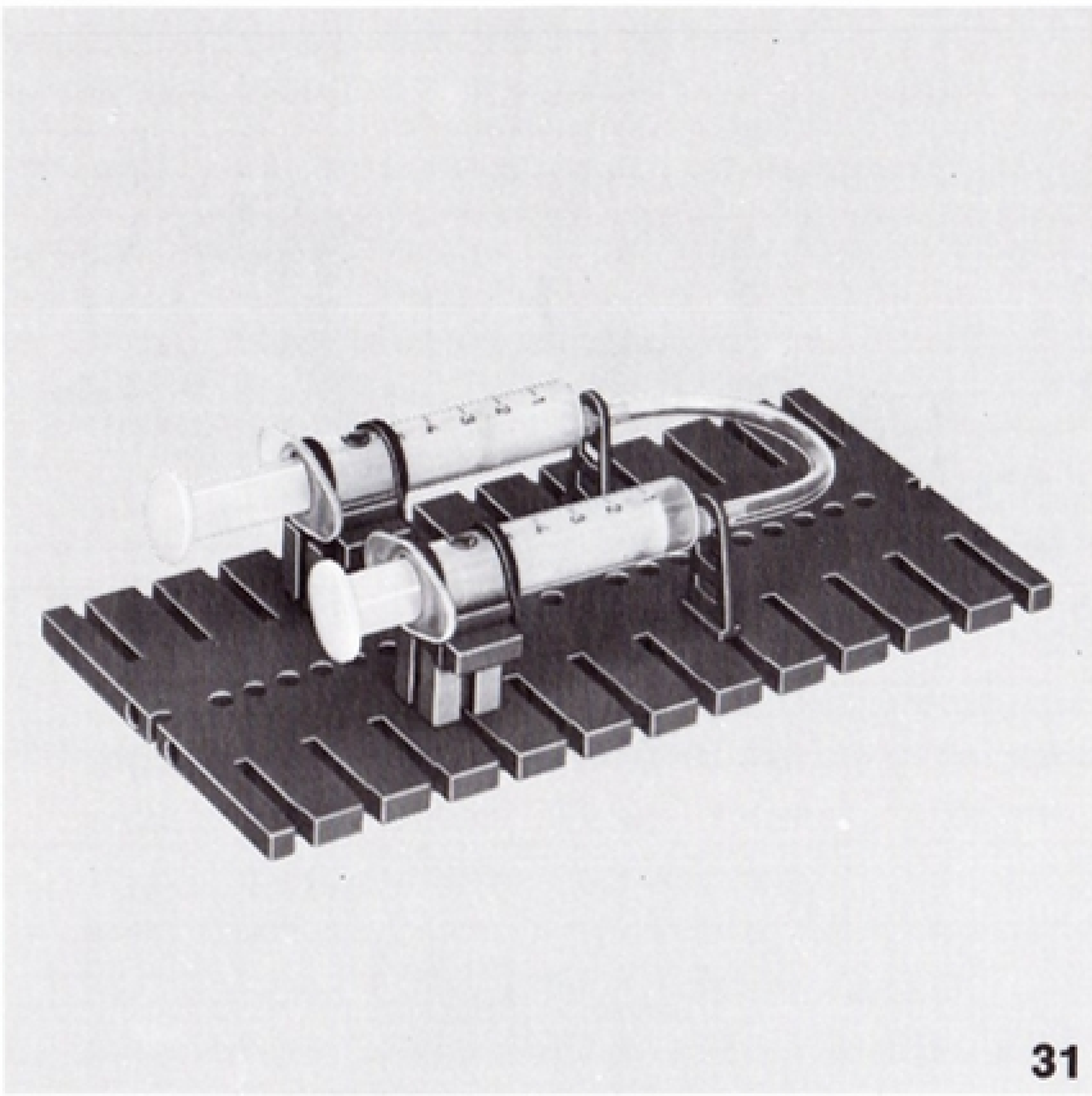
25



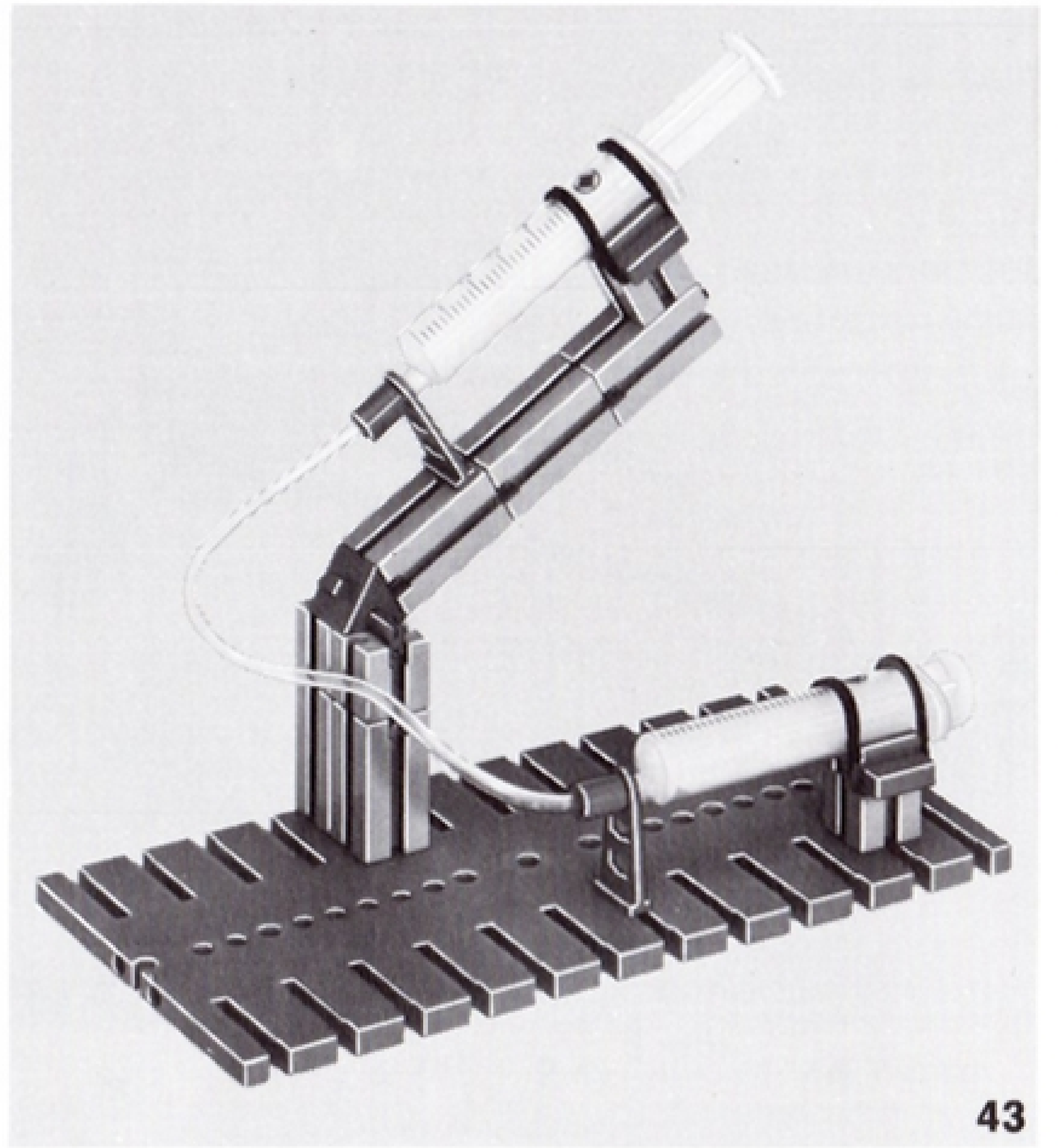
16



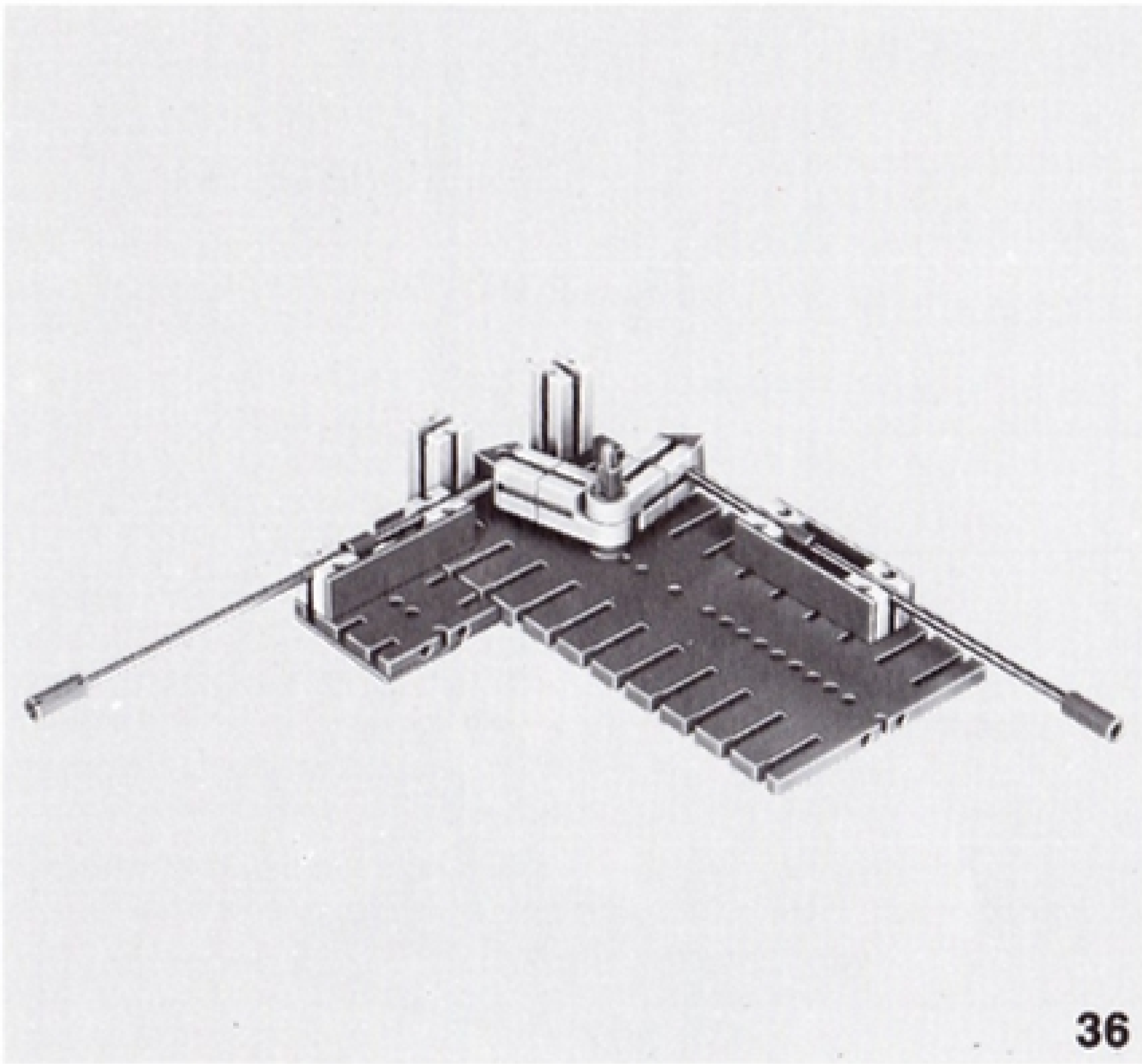
27



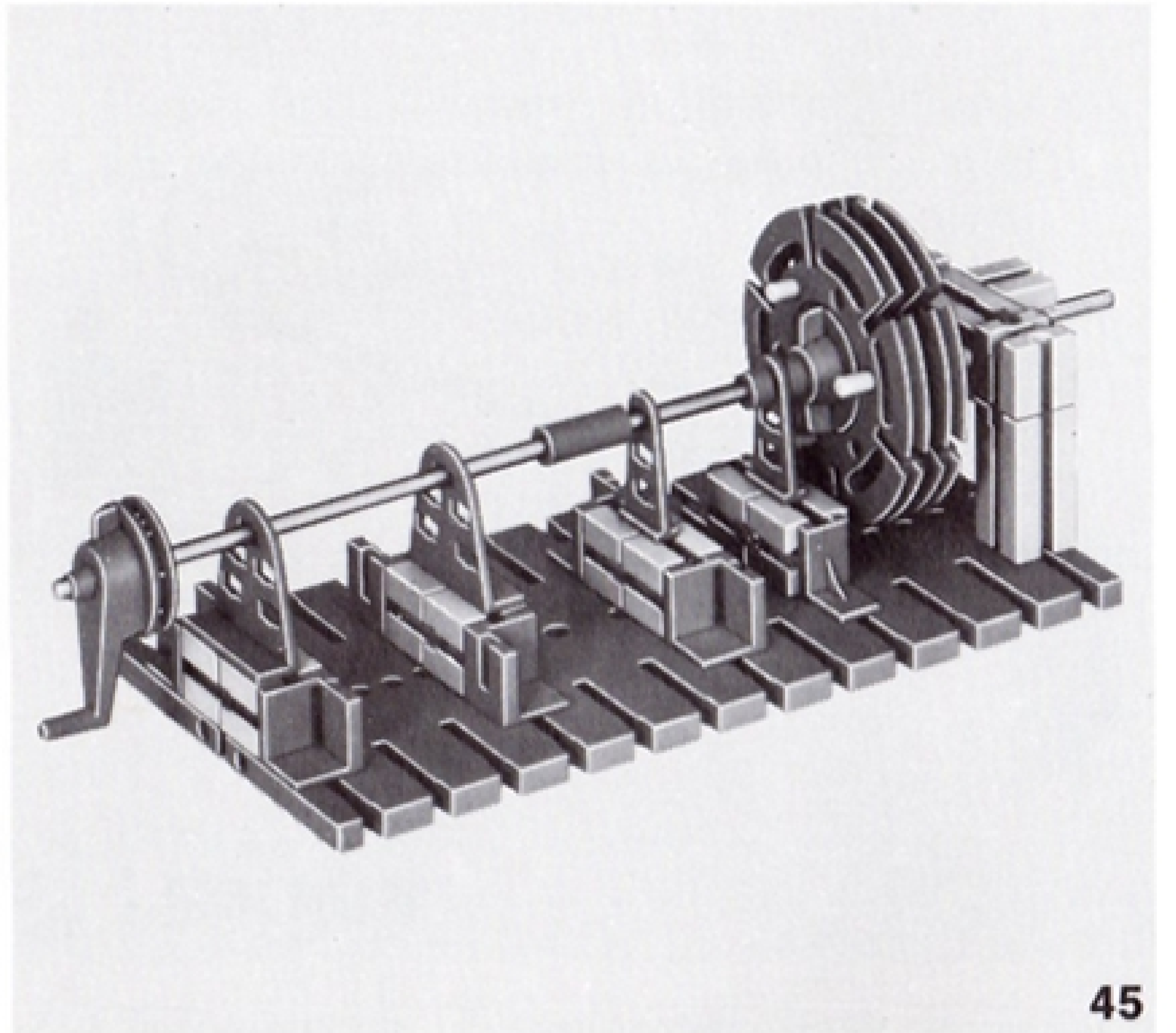
31



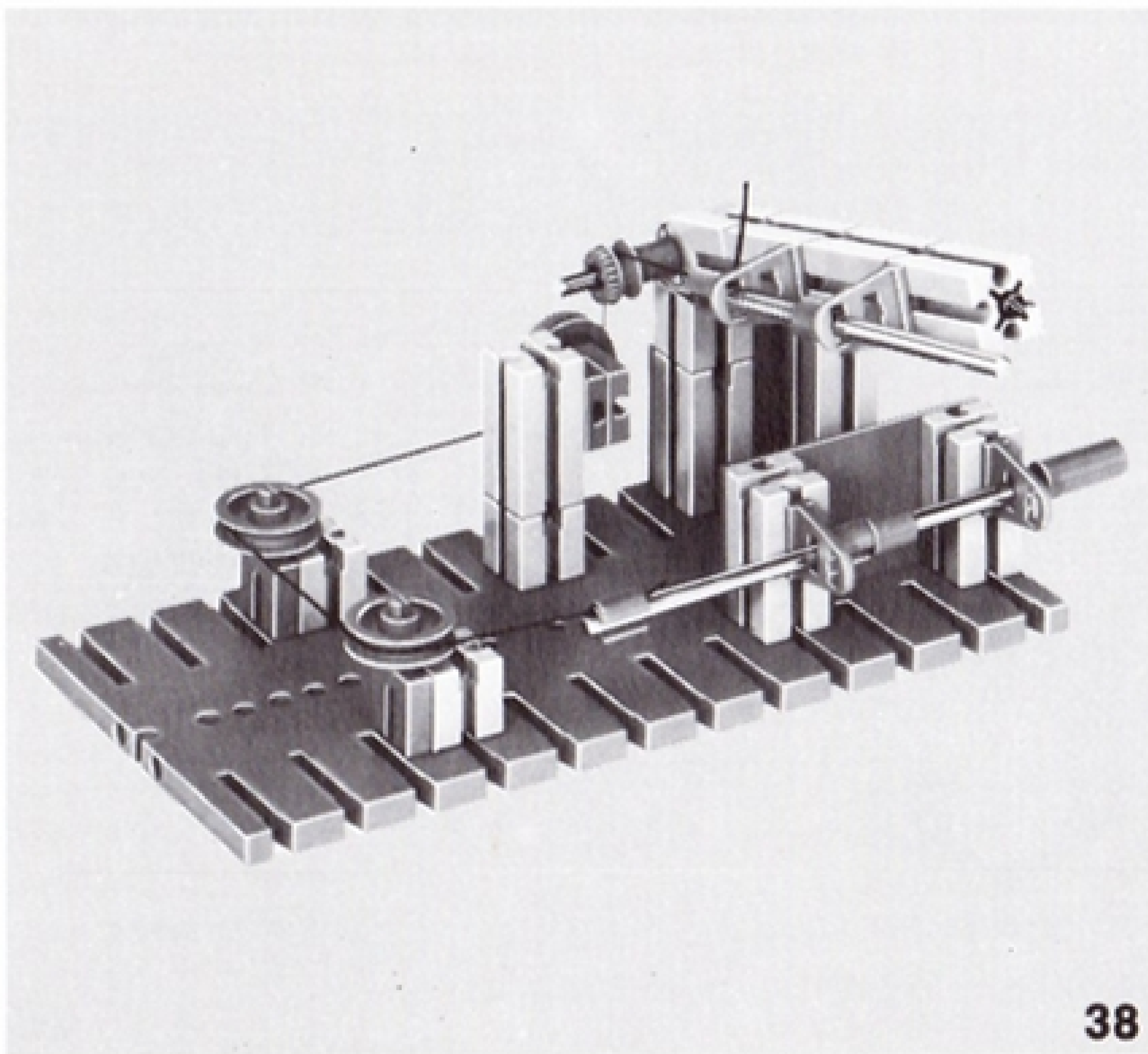
43



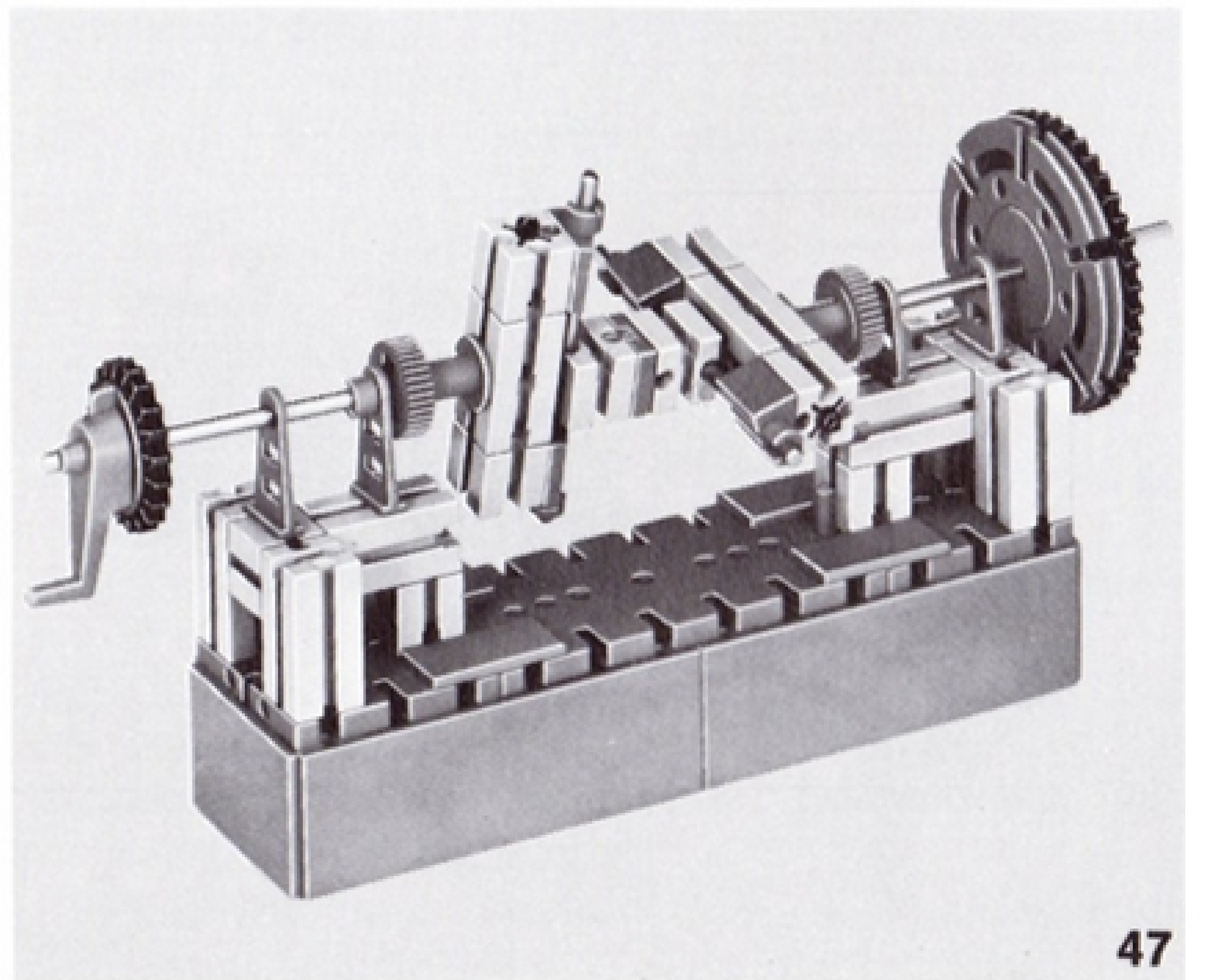
36



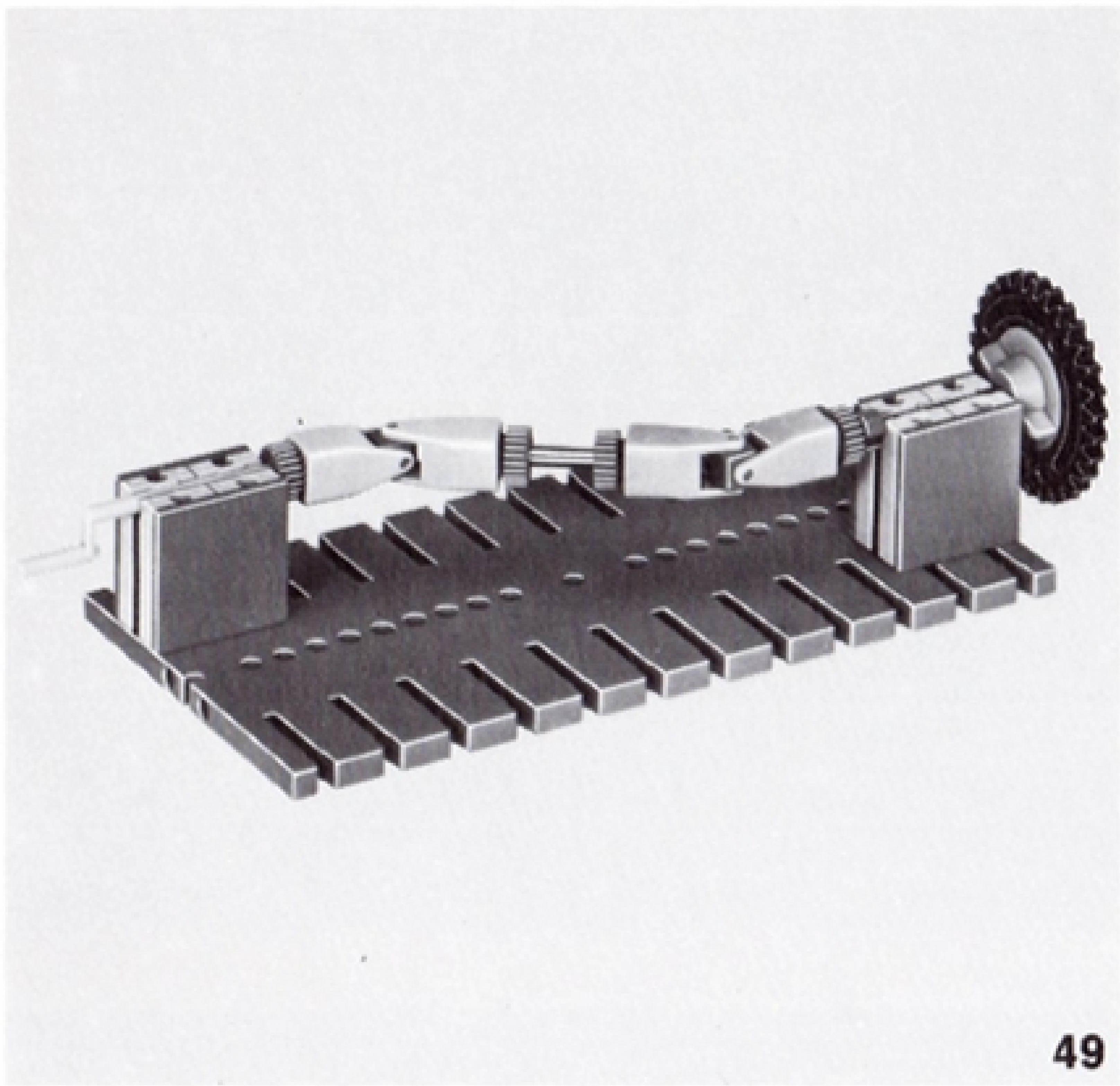
45



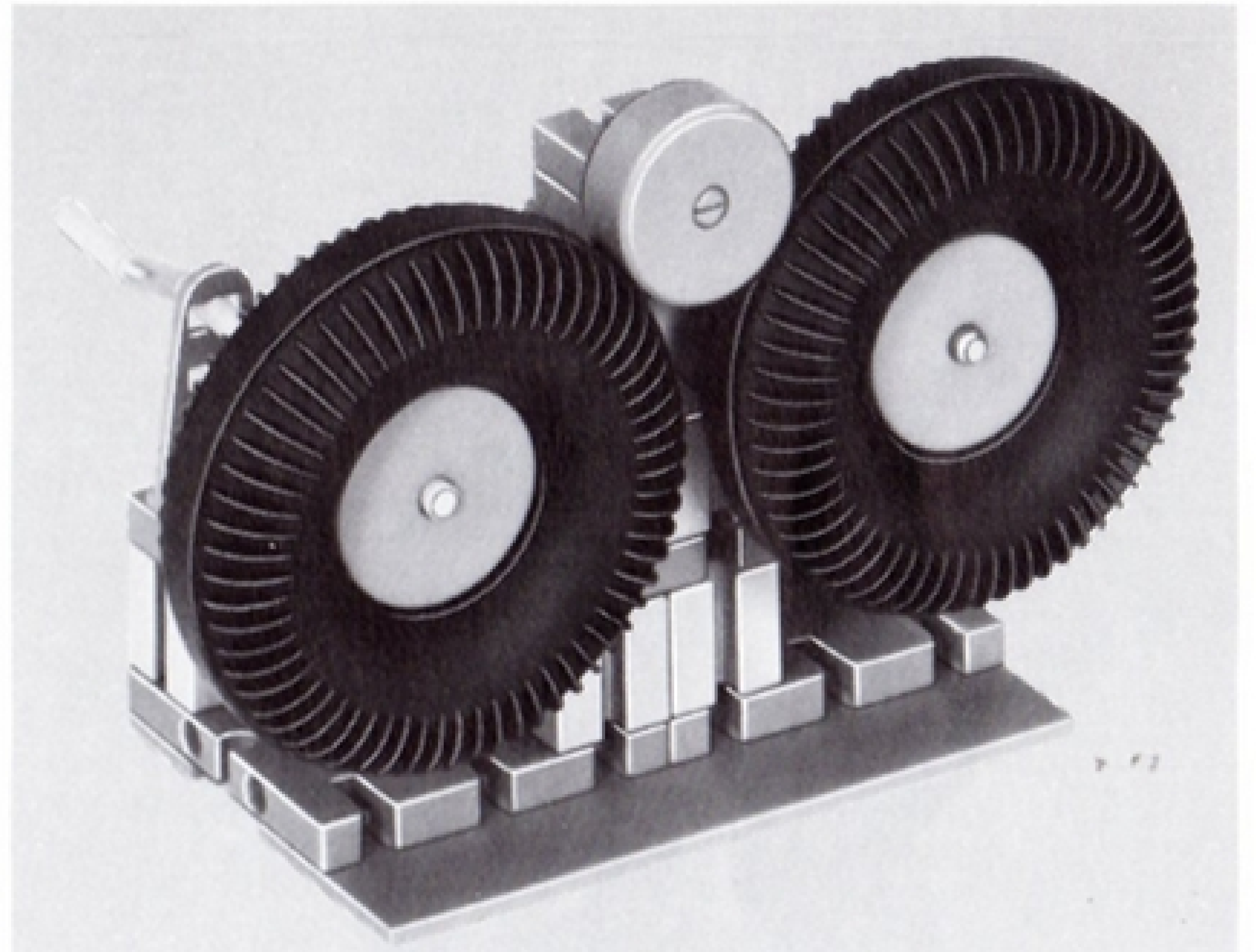
38



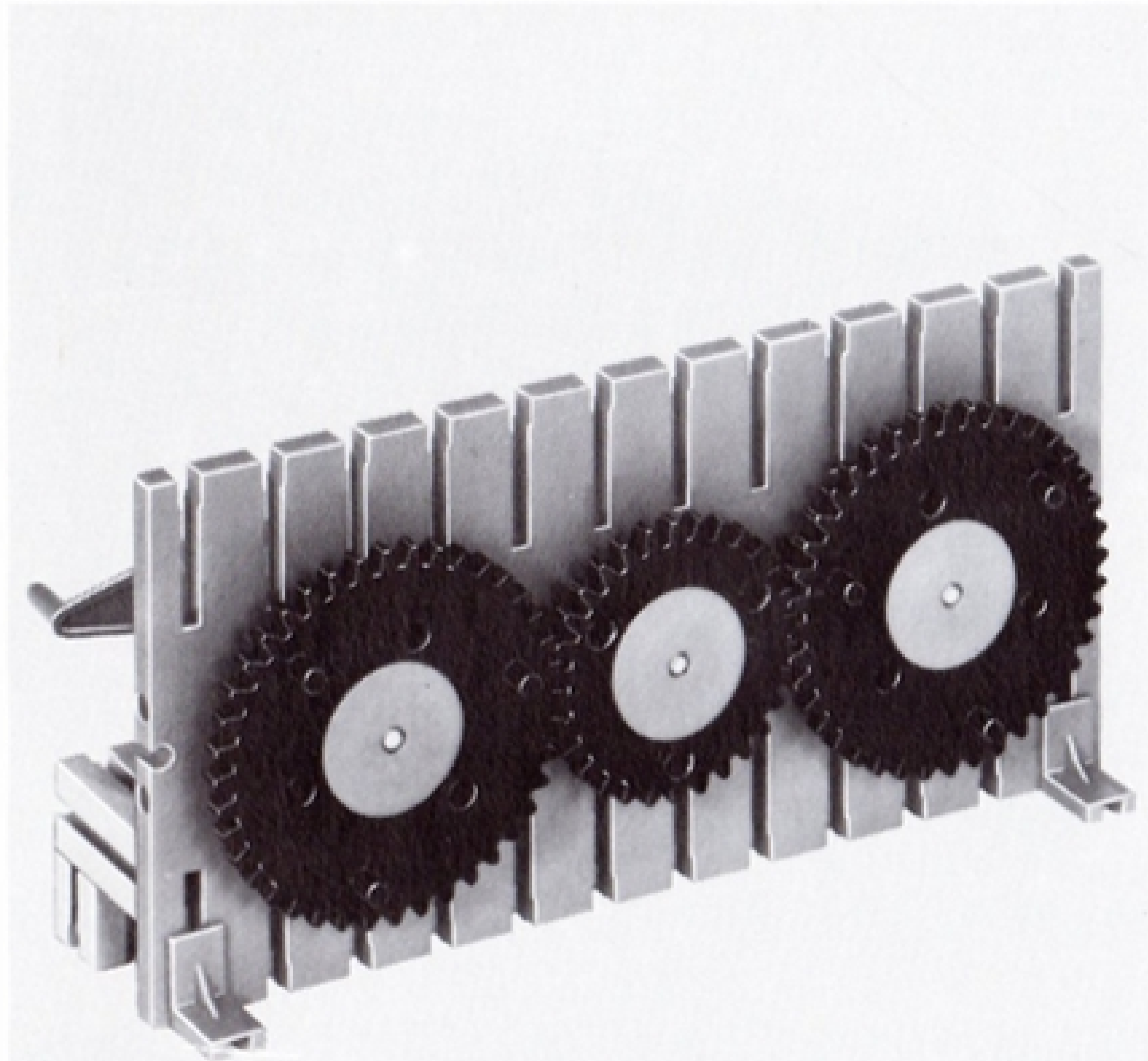
47



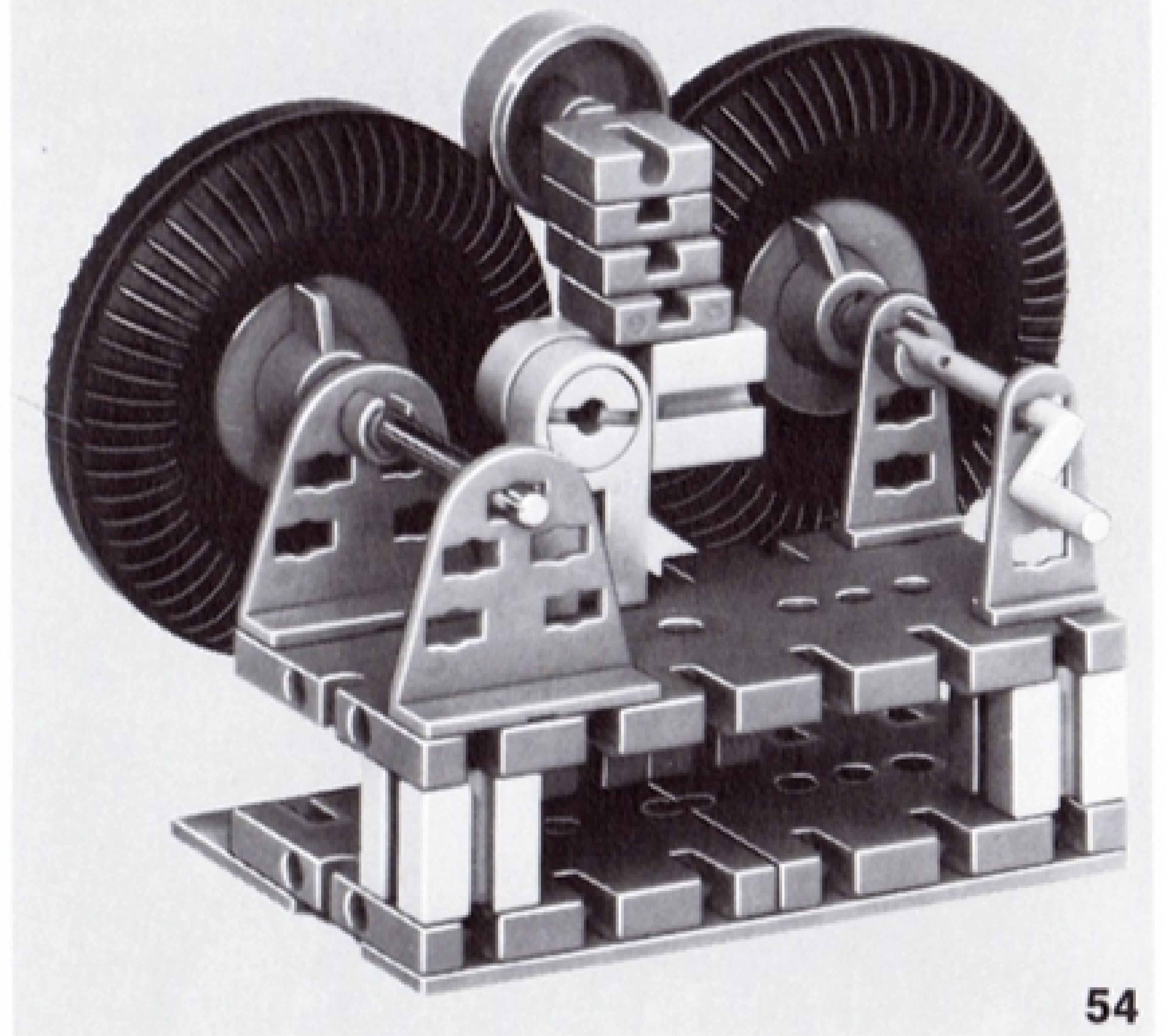
49



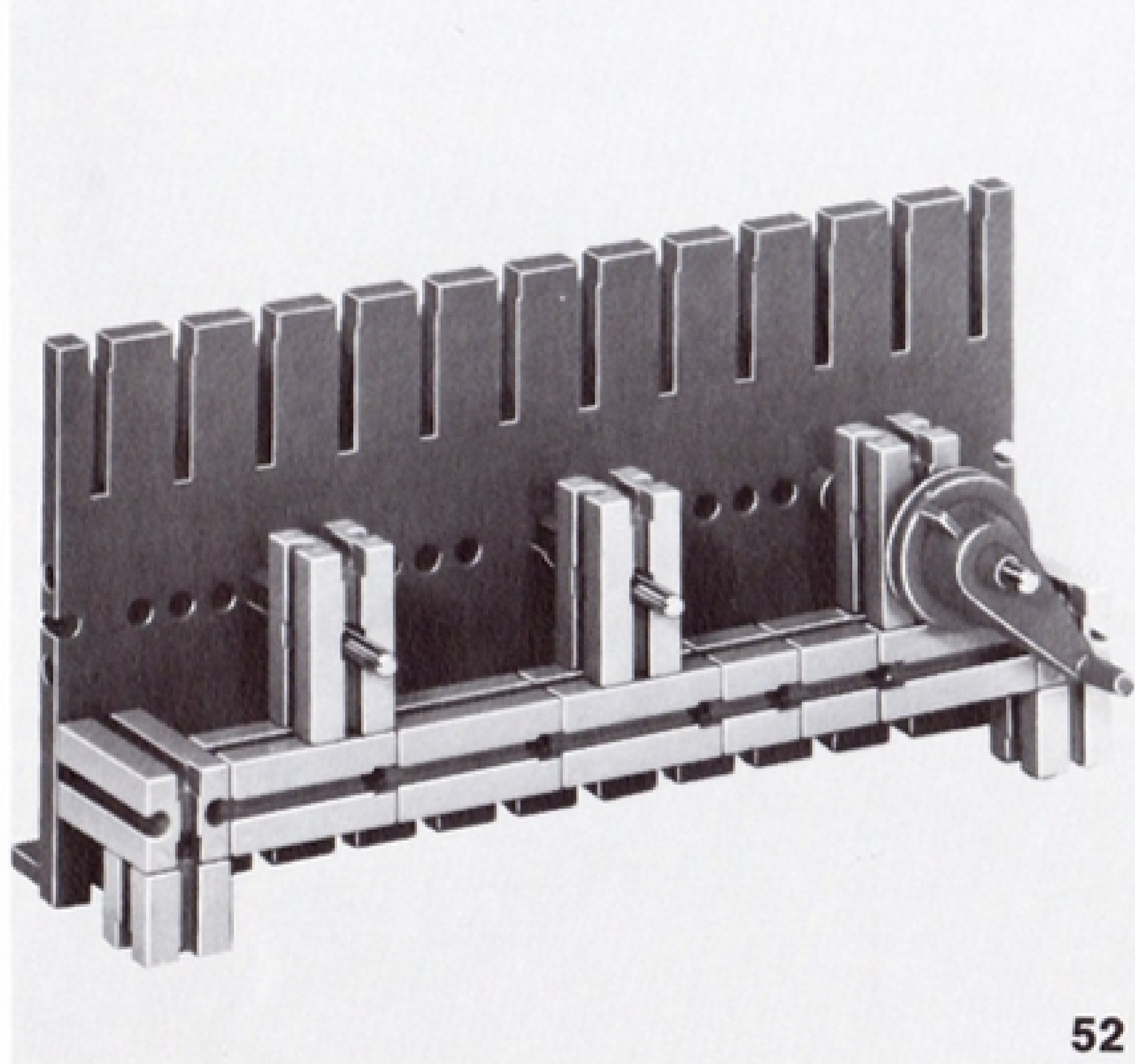
54



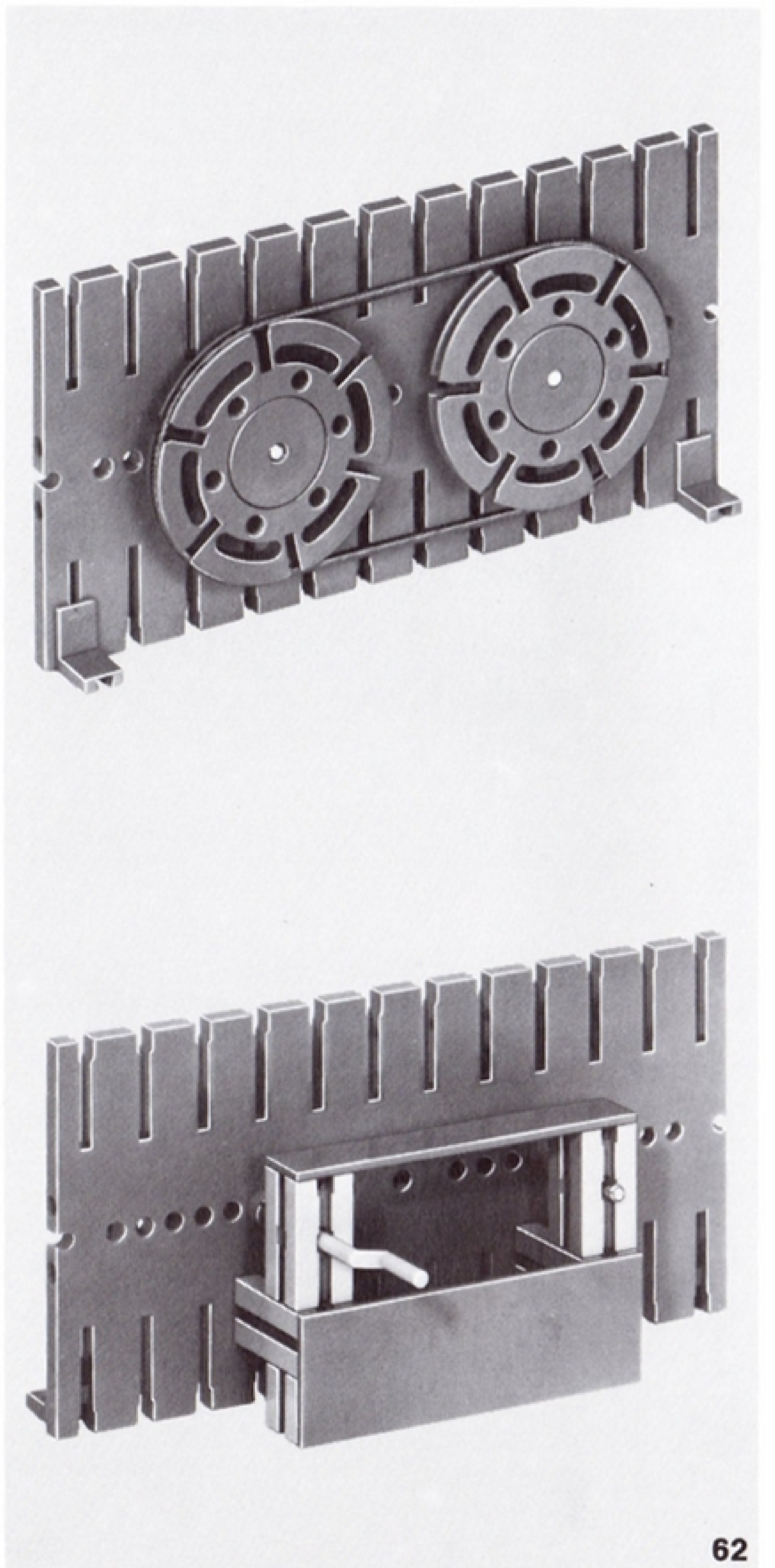
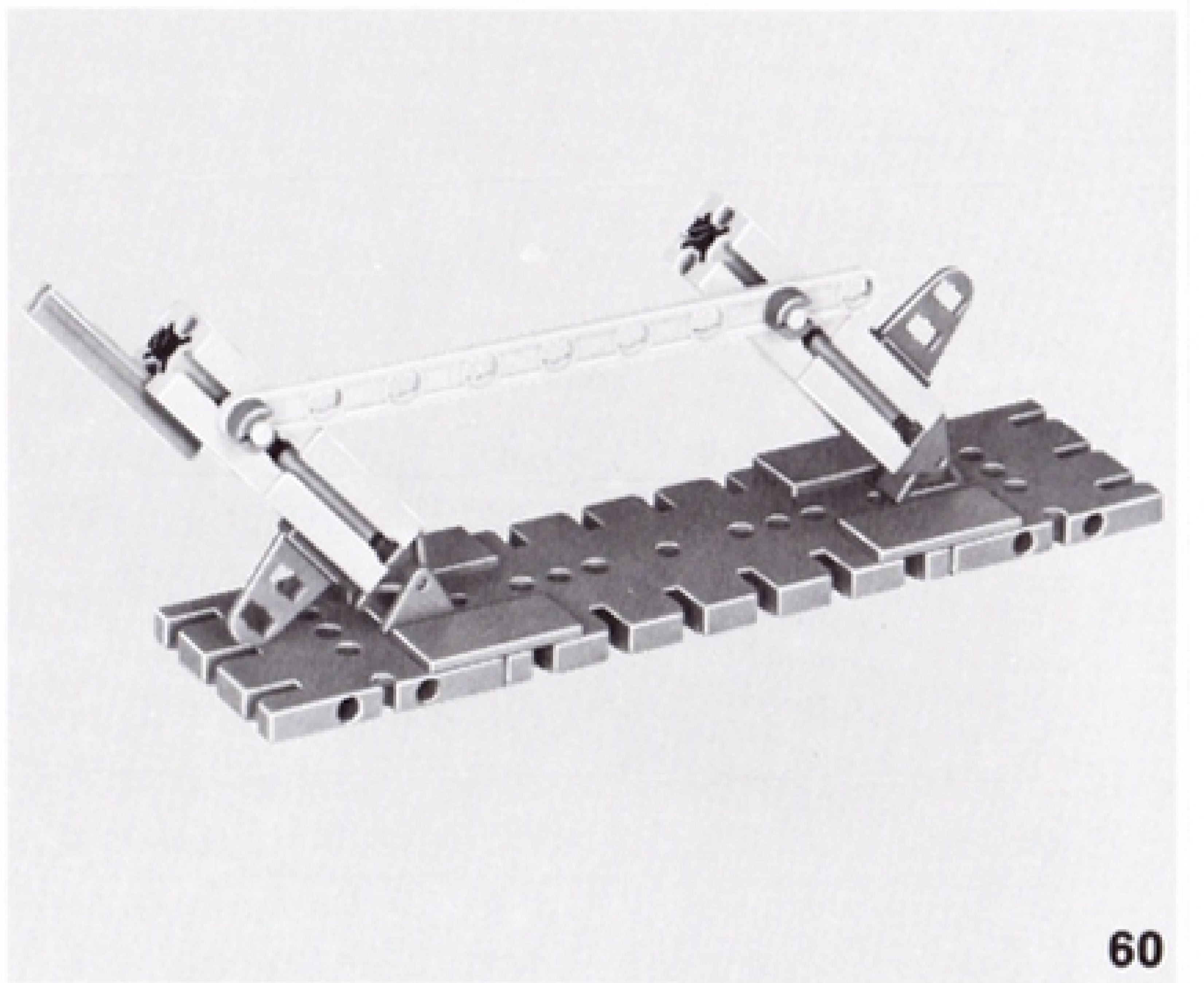
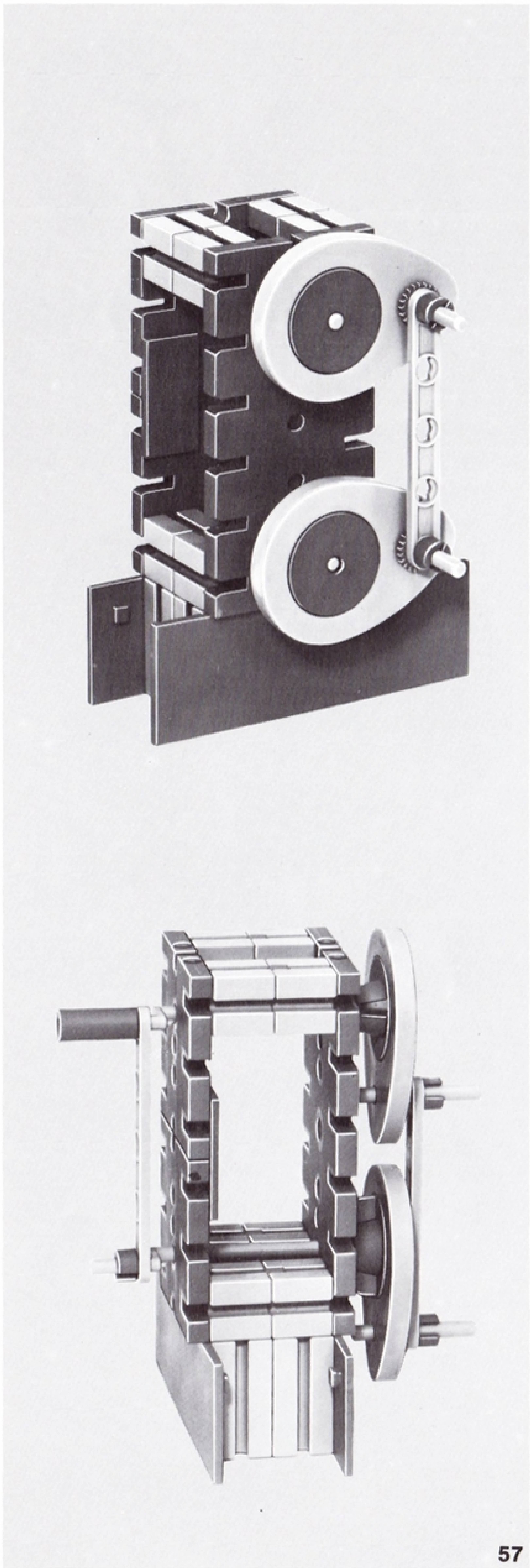
52

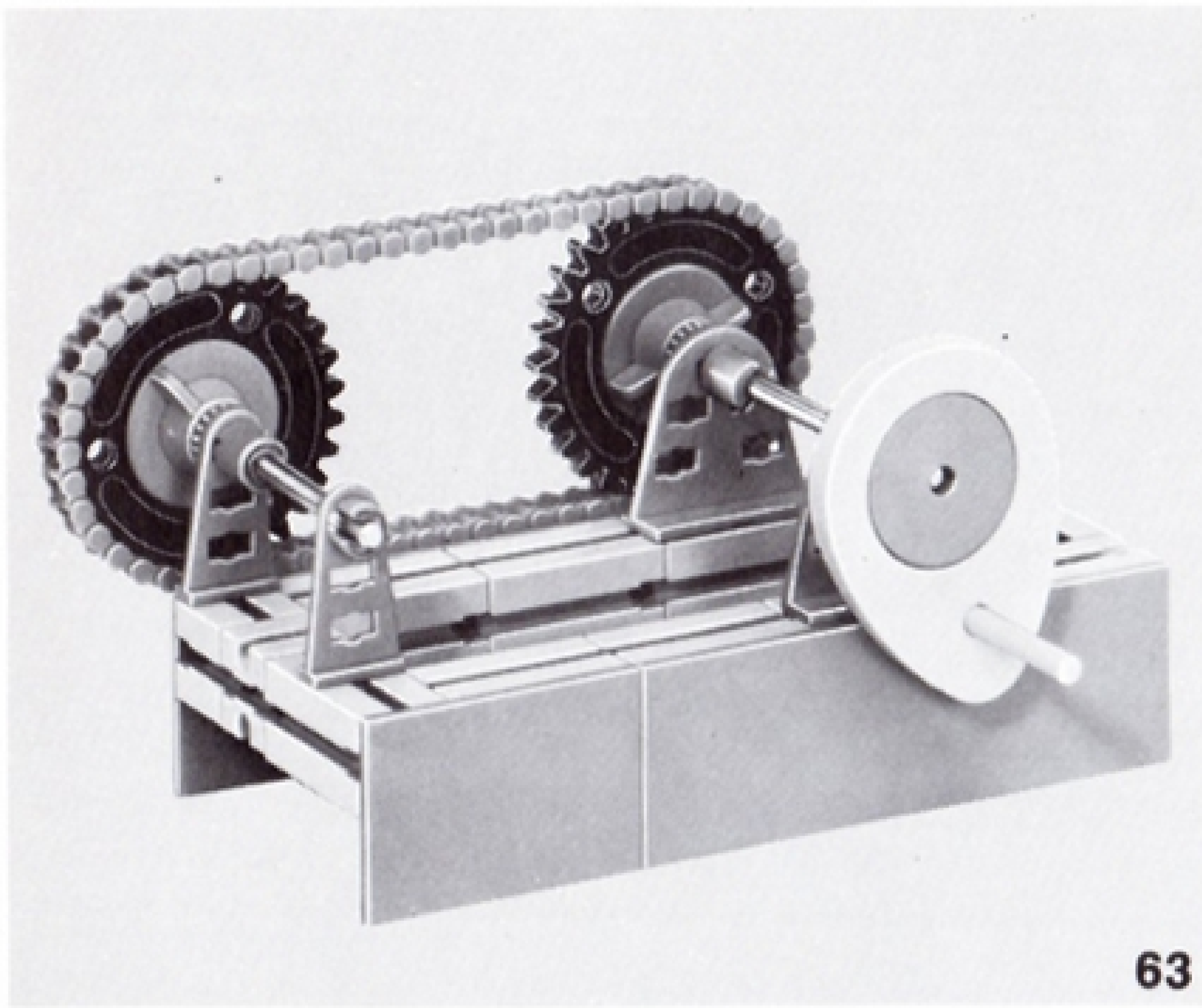


58

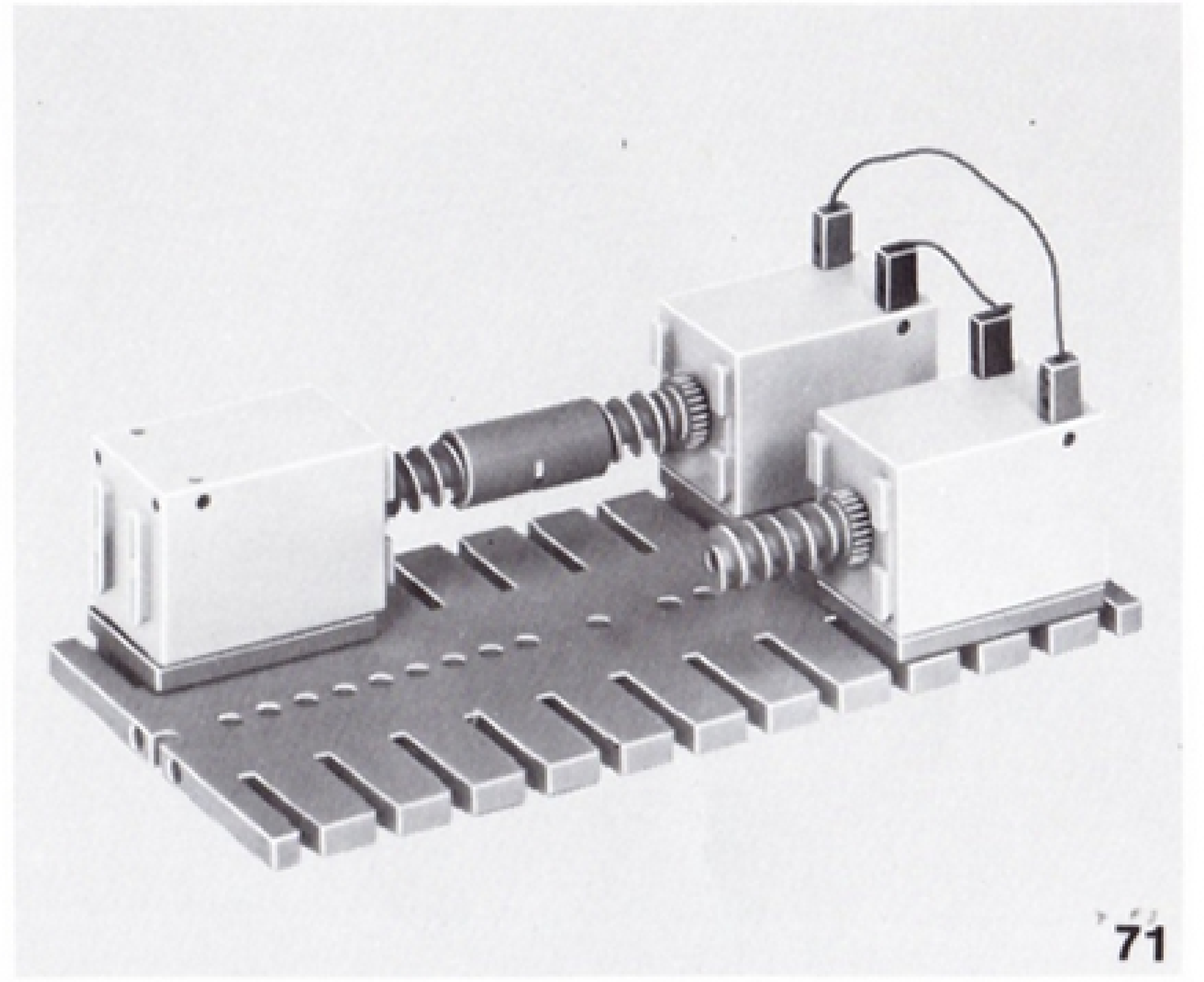


33

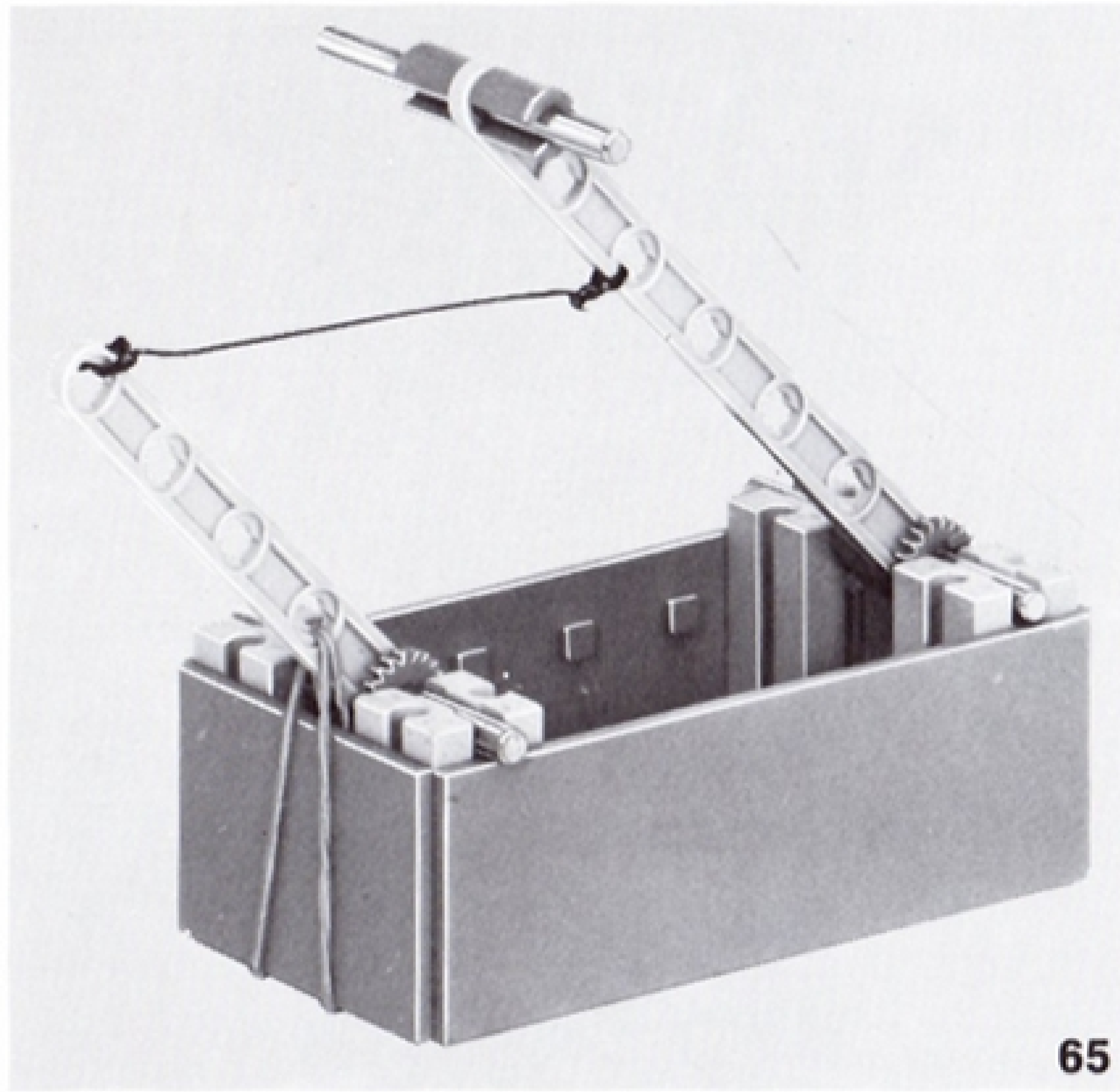




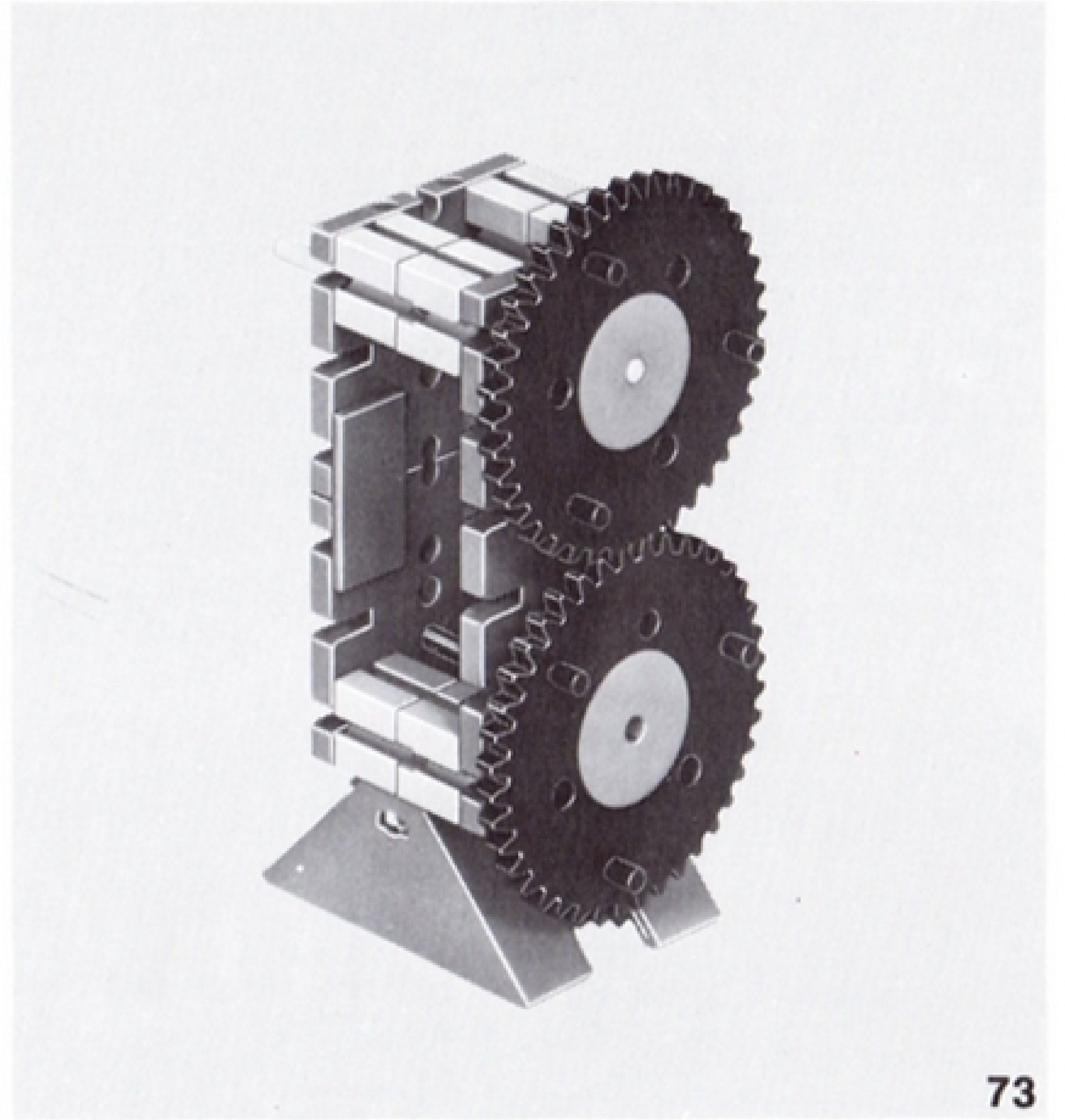
63



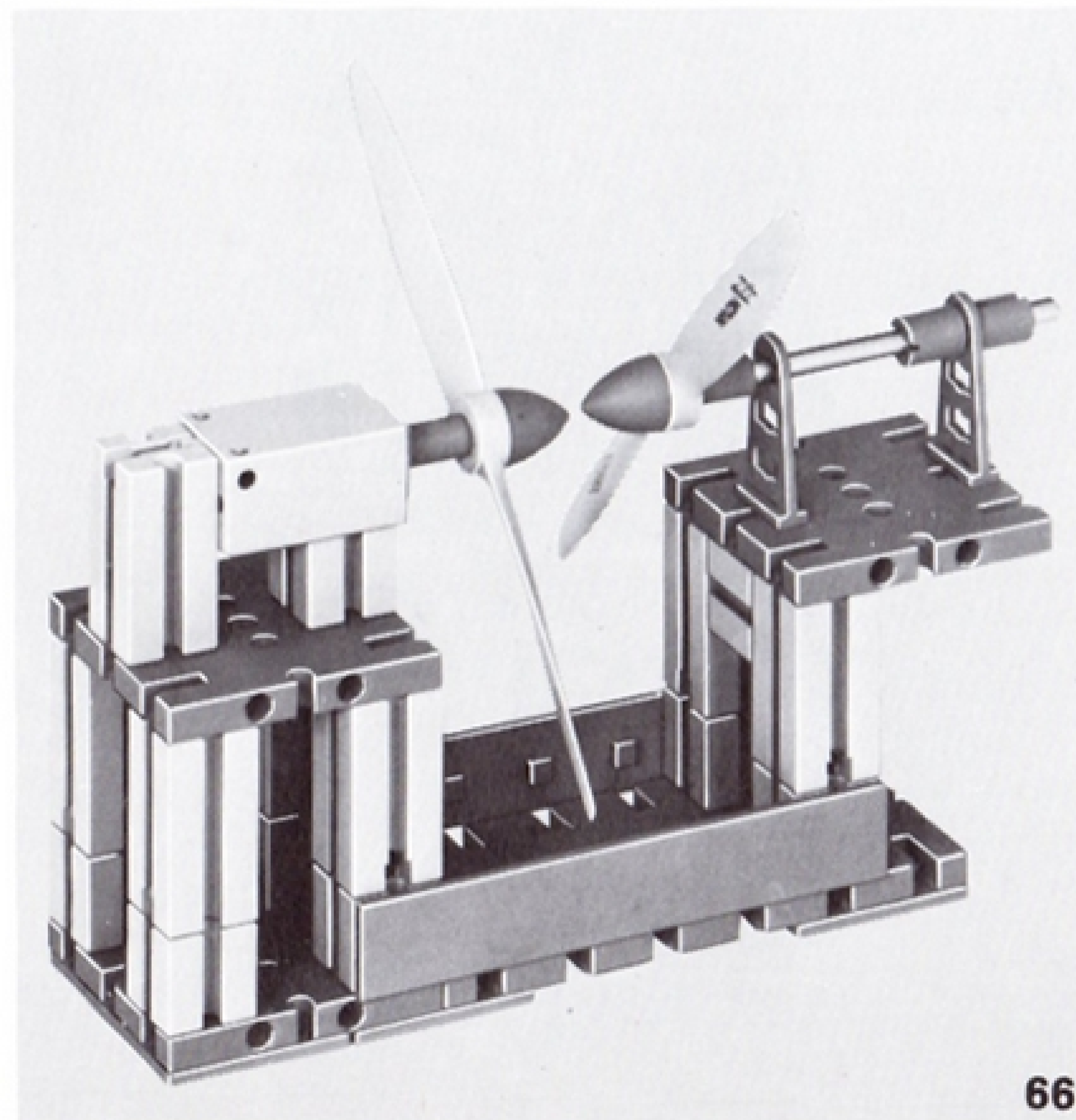
71



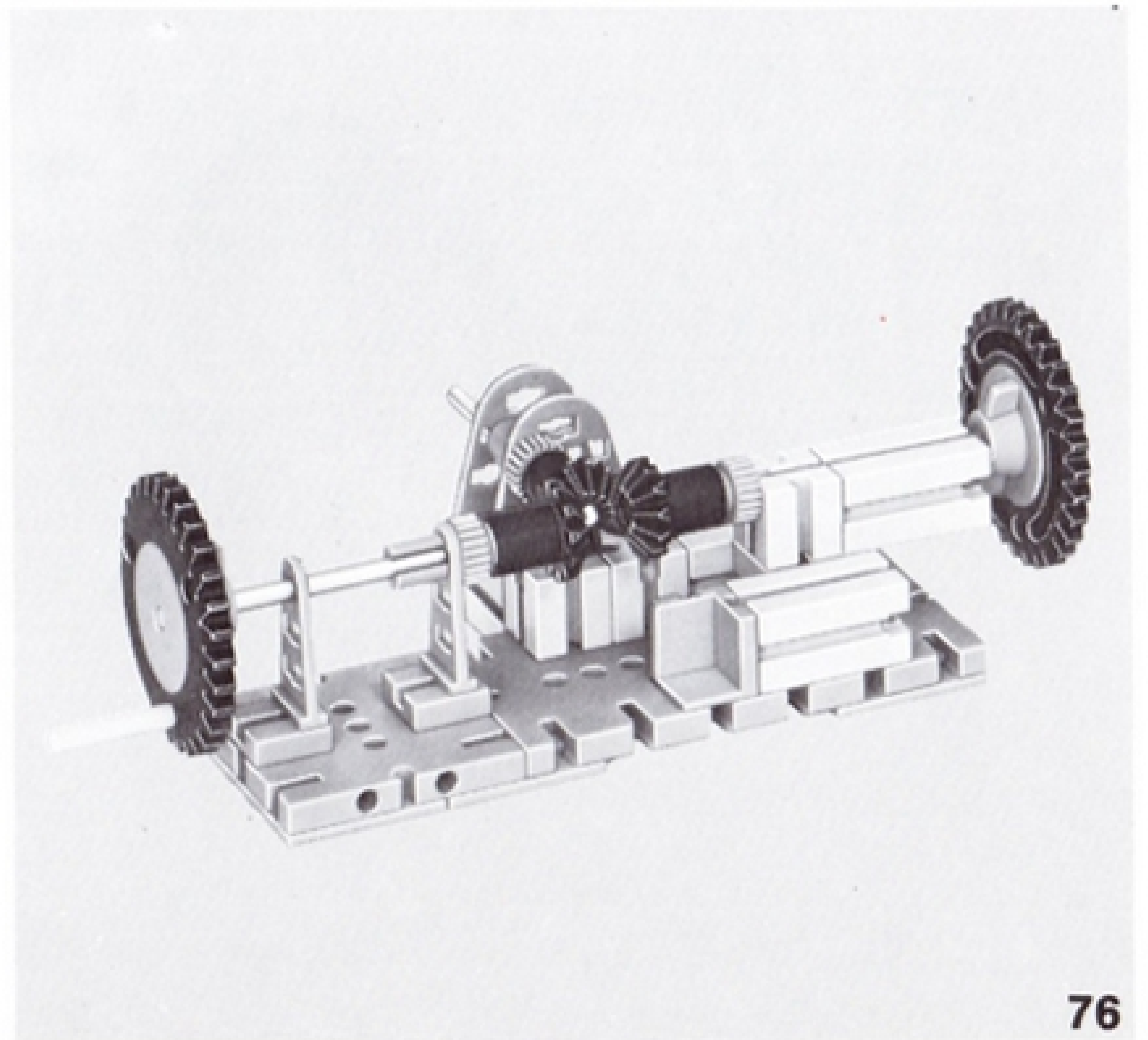
65



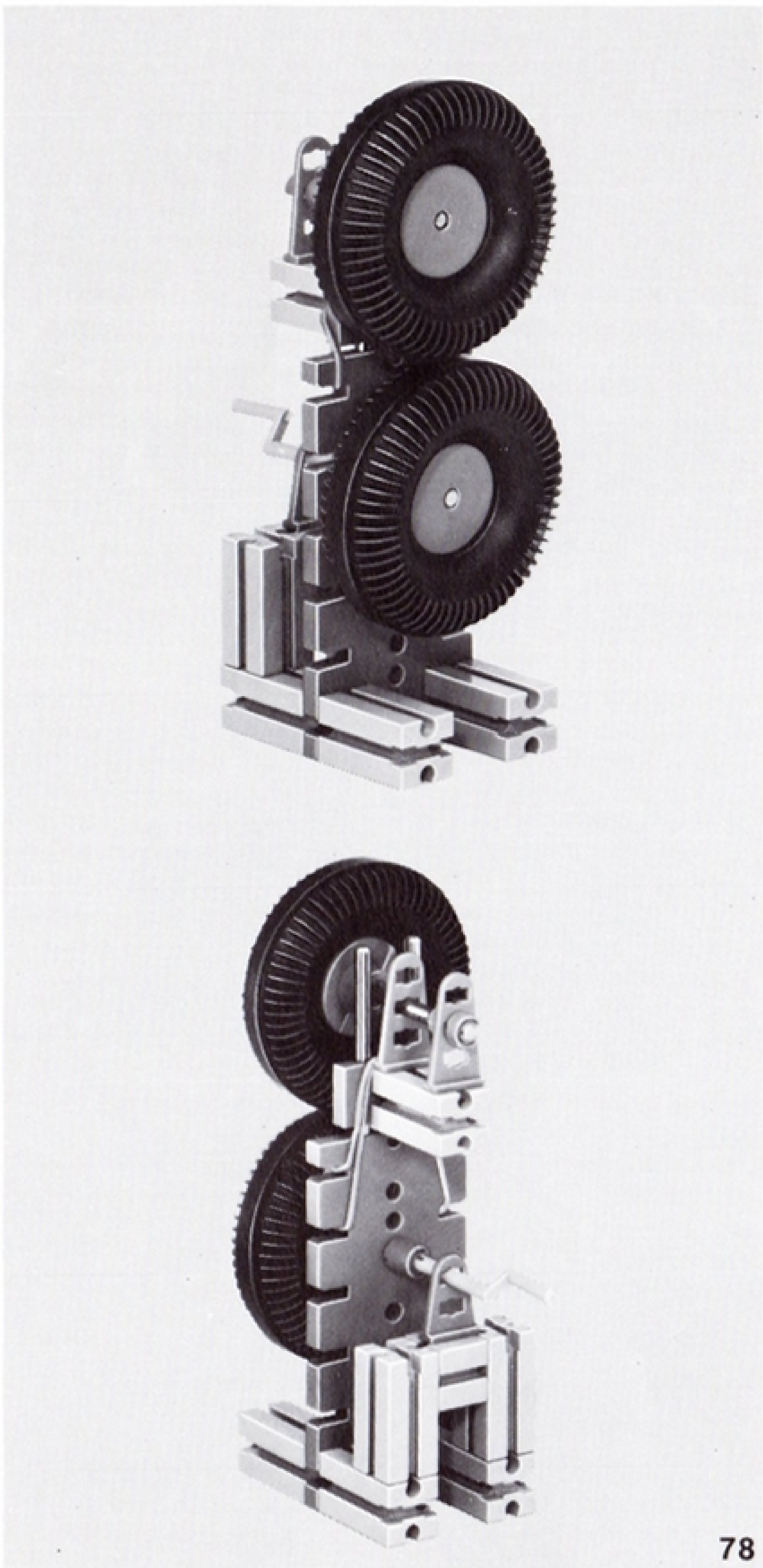
73



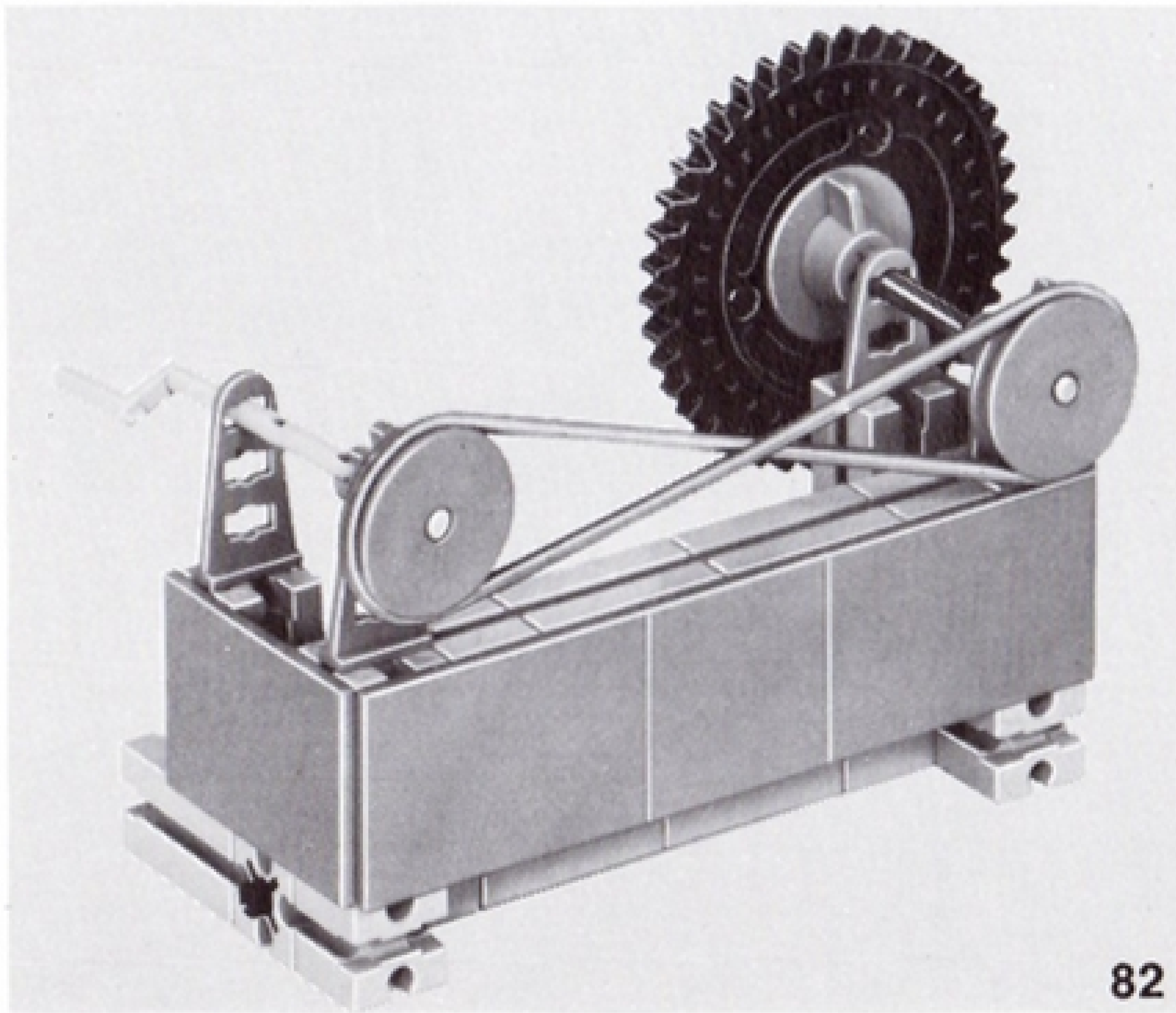
66



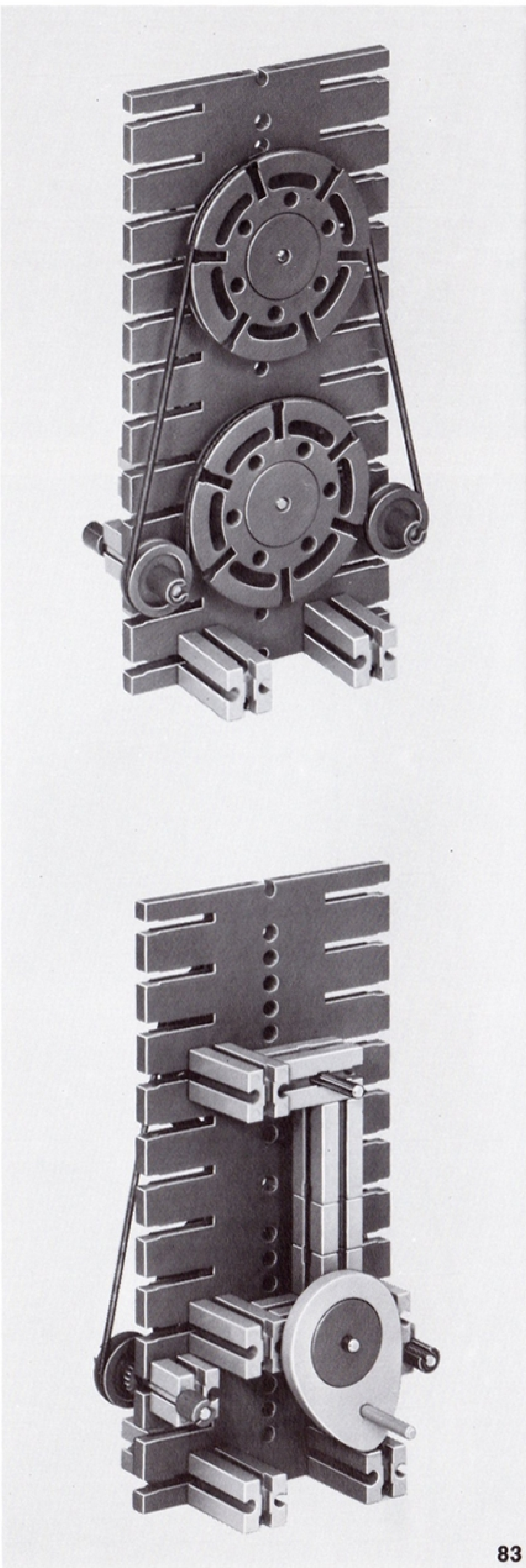
76



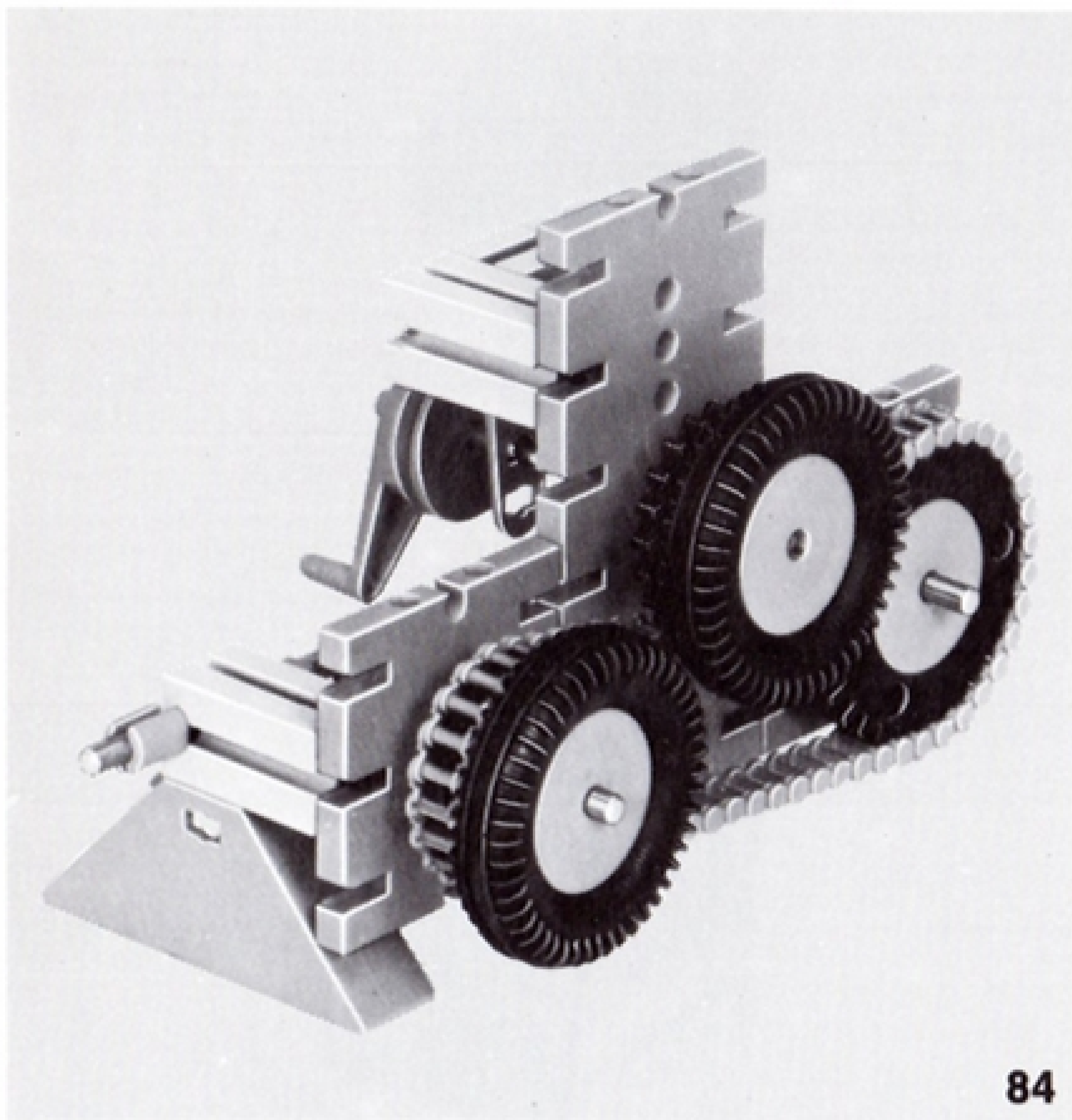
78



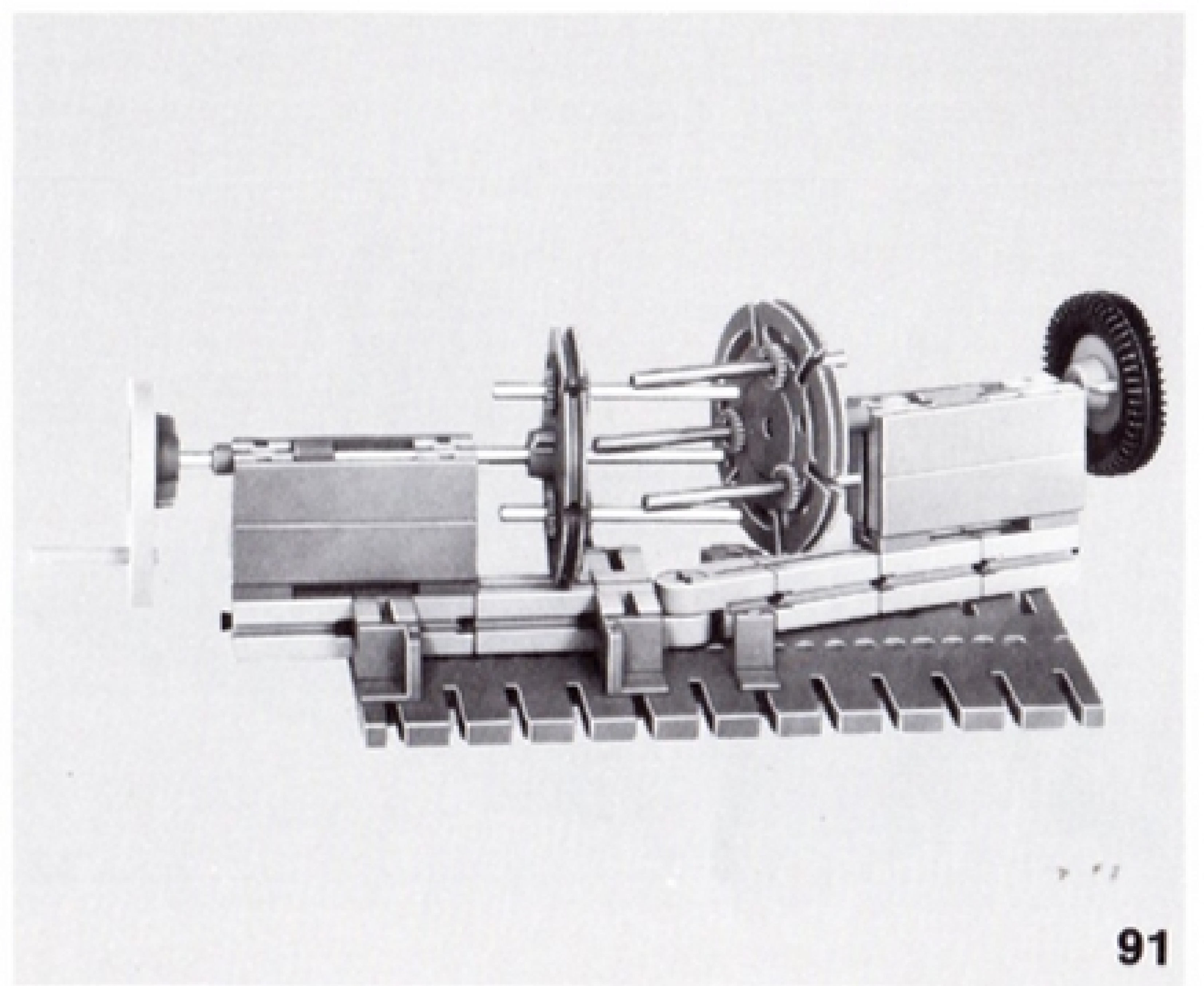
82



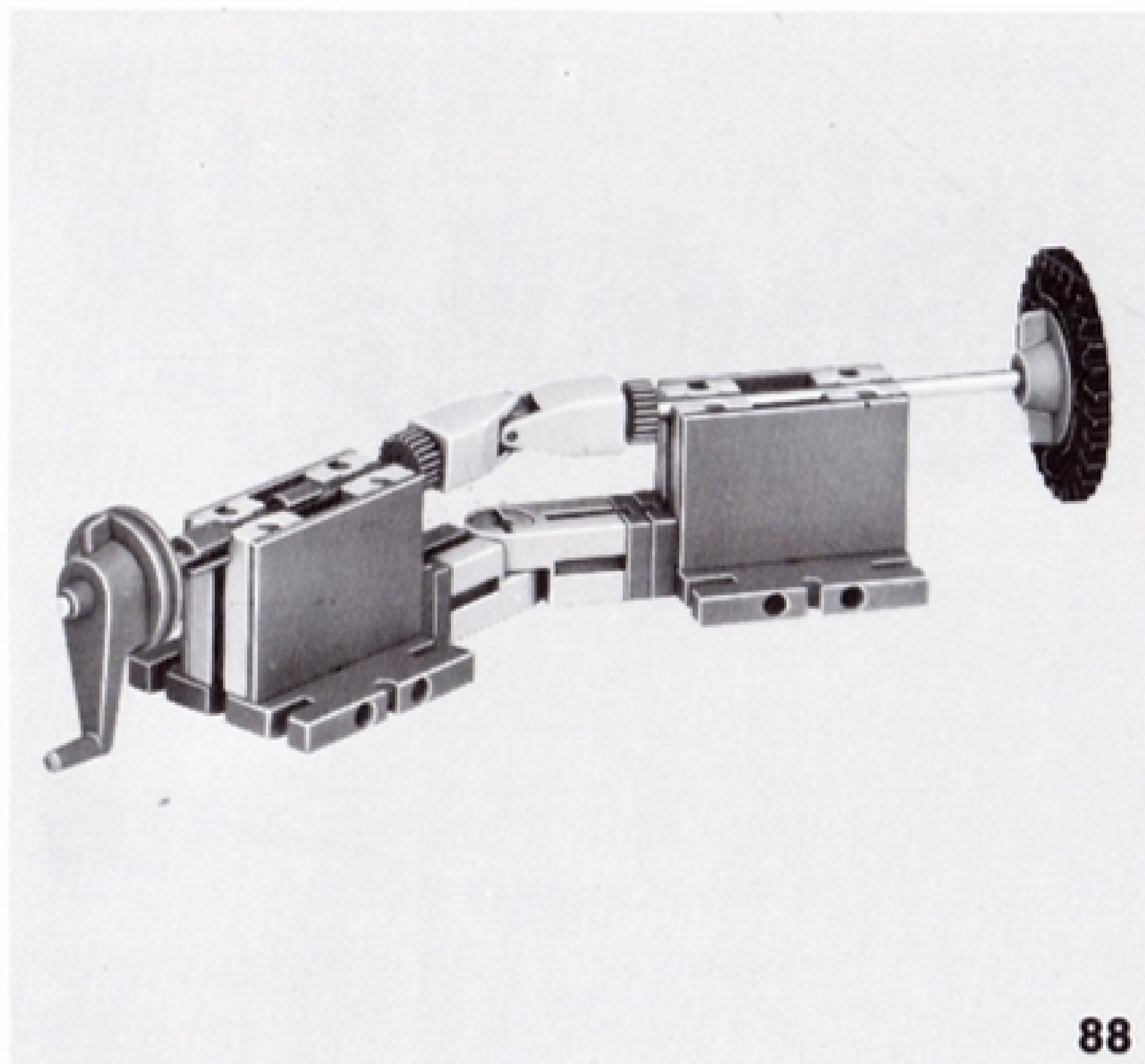
83



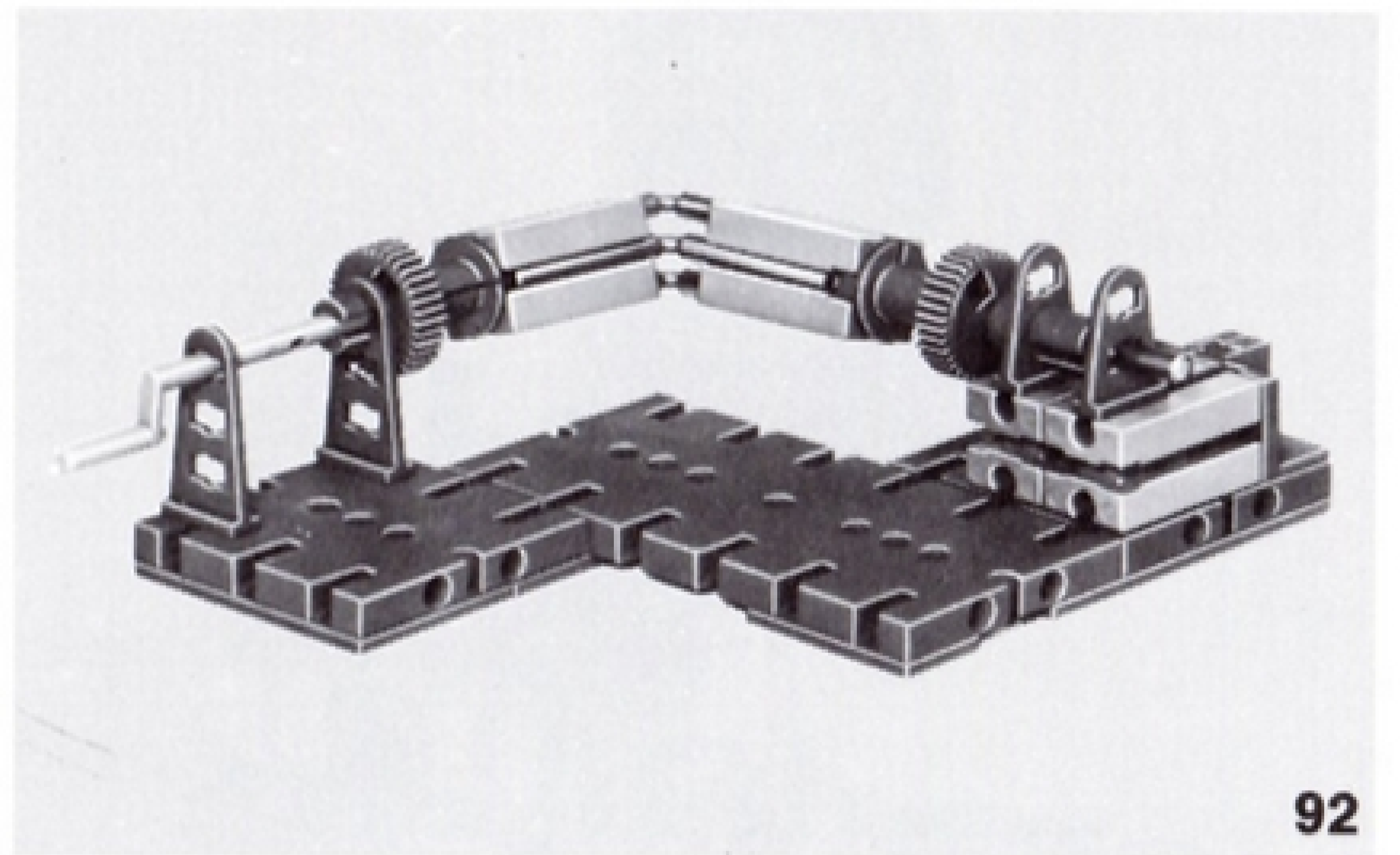
84



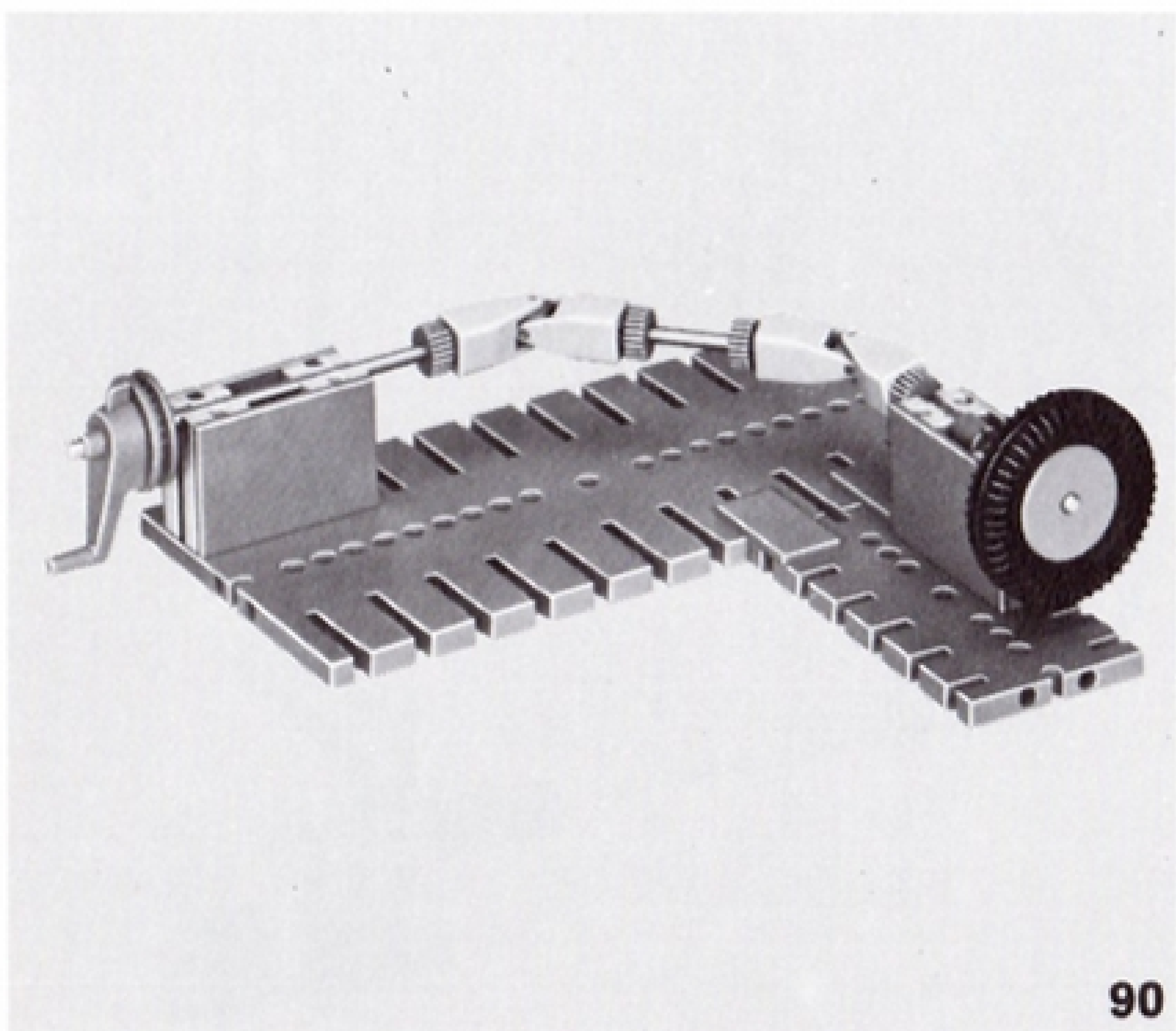
91



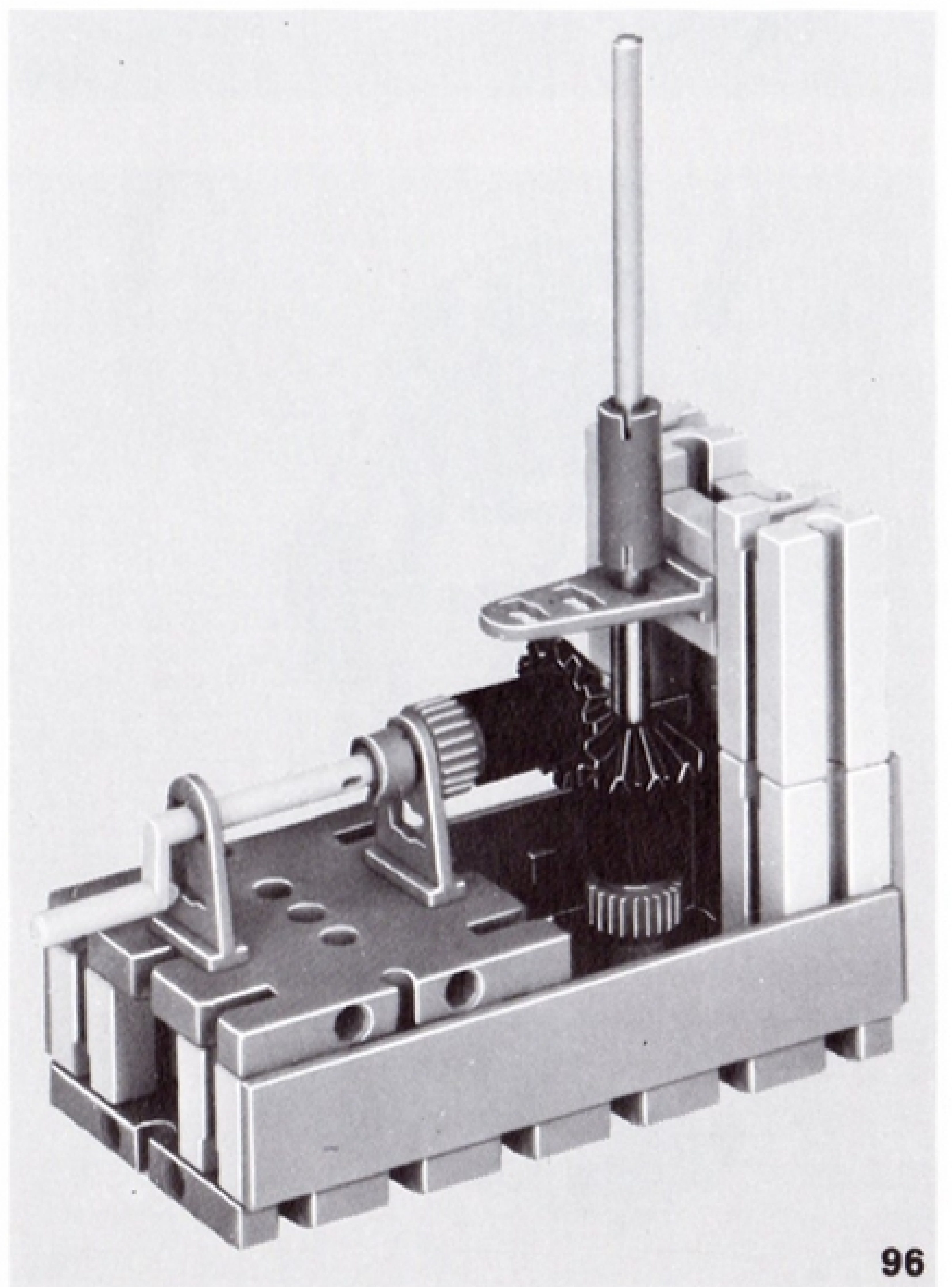
88



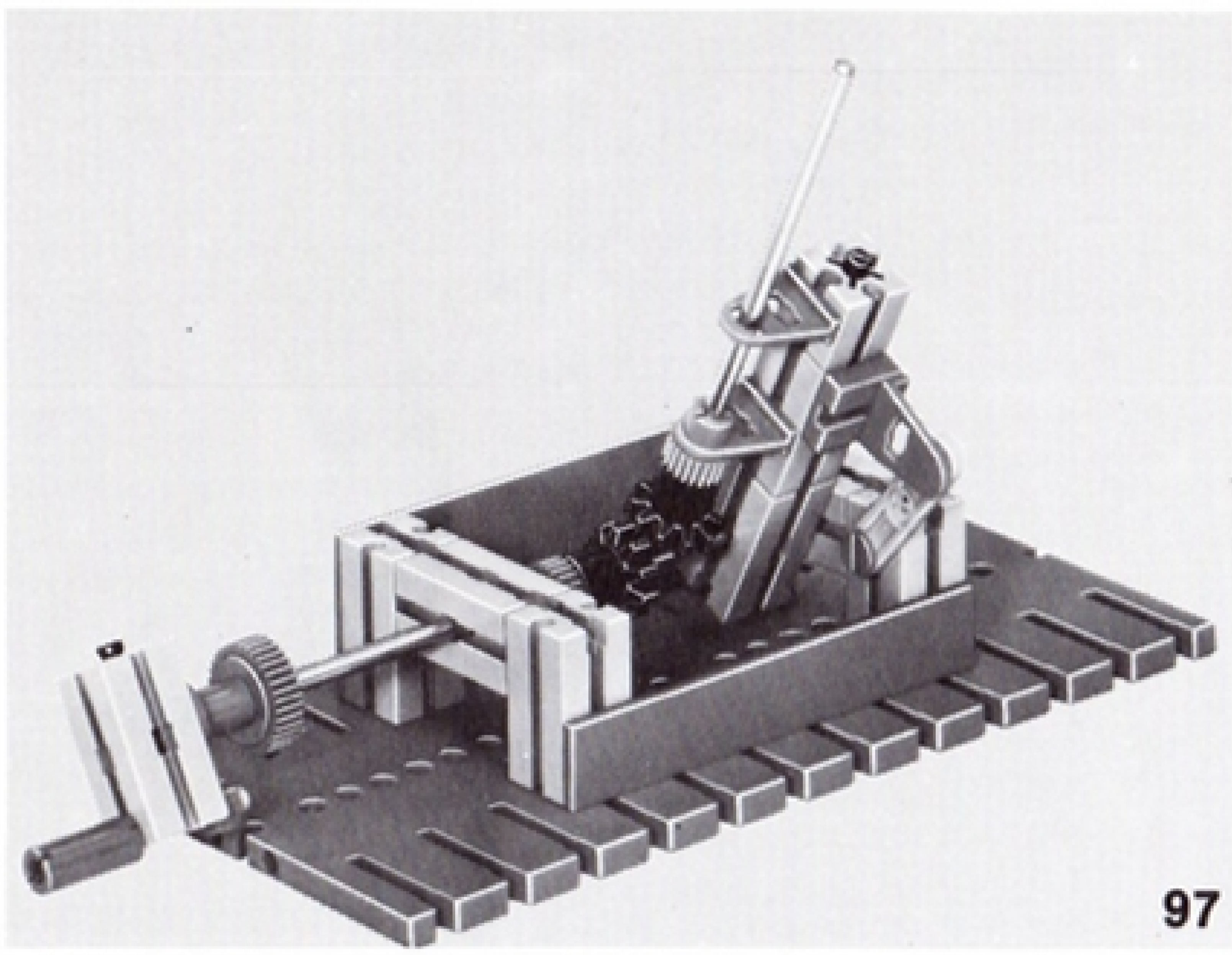
92



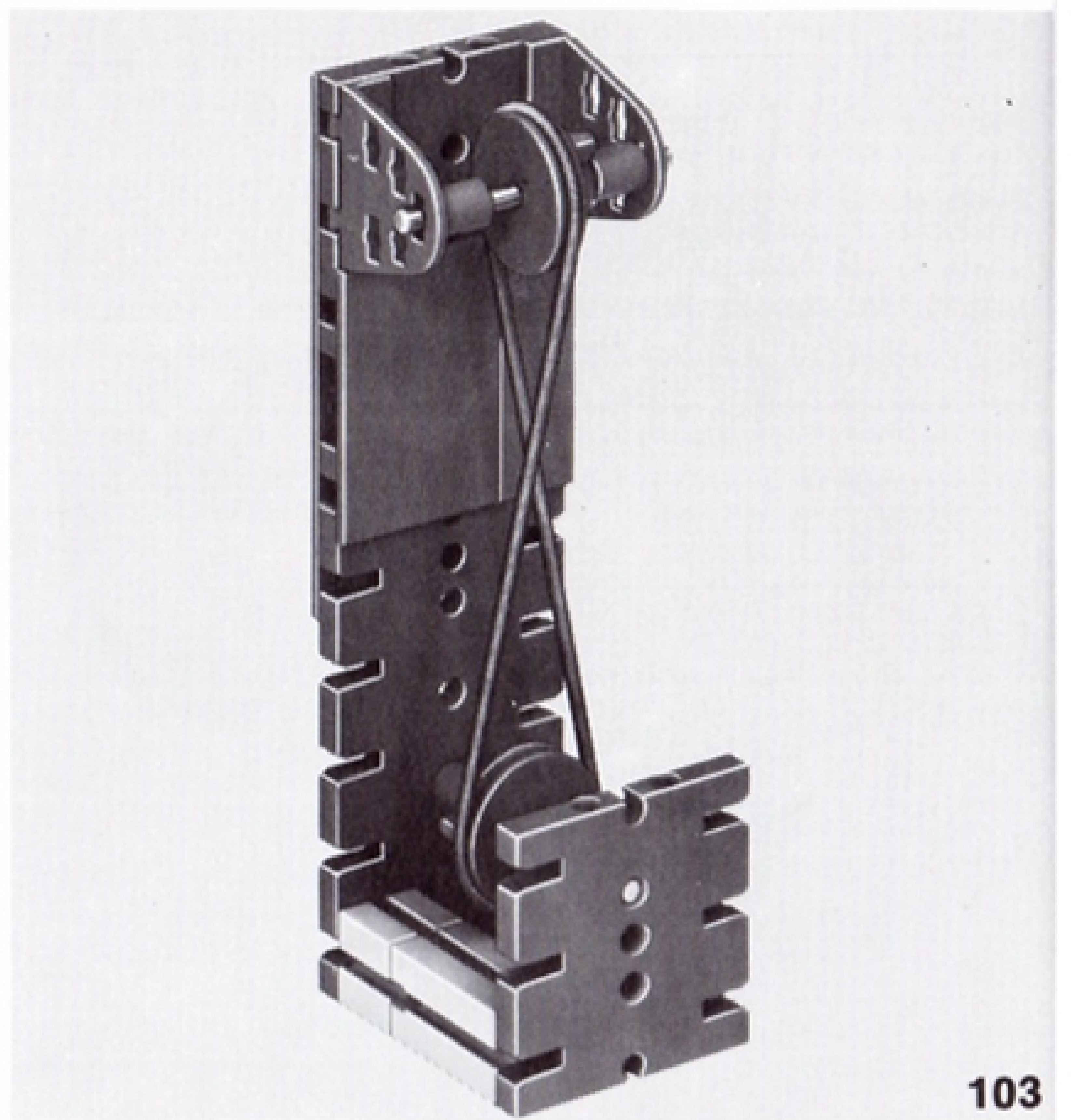
90



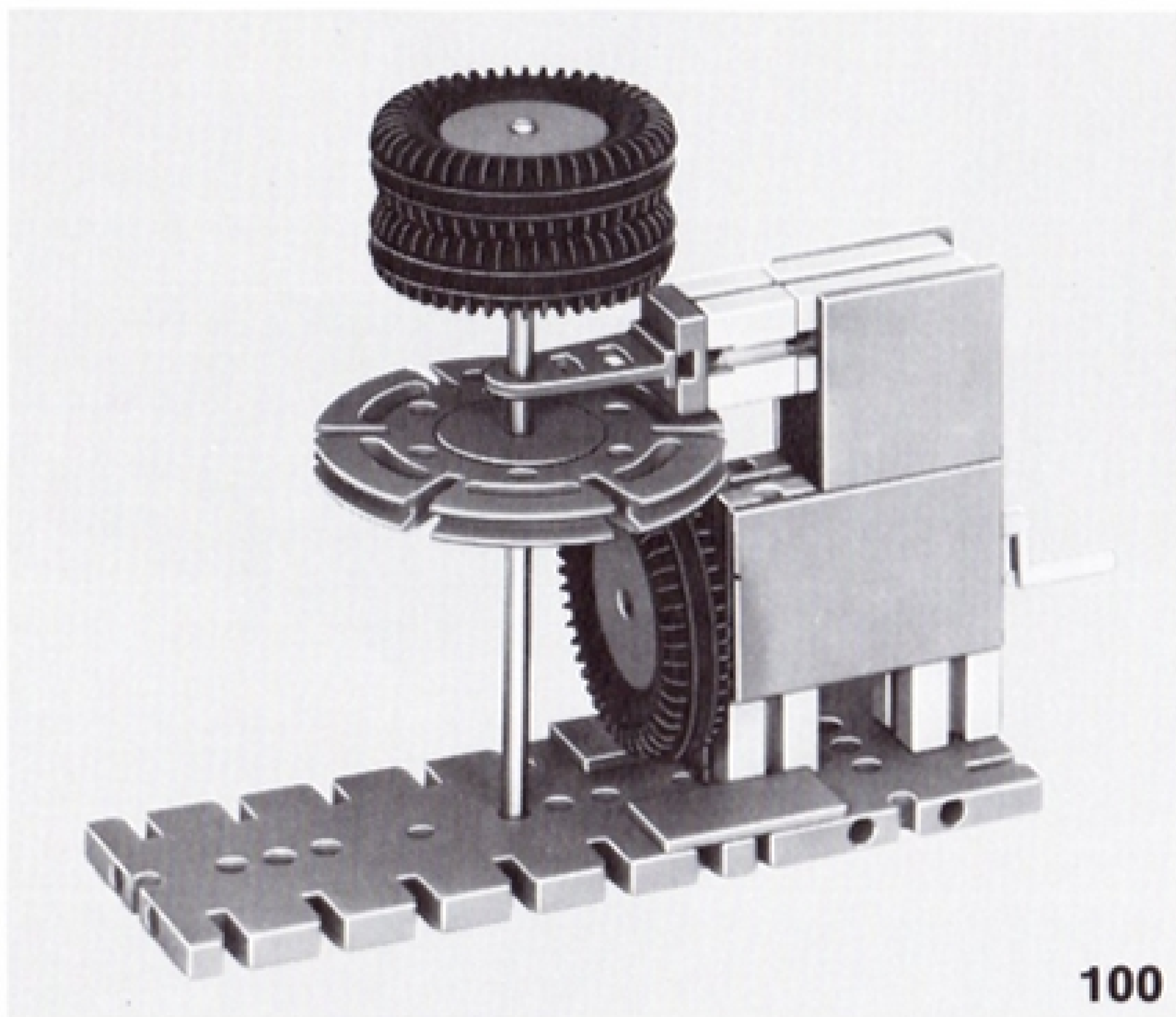
96



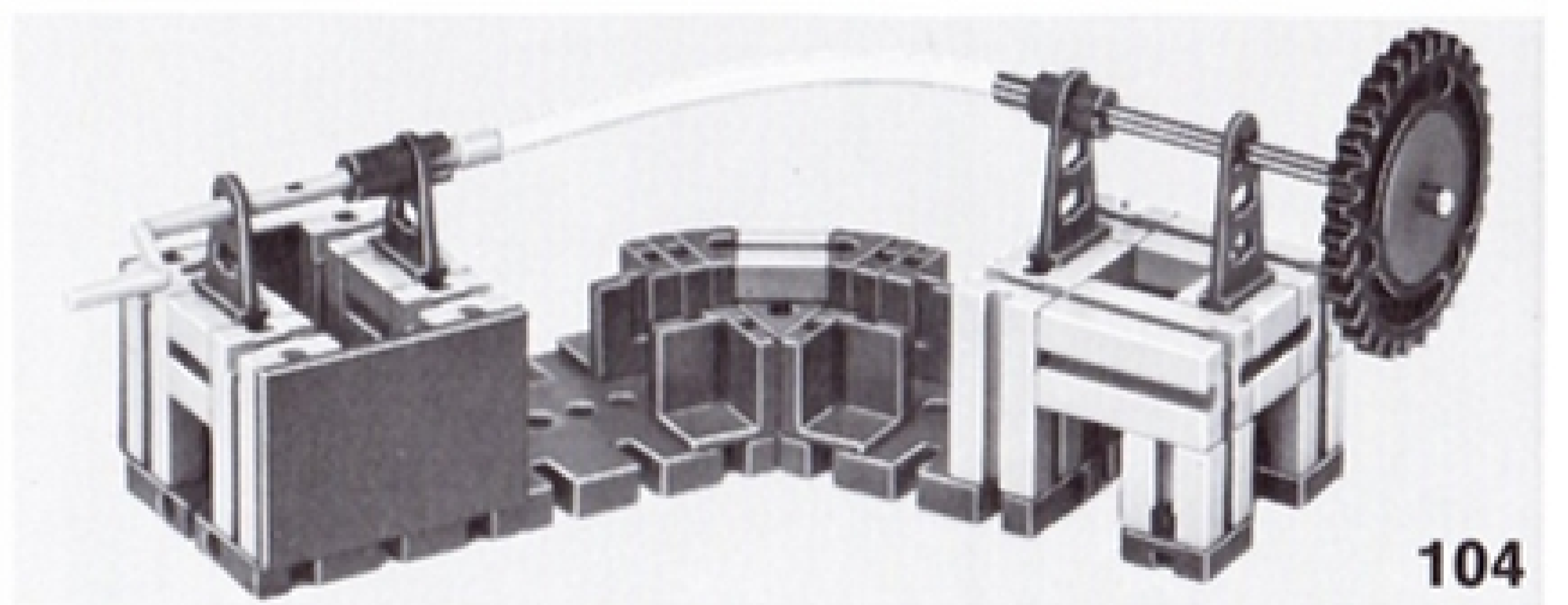
97



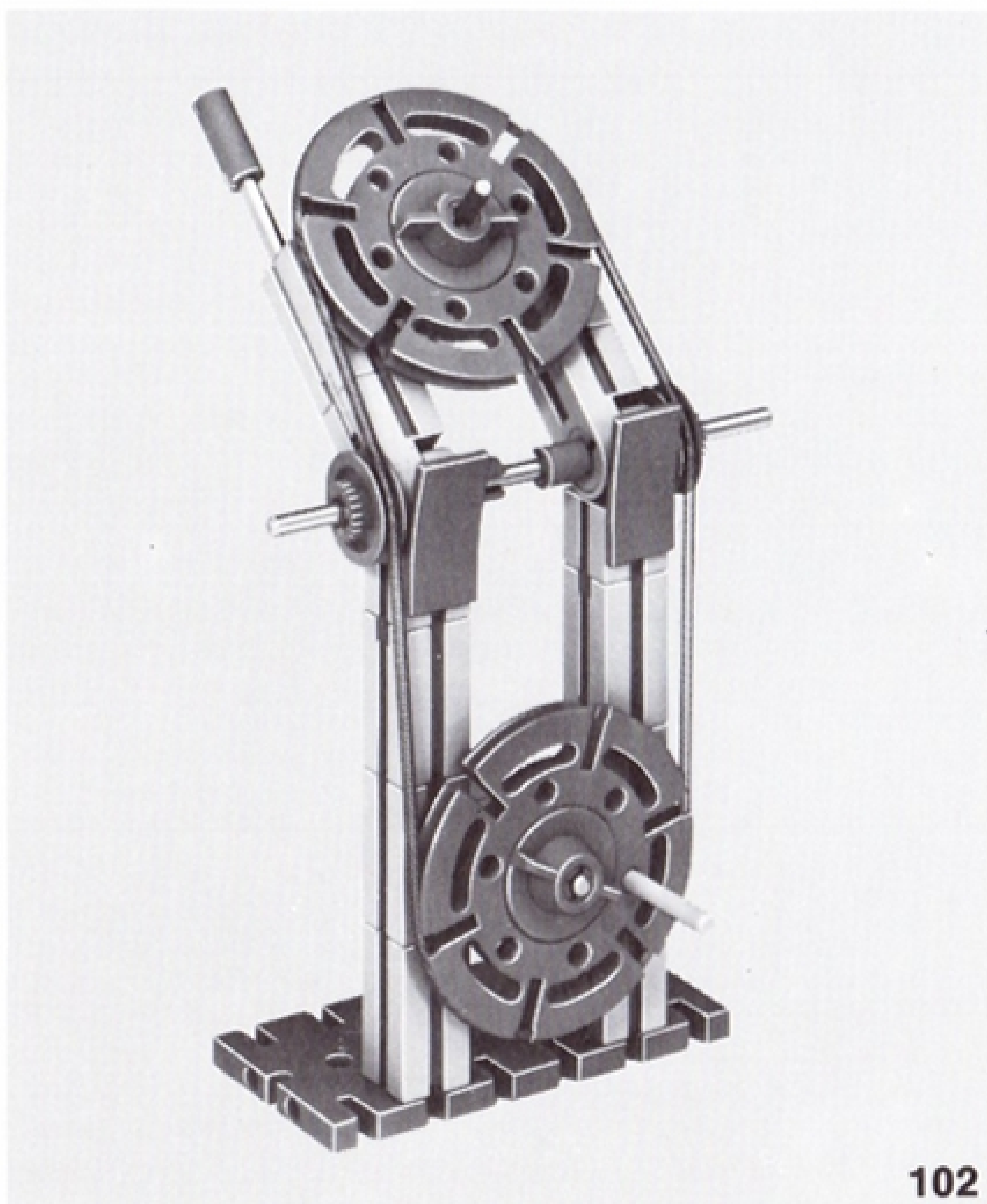
103



100



104



102



105

