Getriebe Modell 1 – Balkenwaage (Hebel)

Um das Gewicht eines Gegenstands zu bestimmen müssen wir das Verhältnis des Gewichts zu einem festgelegten Referenz- oder Einheitswert kennen. Mit den in dieser und der nächsten Aufgabe vorgestellten Waagen gelingt das, indem zwei bewegliche Hebel in ein Gleichgewicht gebracht werden. Die Abbildung auf das Referenzgewicht erfolgt dann über eine geeignete Skala.

Konstruktionsaufgabe

Abb. 1: Balkenwaage

Baue die in Abb. 1 gezeigte Balkenwaage. Sie funktioniert nach dem Prinzip des Hebels: Erhöht man das Gewicht in der Waagschale (im Bild links), muss man zum Ausgleich das verschiebbare Gewicht aus den vier gelben Grundbausteinen (im Bild rechts) auf dem Waagbalken nach außen verschieben, damit der Zeiger (die schwarze Achse) wieder exakt auf die Spitze des roten Winkelsteins zeigt.

Schneide die Vorlage für die Skala der Waage aus und befestige sie mit zwei S-Riegeln links und rechts am schwarzen Winkelträger. Nimm‘ einen schwarzen Stift und markiere die „Nullstellung“ des Gewichts (bei leerer Waagschale), d. h. die Stelle, auf die die Spitze des roten Winkelsteins unter dem Gewicht auf der Skala zeigt, mit einem Strich und einer „0“.

Thematische Aufgabe

Jetzt muss die Waage noch kalibriert werden. Dafür musst du die Waagschale mit „Einheitsgewichten“ beschweren. Wenn du keine exakten Gewichte zur Verfügung hast, kannst du auch die Grundbausteine als „Einheitsgewicht“ verwenden. (Sie wiegen etwas über 5 g.)

Markiere durch Striche die jeweilige Position des roten Winkelsteins unter dem Gewicht auf der Skala, wenn das Gewicht so eingestellt ist, dass der Zeiger der Waage exakt auf den unteren Winkelstein zeigt. Auf diese Weise kannst du die Skala vervollständigen. Prüfe die Korrektheit deiner Kalibrierung mit unterschiedlich schweren Objekten, deren Gewicht du kennst.

1. Wie groß ist der Abstand zweier 10-g-Markierungen auf der Skala?

2. Welches maximale Gewicht kannst du mit der Waage bestimmen?

3. Wenn die Waage im Gleichgewicht ist, welche physikalischen Größen sind dann gleich?

Experimentieraufgabe

1. Wie kannst du die Waage so verändern, dass sich der Messbereich verdoppelt? Nenne mindestens zwei Möglichkeiten.

2. Du möchtest eine genauere Auflösung der Waage. Wie kannst du das erreichen? (Auch dafür gibt es mehrere Möglichkeiten.)

Lösungsblatt Getriebe Modell 1 – Balkenwaage (Hebel)

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Kopie der Messskalen zum Ausschneiden.

Thematische Aufgabe

Die Kalibrierung der Balkenwaage kann mit einem beliebigen „Einheitsgewicht" erfolgen. Die Markierungen auf der Skala sollten in geeignet gewählte Teilstriche unterteilt werden.

1. Der Abstand der Teilstriche muss einheitlich sein, da das Ausgleichgewicht linear zur Erhöhung des Gewichts in der Waagschale verschoben wird. Der Abstand zweier 10-g-Markierungen sollte etwa 5 cm entsprechen.

2. Maximal kann man mit der Waage etwas mehr als 35 g abwiegen.

3. Wenn die Waage im Gleichgewicht ist, der Waagbalken also exakt horizontal ausgerichtet ist und der Zeiger der Waage auf die Spitze des roten Winkelsteins zeigt, stimmen das Drehmoment auf der rechten und der linken Seite der Achse überein.

Experimentieraufgabe

1. Den Messbereich der Waage kann man verdoppeln, indem man die Länge der im Bild rechten Seite des Waagbalkens verdoppelt oder die der linken Seite halbiert. Schließlich kann man das verschiebbare Ausgleichsgewicht auf der rechten Seite des Waagbalkens verdoppeln.

2. Eine genauere Auflösung der Waage erreicht man durch eine Verkleinerung des Gegengewichts oder durch eine Verlängerung der linken Seite des Waagbalkens. Um den Messbereich zu erhalten muss die rechte Seite des Waagbalkens entsprechend verlängert werden.

Anlagen

Modell 1: Bauanleitung Balkenwaage, Blatt mit leeren Skalen zum Ausschneiden

Getriebe Modell 2 – Briefwaage (Hebel)

Der folgende Typ einer mechanischen Waage heißt korrekt „Neigungswaage“ und ist bis heute als Briefwaage sehr verbreitet.

Konstruktionsaufgabe

Abb. 1: Briefwaage

Konstruiere die Briefwaage aus Abb. 1. Im Unterschied zur Balkenwaage muss bei dieser Waage kein Gewicht angepasst werden: Das auf der Waagschale (rechts) aufgelegte Gewicht sorgt für eine entsprechende Auslenkung des linken Zeigers (gelbe Grundbausteine mit Winkelstein an der Spitze). Die Waage ist in einem stabilen Gleichgewicht.

Schneide die Vorlage für die Skala der Briefwaage aus und befestige sie mit zwei S-Riegeln links und rechts am gelben, gebogenen Winkelträger. Nimm‘ einen schwarzen Stift und markiere die „Nullstellung“ der Waage (bei leerer Waagschale), d. h. die Stelle, auf die die Spitze des roten Winkelsteins auf der Skala zeigt, mit einem Strich und einer „0“.

Thematische Frage

Jetzt muss auch diese Waage noch kalibriert werden. Dafür musst du die Waagschale wieder mit „Einheitsgewichten" beschweren (siehe Aufgabe 1). Markiere durch Striche die jeweilige Position der Spitze des roten Winkelsteins auf der Skala. Prüfe die Korrektheit deiner Kalibrierung mit unterschiedlich schweren Objekten, deren Gewicht du kennst.

Welches maximale Gewicht kannst du mit dieser Waage messen?

Experimentieraufgabe

1. Wie kann man bei dieser Waage den Messbereich vergrößern?

2. Wie kann man bei dieser Waage die Messung verfeinern? (Auch hier gibt es mehrere Möglichkeiten, das zu erreichen.)

3. Warum werden die Abstände zweier z. B. 10-g-Markierungen auf der Skala mit zunehmendem Gewicht kleiner?

Lösungsblatt Getriebe Modell 2 - Briefwaage (Hebel)

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Technikgeschichtlicher Hinweis: Die Brief- (oder auch Knickhebel-) Waage geht auf den Erfinder *Philipp Matthäus Hahn* (1739-1790) zurück, der sie um die Jahre 1764-1770 entwickelte. Hahn entwickelte für die Berechnung seiner astronomischen Uhren und Instrumente auch einige der ersten, auf Konstruktionsprinzipien von Leibniz aufbauende mechanische Rechenmaschinen.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Kopie der Messskalen zum Ausschneiden.

Thematische Frage

Die Kalibrierung der Briefwaage kann ebenfalls mit einem beliebigen „Einheitsgewicht“ erfolgen. Die Markierungen auf der Skala sollten in geeignet gewählte Teilstriche unterteilt sein; nach links (bei stärkerer Auslenkung des Zeigers) müssen die Teilstriche einen immer geringeren Abstand aufweisen.

Das maximal mit dieser Waage bestimmbare Gewicht liegt bei etwas mehr als 25 g.

Experimentieraufgabe

1. Der Messbereich lässt sich vergrößern, indem man das Gewicht des Zeiger-Arms der Waage erhöht. Das kann auch durch eine Verlängerung des Zeigers geschehen.

2. Die Verfeinerung der Waage erfolgt auch hier über eine Vergrößerung des rechten Hebels, z. B. indem der Abstand zwischen den beiden Drehachsen und den Gelenken durch Bausteine vergrößert wird, oder über eine Reduzierung des Gewichts des Zeiger-Arms der Waage, z. B. indem die Bausteine 30 durch Statikteile ersetzt werden. Dabei verkleinert sich jedoch der Messbereich.

3. Die Abstände der Markierungen gleicher Gewichtsdifferenzen werden geringer, weil der Zeiger-Arm eine Kreisbewegung beschreibt. Der Anteil der Bewegung des Zeigers, der seitwärts erfolgt (und wenig Kraft benötigt), wird kleiner, während der Anteil der Bewegung, der den Zeiger anhebt, zunimmt. Daher wächst der Auslenkungswinkel nicht linear.

(Berechnen lässt sich die Veränderung über das Drehmoment: Die Drehmomente beider Seiten sind – im ausgependelten Zustand der Waage – immer gleich.)

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 2: Bauanleitung Briefwaage, Blatt mit leeren Skalen zum Ausschneiden

Getriebe Modell 3 – Flaschenzug und Wellrad

Eines der ältesten Getriebe überhaupt ist der Flaschenzug. Ohne ihn wären die beeindruckenden Steingebäude der Antike nie entstanden. Ein Flaschenzug bewirkt eine Kraftverstärkung, indem der Hub auf mehrere Seilschlingen verteilt wird. Die geleistete Arbeit – das Anheben eines Gewichts – bleibt dabei dieselbe, dafür muss (mit weniger Kraft) länger gezogen werden.

Konstruktionsaufgabe

Konstruiere zunächst den einfachen Flaschenzug in Abb. 1.

Abb. 1: Flaschenzug mit bis zu vier Rollen

Thematische Frage

In Abb. 2 sind drei verschiedene Seilführungen gezeigt, die jeweils zwei, drei und vier Rollen des Flaschenzugs verwenden. Setze sie nacheinander um und beantworte jeweils die unten stehenden Fragen.

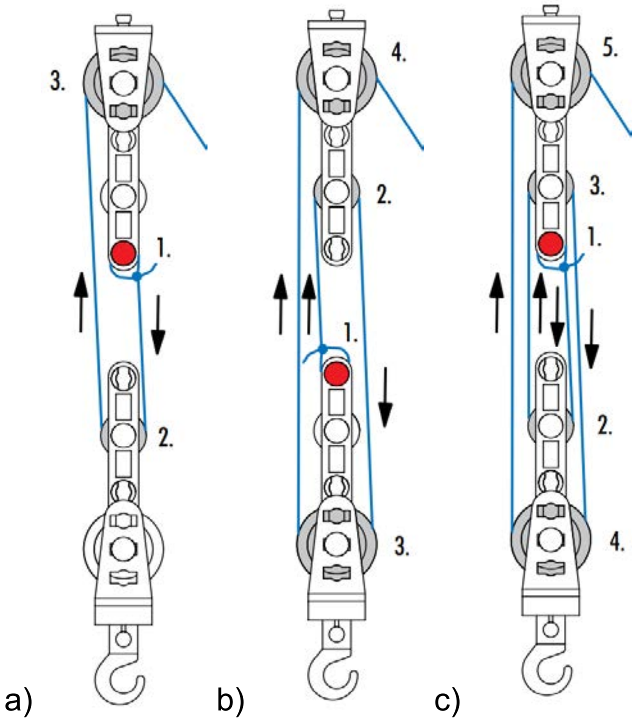


Abb. 2: Drei verschiedene Seilführungen mit a) zwei, b) drei und c) vier Rollen

1. Wie viele Kurbel-Umdrehungen benötigt die Seilwinde ohne Flaschenzug und wie viele in den Fällen a), b) und c), um einen Gegenstand um 10 cm anzuheben?

2. Welche Kraftverstärkung bewirken die drei Flaschenzug-Versionen a), b) und c) gegenüber einem Seilzug ohne Flaschenzug?

3. Warum wird dieser Flaschenzug-Typ auch „Faktorenflaschenzug“ genannt?

Experimentieraufgabe

Ergänze den Flaschenzug nun – wie in Abb. 3 gezeigt – um ein Wellrad.

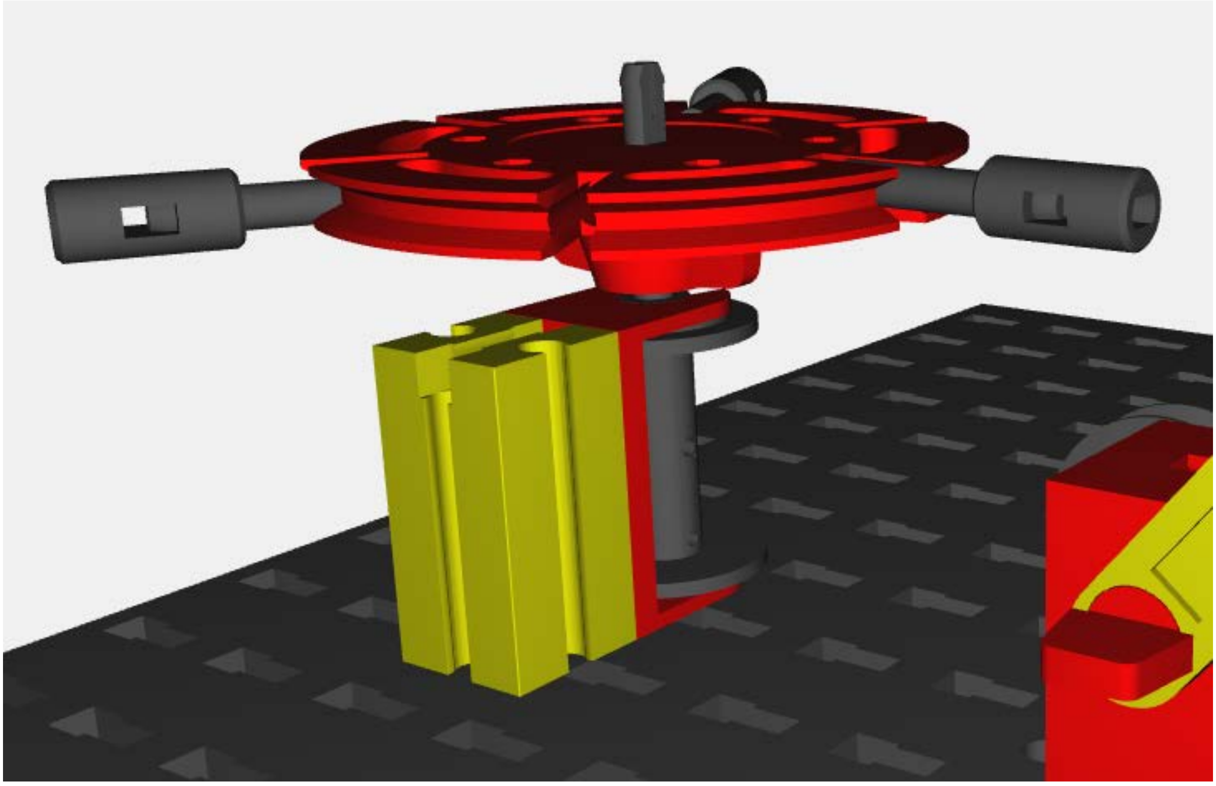


Abb. 3: Wellrad zum Flaschenzug

Die Wirkung des Wellrads kannst du dir klarmachen, indem du es dir als Hebel vorstellst: Die Kraftwirkung auf der Mitte des Rastadapters kannst du umrechnen in die Kraftwirkung der Seiltrommel auf das Seil.

1. Welche Kraftverstärkung bewirkt das Wellrad mit a) einer Rastachse 30 und b) einer Rastachse 45 als Hebel?

2. Welchen „Preis“ bezahlt man beim Wellrad für die Kraftverstärkung?

3. Welche Kraftverstärkung ist einfacher zu erzielen – die am Wellrad oder die des Flaschenzugs? Nenne verschiedenen Vor- und Nachteile der beiden Kraftverstärker.

Lösungsblatt Getriebe Modell 3 – Flaschenzug und Wellrad

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Technikgeschichtlicher Hinweis: Der Zeitpunkt der Erfindung des Flaschenzugs ist nicht bekannt. Die ältesten bekannten Beschreibungen von Flaschenzügen stammen von dem Römer *Marcus Vitruvius Pollo* (ca. 80-15 v. Chr.), der in seinen „Zehn Büchern über Architektur" das damalige bautechnische Wissen beschrieb. Darunter finden sich auch Wellräder, die in römischen Baukränen eingesetzt wurden.

Thematische Frage

1. Die exakte Anzahl der Kurbelumdrehungen hängt von der Dicke der Seiltrommel, also der bereits aufgewickelten Menge an Seil ab. Ohne Flaschenzug sind es gut drei Umdrehungen, im Fall a) ungefähr sechseinhalb, im Fall b) knapp 10 und im Fall c) 13.

2. Die Kraftverstärkung ist umgekehrt proportional zur erforderlichen Seillänge. Der Fall a) verdoppelt die Kraft, Fall b) verdreifacht sie und im Fall c) wird sie vervierfacht. Die Kraftverstärkung kann man an der Zahl der Seilschlaufen abzählen.

3. Damit erklärt sich auch die Bezeichnung „Faktorenflaschenzug": Die Anzahl der verwendeten Rollen ist der Faktor der Kraftverstärkung.

Experimentieraufgabe

1. Die Kraftverstärkung des Wellrads entspricht dem Verhältnis des langen Hebels zum Radius der Seiltrommel. Wird das Seil direkt auf der Trommel aufgewickelt (Durchmesser 0,7 cm) und greift die Hand in der Mitte des Rastadapters, dann beträgt die Verstärkung im Fall a) $4{,}5/0{,}35 \approx 12{,}85$ und im Fall b) $6/0{,}35 \approx 17{,}14$.

Mit der Menge an aufgewickeltem Seil nimmt der Radius der Seiltrommel zu; damit sinkt die Kraftverstärkung. Beim Vergleich des Wellrads mit der Kurbel ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch die Kurbel bereits eine Kraftverstärkung um etwa den Faktor $1{,}2/0{,}35 \approx 3{,}42$ bewirkt.

2. Die „Weglänge", die man beim Drehen des Wellrads zurücklegen muss, wächst proportional mit der Kraftverstärkung. (Das kann man sich leicht plausibel machen, da der Kreisumfang $U = 2\,\pi\,r$ ist, also eine Vervielfachung des Radius mit demselben Faktor in die Berechnung des Kreisumfangs eingeht.)

3. Am Wellrad ist mit wenigen Mitteln schnell eine große Kraftverstärkung zu bewirken. Am Flaschenzug sind dafür sehr viele zusätzliche Rollen erforderlich. Werden die Rollen des Faktorenflaschenzugs untereinander angeordnet, verkürzt sich die Hubstrecke. Das ist allerdings durch parallel angeordnete Rollen vermeidbar. Die

zusätzlich erforderliche Seillänge muss allerdings auf die Seiltrommel passen. Vorteil dabei: Das zu hebende Gewicht verteilt sich auf die Seilschlingen; es ist also bei höherem Gewicht kein stabileres Zugseil erforderlich.

Der Hebel am Wellrad und das Zugseil müssen hingegen die gesamte verstärkte Kraft bzw. das zu hebende Gewicht aufnehmen und daher für größere Gewichte kräftiger ausgelegt werden. Ein längerer Hebel am Wellrad erfordert außerdem eine entsprechend größere, runde Lauffläche rund um das Wellrad. Da die Zugkraft an der Seiltrommel mit dem zu hebenden Gewicht zunimmt, sollte ein Wellrad außerdem über eine Sperrklinke verfügen.

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 3: Bauanleitung Flaschenzug mit Seilwinde, Bauanleitung Flaschenzug mit Wellrad

Aufgaben Getriebe Modell 4 (mit Varianten) – Kurbelschwinge, Schubkurbel und Scherenhub

Antriebe erzeugen in der Regel eine Drehbewegung. Für den Abtrieb wird jedoch oft eine Hin- und Her-Bewegung benötigt. Das gelingt mit Kurbelschwingen, einem Scherenhub und Schubkurbeln. Schubkurbeln spielen in Verbrennungsmotoren als „Kurbelwelle“ eine zentrale Rolle: Sie wandeln die Schubbewegung der Kolbenstange in eine Drehbewegung der Abtriebswelle.

Konstruktionsaufgabe

Das in Abb. 1 gezeigte Getriebe ist eine „Kurbelschwinge“: Damit wird eine Kreisbewegung (die der Exzenterscheibe) in eine Schwingbewegung umgewandelt: Die Achse am oberen Ende des beweglich gelagerten Grundbausteins bewegt sich entlang eines Kreisbogens. Eine typische Anwendung für eine Kurbelschwinge ist ein einfacher Scheibenwischer.

Abb. 1: Kurbelschwinge

Erweitere die Kurbelschwinge zu einem Scheibenwischer mit zwei auseinander liegenden Wischblättern. (Die Wischblätter kannst du durch seitlich mit einem S-Riegel am Grundbaustein befestigte Statik-Streben simulieren.)

Experimentieraufgabe

1. Ein der Kurbelschwinge sehr ähnliches Getriebe ist die in Abb. 2 gezeigte „Schubkurbel“. Anders als bei der Kurbelschwinge wird hier die Kreisbewegung der Exzenterscheibe jedoch nicht in eine Schwing-, sondern in eine Schubbewegung umgewandelt: Die Führung durch die Metallachse sorgt dafür, dass sich der Baustein 15 mit Bohrung auf einer geraden Linie hin und her bewegt.

Neben der bereits genannten Funktion als Kurbelwelle im Fahrzeugantrieb gibt es weitere sinnvolle Einsatzmöglichkeiten – z.B. als „Vorschubgetriebe".

Erweitere die Schubkurbel zu einem solchen Vorschubgetriebe, das auf der Grundplatte ein Blatt Papier gleichmäßig um ein fest definiertes Stück weiterschiebt. Demonstriere die Funktionsweise.

Abb. 2: Schubkurbel

2. Abb. 3 zeigt einen Wagenheber mit Scherenhub, der mit einem Schneckengetriebe angehoben wird. Das Getriebe ist selbstsperrend, d.h. der Wagenheber bleibt stabil in der Position, die mit dem Schneckengetriebe eingestellt wurde.

Abb. 3: Wagenheber mit Scherenhub und Schneckengetriebe

Baue den Wagenheber entsprechend der Abbildung. Dabei wirst du feststellen, dass der Wagenheber sich überraschend weit hebt. Überlege: Wie ließe sich der Hub weiter vergrößern? Nenne mehrere Möglichkeiten und vergleiche sie.

Lösungsblatt Getriebe Modell 4 (mit Varianten) – Kurbelschwinge, Schubkurbel und Scherenhub

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Technikgeschichtlicher Hinweis: Schubkurbeln wurden schon in der Antike eingesetzt, um die Drehbewegung eines Wasserrads für Steinsägen zu nutzen. Nachgewiesen sind sie für das 3. Jhd. n. Chr. Mit der Weiterentwicklung der Dampfmaschine zum „Dampfmotor“ durch *James Watt* (1736-1819) erhielten sie Ende des 18. Jhd. eine zentrale Bedeutung als Kurbelwelle.

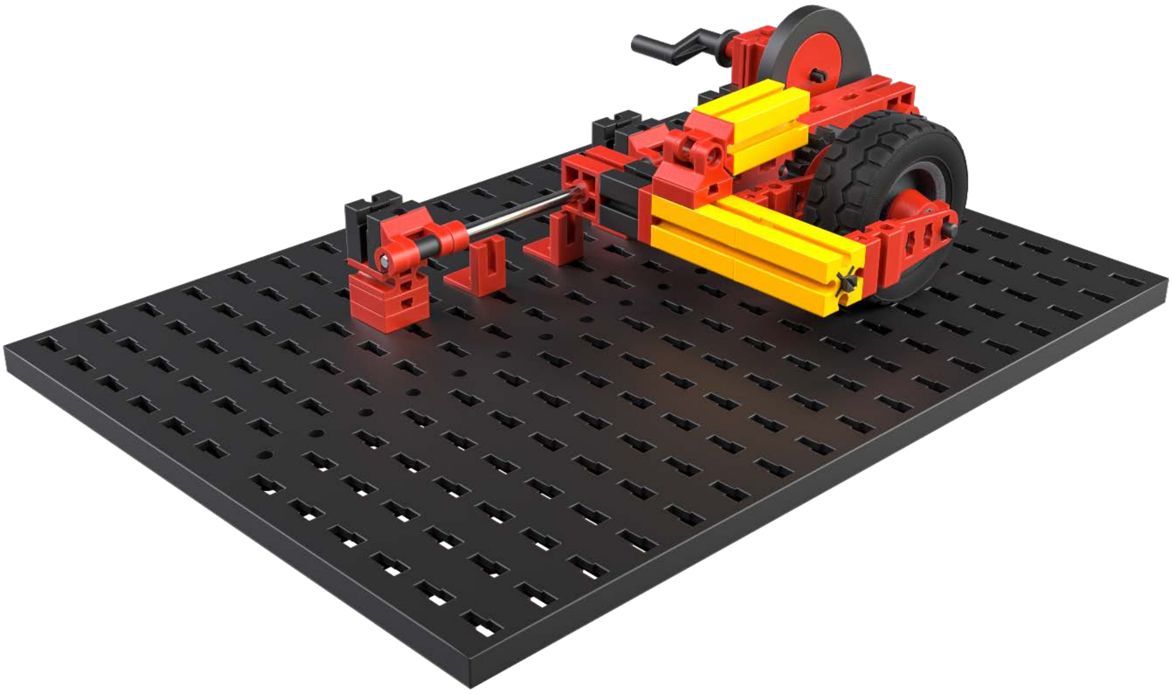
Konstruktionsaufgabe

Eine mögliche Konstruktion der Scheibenwischer.

Durch einen größeren oder kleineren Hebel unterhalb der Verbindung der beiden Schwingen kann die seitliche Auslenkung der Wischblätter verkleinert oder vergrößert werden.

Experimentieraufgabe

1. Das Vorschubgetriebe benötigt ein Rad mit einer Sperrklinke, sodass es nur in eine Richtung rollt, in die andere hingegen sperrt und so z. B. ein darunter liegendes Blatt Papier „mitzieht“.



Der Vorschub ist durch den verwendeten Exzenter festgelegt; bei dieser Konstruktion sind das etwa 4,75 cm.

2. Der Hub des Wagenhebers lässt sich durch eine Verlängerung des Schneckengetriebes oder durch zusätzliche Streben-Paare zur Verlängerung des Scherenhubs vergrößern. Bei der ersten Lösung erhöht sich die Länge des Getriebes. Damit der Scherenhub nicht zu schmal und dabei statisch instabil wird, sollte zugleich auch die Länge der Streben in gleichem Umfang vergrößert werden. Bei der zweiten Lösung ist mehr Kraft für denselben Hub erforderlich, da die Strecke, auf der die Schneckenmutter bewegt wird, gleichbleibt. Die Kraftverstärkung des Hubgetriebes sinkt also.

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 4: Bauanleitung Kurbelschwinge, Bauanleitung Scheibenwischer, Bauanleitung Schubkurbel, Bauanleitung Vorschubgetriebe, Bauanleitung Wagenheber/Scherenhub

Aufgaben Getriebe Modell 5 – Kardanwelle

Manchmal liegen Antriebs- und Abtriebswelle eines Getriebes weder in einer Flucht noch parallel zueinander, sondern stoßen in einem stumpfen Winkel aufeinander. Dann muss die Bewegungsrichtung der Welle geändert werden. Das gelingt mit einem Kardangetriebe, auch als Kreuz- oder Kardangelenk bezeichnet.

Konstruktionsaufgabe

Baue das in Abb. 1 abgebildete Kardangelenk nach. In welchem Winkel stehen die Antriebs- und die Abtriebsachse zueinander?

Abb. 1: Kardangelenk

Wenn du die Antriebswelle über die Kurbel antreibst, wirst du feststellen, dass die Bewegung der Abtriebswelle nicht in derselben Gleichmäßigkeit erfolgt: Sie dreht sich mal schneller, mal langsamer als die Antriebswelle. Diesen Effekt nennt man „Kardan-Fehler“.

Thematische Aufgabe

Verlängere nun die Antriebswelle mit einer Rastkupplung und einer Rastachse 45 und die Abtriebswelle, indem du die Rastachse 30 durch eine Rastachse 45 ersetzt. Ergänze auf der Antriebswelle eine Drehscheibe 60 mit einer Flachnabe so, dass die Nabenmutter in Richtung Kardangelenk zeigt, und ergänze eine zweite Lagerung, bevor du die Rastkurbel wieder ansteckst. Ersetze das Rad durch eine zweite Drehscheibe 60 mit Flachnabe; hier muss die Nabenmutter vom Kardangelenk weg zeigen. Verlängere schließlich die Lagerung der Antriebswelle und der Abtriebswelle um einen Baustein 15 mit aufgesetztem Winkelstein 60°, um die Winkelscheibe besser ablesen zu können (siehe Abb. 2).

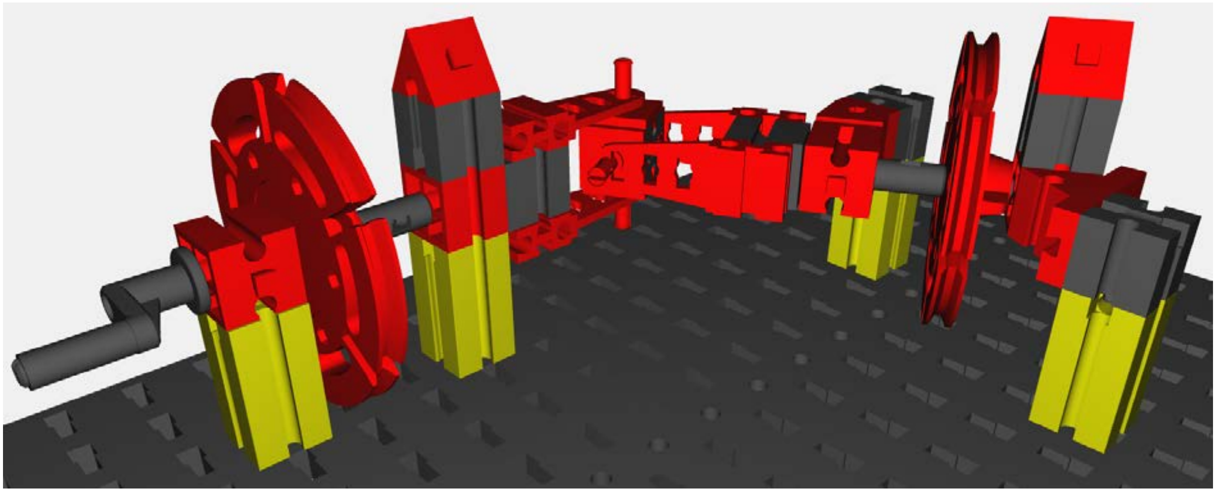


Abb. 2: Erweiterung des Kardangelenks um zwei Winkelmesser

Schneide die beiden Winkelscheiben (Abb. 3) aus, schneide in die Mitte ein Loch und schiebe sie so auf die beiden Achsen vor den Drehscheiben, dass sie auf der Antriebsachse zwischen Kurbel und Drehscheibe und auf der Abtriebsachse zwischen Rastkupplung und Drehscheibe eingeklemmt sind. Du kannst sie auch mit transparentem Klebeband an der Drehscheibe befestigen.

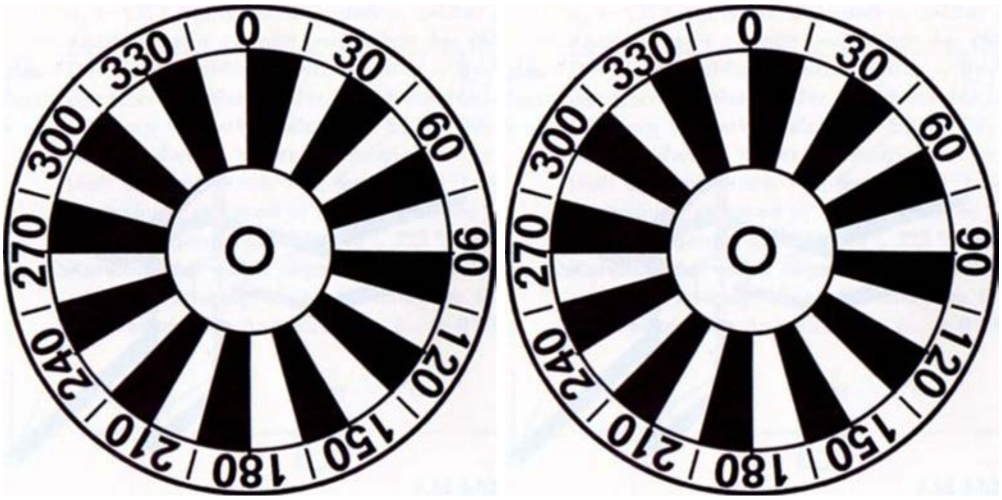


Abb. 3: Scheiben mit Gradeinteilung als Winkelmesser

Bringe das Kardangelenk in dieselbe Position wie in Abb. 2 und richte die beiden Winkelmesser so aus, dass die Spitze des roten Winkelsteins mit der 0°-Anzeige „fluchtet". Drehe nun die Kurbel in 15°-Schritten von 0° bis 180° und notiere den auf dem zweiten Winkelmesser auf der Abtriebsachse angezeigten Winkelwert.

Trage die Messergebnisse und die jeweilige Abweichung der Abtriebs- von der Antriebsachse („Delta") in die folgende Tabelle ein.

Drehwinkel Antrieb	Drehwinkel Abtrieb	Δ	Drehwinkel Antrieb	Drehwinkel Abtrieb	Δ
0°	0°	0°	**90°**	90°	0°
15°			**105°**		
30°			**120°**		
45°			**135°**		
60°			**150°**		
75°			**165°**		
90°	90°	0°	**180°**	180°	0°

Experimentieraufgabe

Wie du gesehen hast, kann der Kardan-Fehler eines Kardangelenks erheblich sein. Der Fehler ist umso größer, je größer der Winkel ist, um den die Welle ausgelenkt wird.

Interessant ist aber: Wenn wir zwei Kardangelenke so zu einer Kardanwelle „hintereinanderschalten“, dass Antriebs- und Abtriebswelle parallel liegen, dann heben sich die Kardan-Fehler der beiden Kardangelenke auf. Daher werden Kardangelenke bei gleichmäßigen Antrieben in der Praxis meist nur bei geringer Auslenkung oder paarweise in Gestalt einer Kardanwelle eingesetzt.

Abb. 4: Kardanwelle mit zwei Kardangelenken

Abb. 4 zeigt eine solche Kardanwelle. Konstruiere sie nach und löse mit ihrer Hilfe die folgenden Aufgaben.

1. Wie groß ist der maximale Winkel, in dem die beiden Kardangelenke noch „sauber“ drehen?

2. Montiere die beiden Winkelmesser auf der Antriebs- und der Abtriebswelle der Kardanwelle und überprüfe, ob der Kardanfehler tatsächlich aufgehoben ist.

3. Welche weiteren Getriebe fallen dir ein, mit denen man einen der Kardanwelle entsprechenden Achsversatz von Antrieb zu Abtrieb erreichen kann? Was sind deren Vor- oder Nachteile im Vergleich mit einer Kardanwelle?

Lösungsblatt Getriebe Modell 5 - Kardanwelle

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Technikgeschichtlicher Hinweis: Der Name „Kardangelenk“ verweist auf den italienischen Universalgelehrten und Mathematiker *Gerolamo Cardano* (1501-1576), der im Jahr 1550 in „De Subtilitate“ die später so genannte „kardanische Aufhängung“ beschrieb. Tatsächlich wurde diese auch als „Ringgehänge“ bezeichnete Aufhängung schon im Jahr 230 v. Chr. von Philon aus Byzanz beschrieben und um 1500 mehrfach von *Leonardo da Vinci* (1452-1519) gezeichnet. Eine Veröffentlichung des aus dem Ringgehänge ableitbaren Ring- oder Kreuzgelenks durch Cardano ist nicht bekannt. Die älteste bekannte Beschreibung des Kreuzgelenks stammt von *Caspar Schott* (1608-1666) in seinem Buch „Technica Curiosa“ aus dem Jahr 1664.

Die Aufhebung des Kardan-Fehlers in einer Kardan-Welle entdeckte der englische Physiker *Robert Hooke* (1635-1703) im Jahr 1683.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Kopie der Winkelmessscheiben zum Ausschneiden.

Konstruktionsaufgabe

Antriebsachse und Abtriebsachse stoßen in einem Winkel von etwa 119° aufeinander.

Thematische Aufgabe

Drehwinkel Antrieb	**Drehwinkel Abtrieb**	**Δ**	**Drehwinkel Antrieb**	**Drehwinkel Abtrieb**	**Δ**
0°	0°	0°	**90°**	90°	0°
15°	17°	2°	**105°**	95°	-10°
30°	42,5°	12,5°	**120°**	102,5°	-17,5°
45°	57,5°	12,5°	**135°**	115°	-20°
60°	70°	10°	**150°**	125°	-25°
75°	77,5°	2,5°	**165°**	150°	-15°
90°	90°	0°	**180°**	180°	0°

Experimentieraufgabe

1. Der maximal einstellbare Winkel der Kardangelenke (kleinster Winkel zwischen Antriebs- und Mittelteil der Kardanwelle) liegt bei ca. 117°.

3. Alternative Getriebe sind z. B. ein Zahnradgetriebe (zwei gleichgroße Zahnräder auf Antriebs- und Abtriebsachse, dazwischen ein beliebiges Zahnrad, damit es nicht zu einer Richtungsumkehr kommt), ein Ketten- oder ein Riemengetriebe. Nachteil des Zahnradgetriebes ist der Effizienzverlust (bis zu 10%), Nachteil des Riemengetriebes ist die kraftschlüssige Verbindung. Kettengetriebe haben eine deutlich niedrigere maximale Drehzahl als ein Zahnradgetriebe (Faktor 10 bis 30).

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 5: Bauanleitung Kardangelenk, Blatt mit Winkelmessscheiben für das Kardangelenk zum Ausschneiden, Bauanleitung Kardangelenk mit Winkelmessscheiben

Aufgaben Getriebe Modell 6 – Schaltgetriebe

Getriebe, deren Übersetzung veränderlich ist, nennen wir Schaltgetriebe. Schaltgetriebe werden in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor benötigt, da diese Motoren nur in einem relativ schmalen Drehzahlbereich einen hohen Wirkungsgrad besitzen. Durch das Schaltgetriebe kann die Umdrehungsgeschwindigkeit der Antriebsachse auf unterschiedliche Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse übersetzt werden.

Konstruktionsaufgabe

Schaltgetriebe werden meist aus Zahnradgetrieben konstruiert. Im Folgenden unterscheiden wir die verwendeten Zahnräder anhand ihrer Zähnezahl: Das Zahnrad mit 30 Zähnen nennen wir Z30, das mit zehn Zähnen Z10 usw.

In Abb. 1 siehst du einen Antriebsstrang (mit Kurbel, vorne) und eine Abtriebswelle (mit Rad, hinten rechts im Bild). Dazwischen befindet sich eine (leere) Getriebeachse, die sich über einen Hebel (rechts) horizontal verschieben lässt.

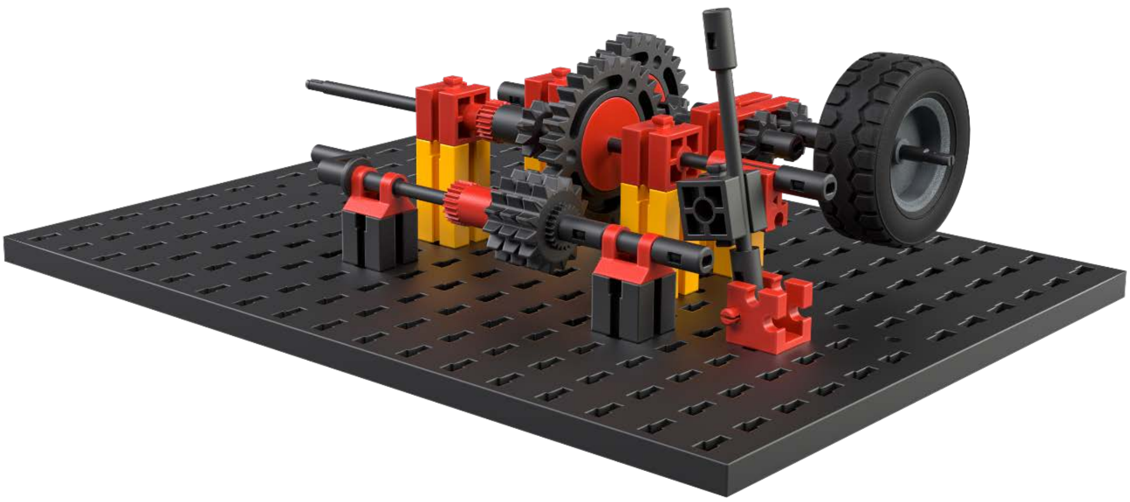


Abb. 1: Schaltgetriebe – Basiskonstruktion

Erweitere diese Ausgangskonstruktion zu einem Schaltgetriebe, mit dem zwei unterschiedliche Übersetzungen (auch „Gänge“ genannt) gewählt werden können.

Thematische Aufgabe

1. Welche Übersetzungen realisiert dein Getriebe? Wie groß ist der Unterschied der Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse (bei gleicher Geschwindigkeit der Antriebsachse) in den beiden Gängen?

2. Dein Schaltgetriebe ist eines von mehreren, die mit den gegebenen Zahnrädern (Z10, Z15, Z20, Z30, Z40) konstruiert werden können. Welche weiteren Zweigang-Schaltgetriebe könntest du mit diesen Zahnrädern (und erforderlichenfalls anderen Abständen zwischen den Getriebeachsen) realisieren?

Experimentieraufgabe

1. Erweitere dein Zweigang-Schaltgetriebe zu einem Dreigang-Schaltgetriebe. Welche Übersetzungen realisiert dein Getriebe? Sind noch andere Konstruktionen möglich?

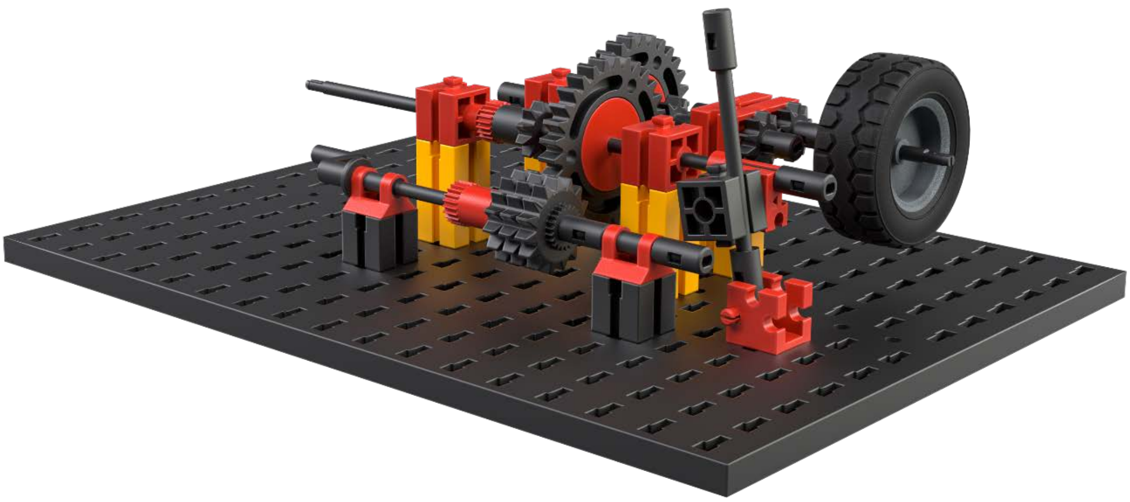
2. Ergänze dein Dreiganggetriebe um einen Rückwärtsgang.

Lösungsblatt Getriebe Modell 6 - Schaltgetriebe

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Bauanleitung für die Basiskonstruktion des Schaltgetriebes.

Konstruktionsaufgabe



Thematische Aufgabe

1. Die Schaltwelle in der Abbildung übersetzt 1:3 ins Langsame bzw. 3:1 ins Schnelle. Dazu übersetzt die Antriebswelle auf die Schaltwelle im Verhältnis 1:2 ins Langsame. Im ersten Gang übersetzt das Schaltgetriebe also 1:6 ins Langsame und im zweiten Gang 3:2 ins Schnelle. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Abtriebsachse unterscheidet sich bei beiden Gängen um den Faktor 9.

2. Es gibt zahlreiche alternative Konstruktionsmöglichkeiten:

Mit zwei Z20 kann man eine der beiden Übersetzungen der Schaltwelle durch eine 1:1-Übersetzung ersetzen. Dann unterscheidet sich die Umdrehungsgeschwindigkeit der Abtriebsachse bei beiden Gängen um den Faktor 3.

Mit zwei Z10 und zwei Z40 lässt sich eine 1:4- mit einer 4:1-Übersetzung (ins Langsame bzw. Schnelle) realisieren; die Umdrehungsgeschwindigkeiten liegen dann um den Faktor 16 auseinander.

Ersetzt man im zuletzt genannten Schaltgetriebe eines der beiden Zahnradpaare durch zwei Z30 kann man die 1:4- oder 4:1- durch eine 1:1-Übersetzung ersetzen. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse unterscheiden sich dann nur noch um den Faktor 4.

Mit zwei Z15 und zwei Z30 oder zwei Z10 und zwei Z20 kann man eine Schaltung mit einer 1:2- und einer 2:1-Übersetzung konstruieren; die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse unterscheiden sich auch bei dieser Schaltung um den Faktor 4.

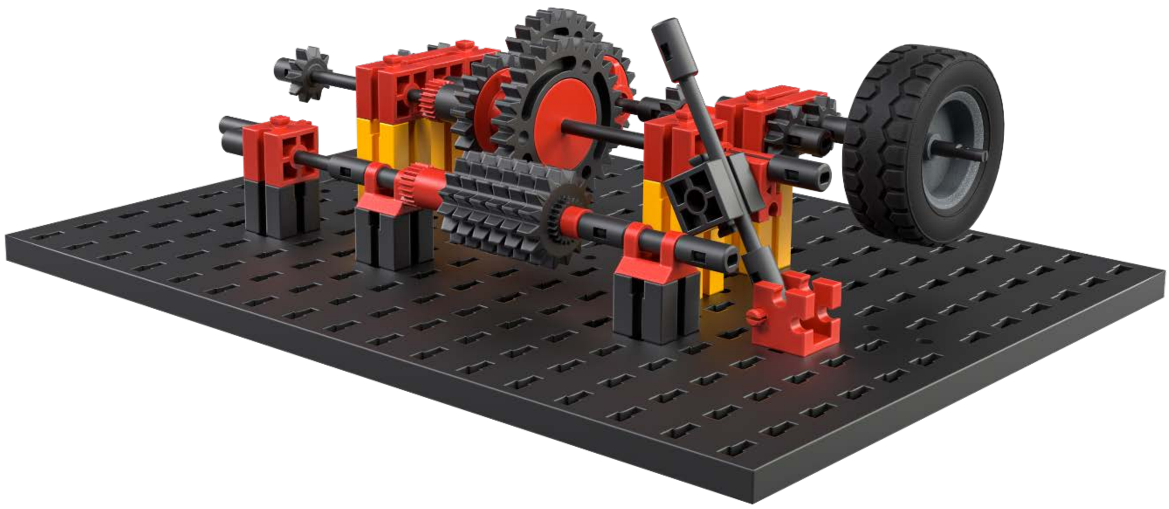
Eine Schaltung mit zwei Z15 und zwei Z10 liefert die Übersetzungen 3:2 und 2:3; der Unterschied der Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse liegt bei dieser Konstruktion bei 9:4 (also einem Faktor 2,25).

Mit zwei Z15 und zwei Z20 erhält man eine 3:4- und eine 4:3-Übersetzung; der Unterschied der Umdrehungsgeschwindigkeiten liegt bei dieser Schaltung beim Faktor 16:9 (also etwa 1,8).

Mit zwei Z15 und zwei Z40 erhält man eine 3:8- und eine 8:3-Übersetzung; die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse unterscheiden sich um den Faktor 64:9 (also etwa 7,1).

Experimentieraufgabe

1. Das folgende Dreigang-Schaltgetriebe (mit zwei Z30, zwei Z20 und zwei Z10) realisiert die Übersetzungen 1:3, 1:1 und 3:1.



Mit zwei Z40, zwei Z30 und zwei Z20 sind die Übersetzungen 1:2, 1:1 und 2:1 möglich.

Dieselben Übersetzungsverhältnisse lassen sich auch (deutlich kompakter) mit zwei Z10, zwei Z15 und zwei Z20 realisieren.

2. Den Rückwärtsgang (Richtungsumkehr!) mit einer 1:1-Übersetzung bilden die drei Rast-Z10 links im Bild. Das mittlere Zahnrad kann durch ein beliebiges anderes

Zahnrad ersetzt und höher oder tiefer platziert werden, um die beiden äußeren Rast-Z10 zu verbinden.

Anmerkung: Eine Änderung der Übersetzung der Antriebs- auf die Schaltachse und der abschließenden Übersetzung auf die Abtriebsachse (in den obigen Getriebe-beispielen konstant 1:1) ermöglicht, ein komplettes Schaltgetriebe zu dimensionieren:

Sind der optimale Drehzahlbereich des Motors und der abzudeckende Geschwindig-keitsbereich bekannt, lässt sich die erforderliche Gesamtübersetzung des Schalt-getriebes entsprechend berechnen und die Konstruktion des Getriebes daraus ableiten.

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 6: Bauanleitung Basiskonstruktion des Schaltgetriebes, Bauanleitung Zwei-Gang-Schaltgetriebe, Bauanleitung Drei-Gang-Schaltgetriebe, Bauanleitung Drei-Gang-Schaltgetriebe mit Rückwärtsgang

Aufgaben Getriebe Modell 7 – Uhrengetriebe

Konstruktionsaufgabe

Eines der raffinierten technischen Details einer Uhr ist, dass mehrere Zeiger – mindestens der Stunden- und der Minutenzeiger – sich auf ein und derselben Achse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten drehen.

Wir realisieren das mit einer „Freilaufnabe“: Der Minutenzeiger wird von der Metallachse in Abb. 1 angetrieben, während die auf derselben Achse lose mit der schwarzen Freilaufnabe aufgesetzte Drehscheibe 60 vom dahinter liegenden Z40 bewegt wird.

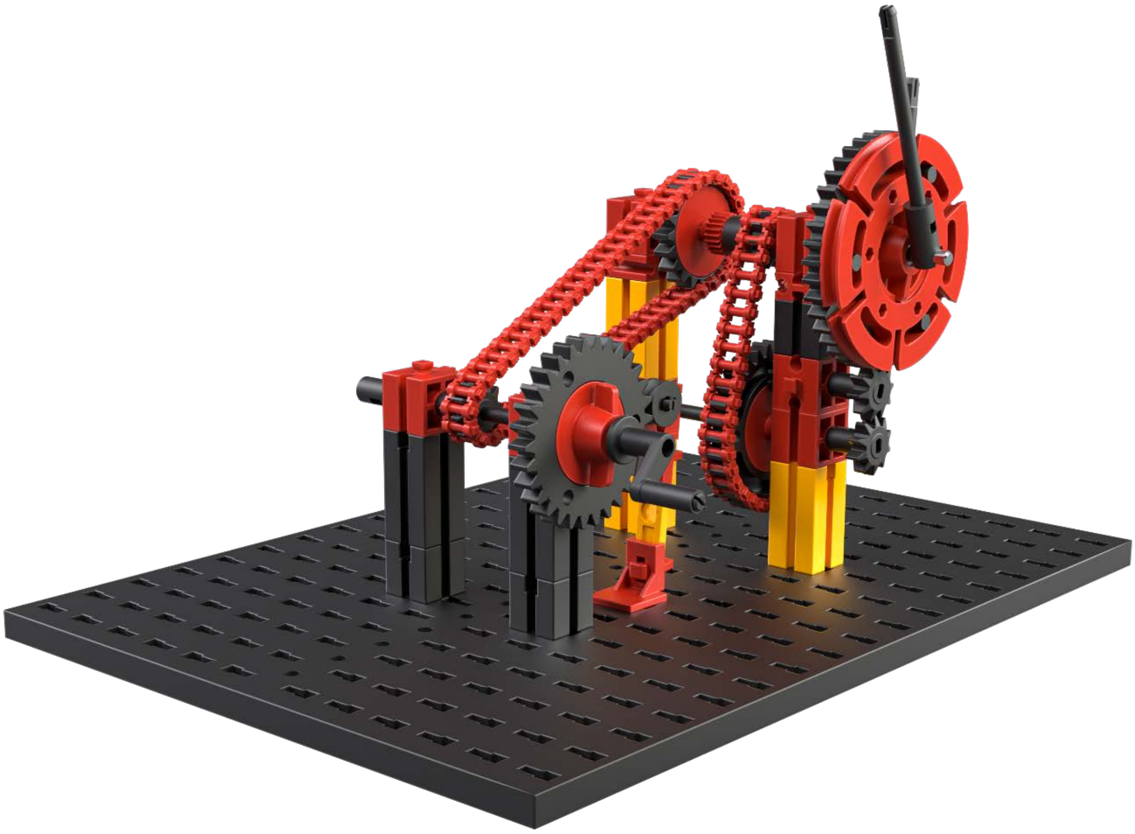


Abb. 1: Uhrengetriebe – Basiskonstruktion

Die Uhr soll nun mit einer einzigen Antriebswelle betrieben werden: der Achse, auf der der Minutenzeiger sitzt. Wenn sich nun der Stundenzeiger (die Drehscheibe 60 bzw. das Z40) in Abhängigkeit von dieser Welle drehen soll: Welche Übersetzung wird dann zwischen dem Minutenzeiger und der Drehscheibe 60 benötigt?

Thematische Aufgabe

Konstruiere jetzt das Getriebe zum Antrieb des Stundenzeigers, ausgehend von der Zeiger-Welle als Antriebsachse.

Gehe dazu „rückwärts“ vor: Betrachte das Z10 unterhalb des Z40. Welche Übersetzung liegt hier zwischen der Welle des Z10 und der Drehscheibe 60 vor? Welche Übersetzung ist dann noch zwischen der Welle des Z10 und der des Minutenzeigers erforderlich?

Frage dich nun, mit welchen Zahnrädern du diese Übersetzung realisieren kannst, und baue dann diese Übersetzung so ein, dass sie die Minutenzeiger-Welle mit dem Z10 unterhalb der Drehscheibe 60 verbindet.

Experimentieraufgabe

1. Die Anzeige von 12 Stunden auf dem Zifferblatt einer Uhr ist üblich, aber nicht zwingend. Natürlicher wäre es, alle Stunden eines Tages in einer Umdrehung anzuzeigen, das Zifferblatt also in 24 Stunden aufzuteilen. Wie müsste das dafür erforderliche Getriebe aussehen? Kannst du es konstruieren?

2. Es fehlt noch ein Antrieb für die Uhr. Wir wollen das mit einer Kurbel realisieren.

Konstruiere seitlich neben der Uhr einen Kurbel-Antrieb mit einem Zahnrad mit Sperre so, dass mit jedem „Klick“ der Sperre (also jedem Zahn des Zahnrads) die Uhrzeiger sich genau um eine Minute weiterbewegen.

Aufgaben Getriebe Modell 7 – Uhrengetriebe

Konstruktionsaufgabe

Eines der raffinierten technischen Details einer Uhr ist, dass mehrere Zeiger – mindestens der Stunden- und der Minutenzeiger – sich auf ein und derselben Achse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten drehen.

Wir realisieren das mit einer „Freilaufnabe“: Der Minutenzeiger wird von der Metallachse in Abb. 1 angetrieben, während die auf derselben Achse lose mit der schwarzen Freilaufnabe aufgesetzte Drehscheibe 60 vom dahinter liegenden Z40 bewegt wird.

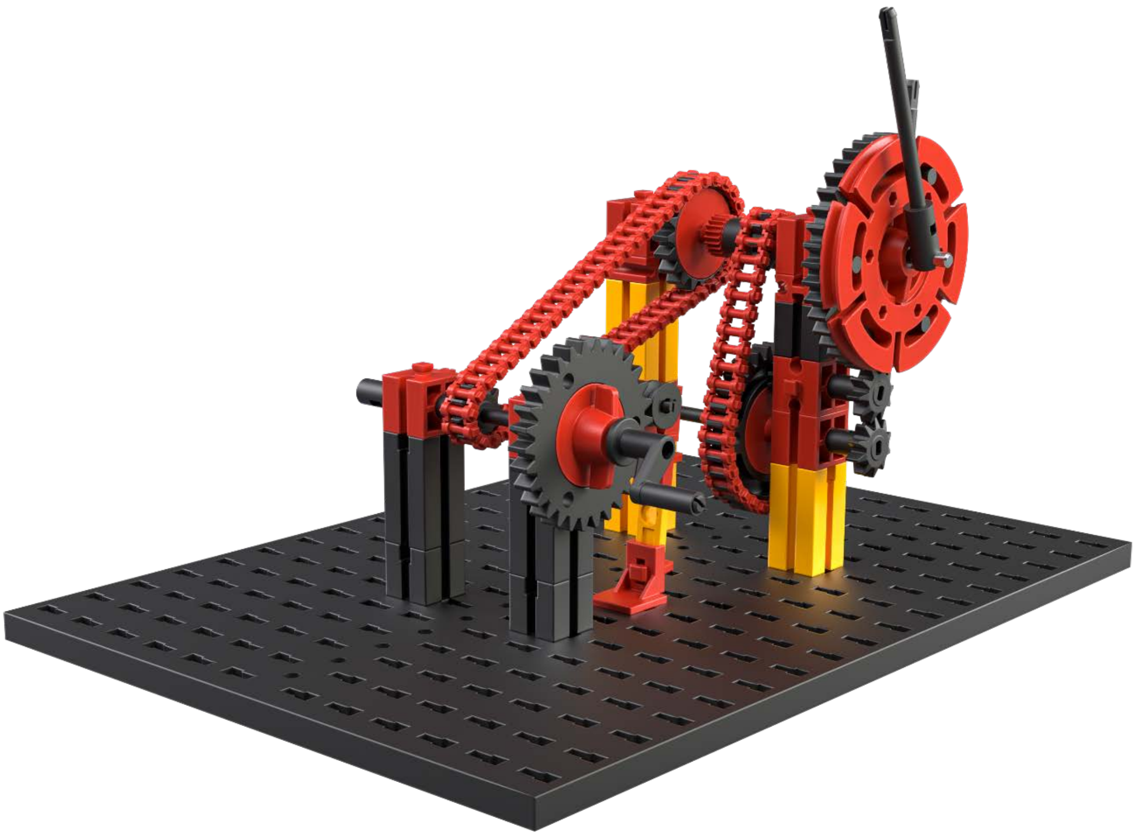


Abb. 1: Uhrengetriebe – Basiskonstruktion

Die Uhr soll nun mit einer einzigen Antriebswelle betrieben werden: der Achse, auf der der Minutenzeiger sitzt. Wenn sich nun der Stundenzeiger (die Drehscheibe 60 bzw. das Z40) in Abhängigkeit von dieser Welle drehen soll: Welche Übersetzung wird dann zwischen dem Minutenzeiger und der Drehscheibe 60 benötigt?

Thematische Aufgabe

Konstruiere jetzt das Getriebe zum Antrieb des Stundenzeigers, ausgehend von der Zeiger-Welle als Antriebsachse.

Gehe dazu „rückwärts“ vor: Betrachte das Z10 unterhalb des Z40. Welche Übersetzung liegt hier zwischen der Welle des Z10 und der Drehscheibe 60 vor? Welche Übersetzung ist dann noch zwischen der Welle des Z10 und der des Minutenzeigers erforderlich?

Frage dich nun, mit welchen Zahnrädern du diese Übersetzung realisieren kannst, und baue dann diese Übersetzung so ein, dass sie die Minutenzeiger-Welle mit dem Z10 unterhalb der Drehscheibe 60 verbindet.

Experimentieraufgabe

1. Die Anzeige von 12 Stunden auf dem Zifferblatt einer Uhr ist üblich, aber nicht zwingend. Natürlicher wäre es, alle Stunden eines Tages in einer Umdrehung anzuzeigen, das Zifferblatt also in 24 Stunden aufzuteilen. Wie müsste das dafür erforderliche Getriebe aussehen? Kannst du es konstruieren?

2. Es fehlt noch ein Antrieb für die Uhr. Wir wollen das mit einer Kurbel realisieren.

Konstruiere seitlich neben der Uhr einen Kurbel-Antrieb mit einem Zahnrad mit Sperre so, dass mit jedem „Klick“ der Sperre (also jedem Zahn des Zahnrads) die Uhrzeiger sich genau um eine Minute weiterbewegen.

Aufgaben Getriebe Modell 8 – Planetengetriebe

Für viele praktische Anwendungen sind Getriebe besonders geeignet, bei denen die Bewegungsänderung koaxial erfolgt, d. h. An- und Abtriebswelle in einer Flucht liegen. Sie sind kompakt, lassen sich einfach verbauen und leicht miteinander kombinieren.

Konstruktionsaufgabe

Abb. 1 zeigt ein koaxiales Getriebe mit Kegelzahnrädern. Baue das Getriebe nach. Welche Bewegungsänderung bewirkt es?

Abb. 1: Koaxiales Kegelradgetriebe

Ein koaxiales Getriebe kann auch eine Übersetzung enthalten. Das Getriebe in Abb. 2 verwendet ein Kronradgetriebe. Baue es nach. Welche Übersetzung realisiert es?

Abb. 2: Koaxiales Übersetzungsgetriebe mit Kronrad

Thematische Aufgabe

Planetengetriebe sind eine besondere Form koaxialer Übersetzungsgetriebe. Sie werden in der Regel als Stirnradgetriebe konstruiert, d. h. die Zähne der Zahnräder stehen senkrecht zur Achse (Welle). Planetengetriebe bestehen aus

- einem „Sonnenrad“ (einem Zahnrad in der Mitte),
- mehreren „Planetenrädern“, die um das Sonnenrad „kreisen“ und deren Wellen über einen Steg miteinander verbunden sind und
- einem „Hohlrad“, in dessen Innenzahnrad die Zähne der Planetenräder eingreifen.

Planetengetriebe lassen sich sehr kompakt konstruieren. Je nachdem, welche der drei Wellen eines Planetengetriebes – die des Sonnenrads, die des Stegs oder die des Hohlrads – man „fest“ montiert, erreicht man eine andere Übersetzung.

Betrachte und konstruiere zunächst das folgende Planetengetriebe mit festem Steg und dem Sonnenrad auf der Antriebswelle (Abb. 3):

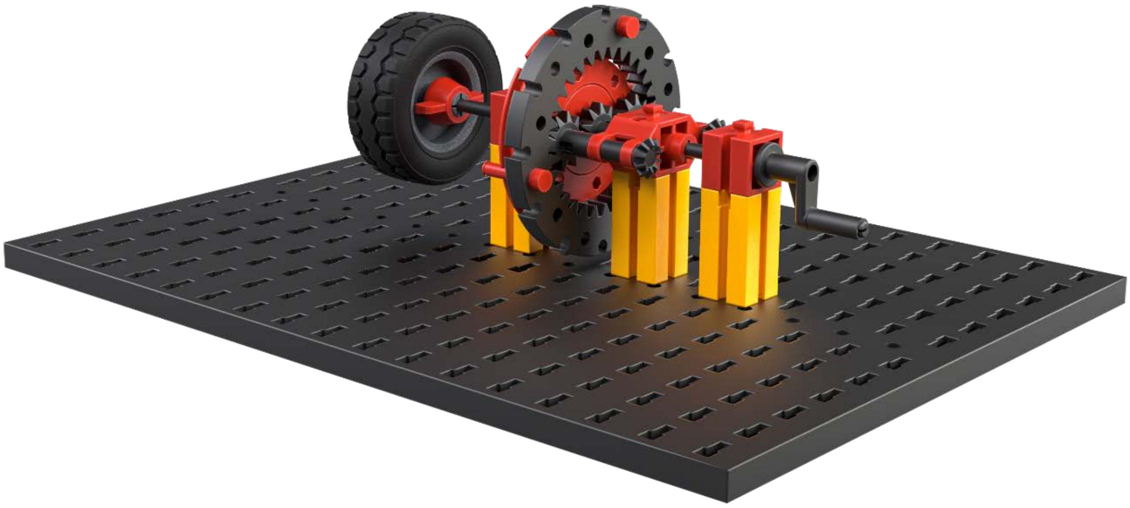


Abb. 3: Planetengetriebe mit festem Planetenradträger (Steg) und Sonnenradantrieb

Die Übersetzung dieses Planetengetriebes ist identisch mit der des folgenden einfachen Stirnradgetriebes (Abb. 4):

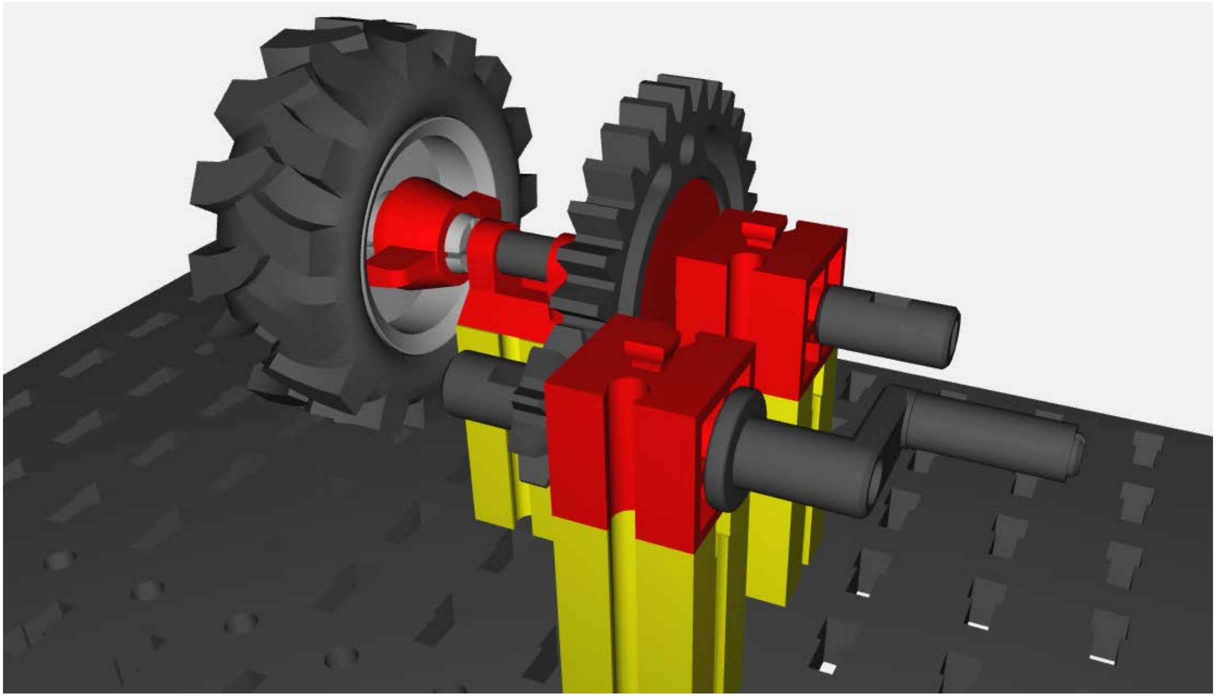


Abb. 4: Zum Planetengetriebe äquivalentes Stirnradgetriebe

Warum ist das so? Erläutere. Welches Übersetzungsverhältnis realisiert also das Planetengetriebe mit festem Steg und dem Sonnenrad als Antrieb?

Experimentieraufgabe

1. In dem Planetengetriebe in Abb. 3 ist der Steg fest. Konstruiere ein weiteres Planetengetriebe, in dem entweder das Sonnenrad oder das Hohlrad fest montiert ist.

2. Welche Übersetzungen erreicht man mit fischertechnik-Stirnrad-Planetengetrieben mit dem Innenzahnrad Z30? Vervollständige die folgende Tabelle:

Fest	Antrieb	Abtrieb	Übersetzung	Richtungsumkehr
Steg	Sonnenrad	Hohlrad		ja/nein
Steg	Hohlrad	Sonnenrad		ja/nein
Hohlrad	Sonnenrad	Steg		ja/nein
Hohlrad	Steg	Sonnenrad		ja/nein
Sonnenrad	Steg	Hohlrad		ja/nein
Sonnenrad	Hohlrad	Steg		ja/nein

Wie du gesehen hast, sorgen einige der Getriebe für eine Richtungsumkehr. Wir kennzeichnen sie in der Übersetzungsgleichung durch ein Minus-Zeichen („-“).

3. Durch das „Hintereinanderschalten“ von Planetengetrieben lassen sich große Übersetzungen realisieren. Betrachte die drei verschiedenen Planetengetriebe. Welche zwei (verschiedenen) Getriebe würdest du koppeln, um eine möglichst große Übersetzung ins Langsame zu realisieren?

Lösungsblatt Getriebe Modell 8 – Planetengetriebe

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Technikgeschichtlicher Hinweis: 1780 erhielt *James Pickard* für das zu diesem Zeitpunkt bereits seit mindestens 1500 Jahren bekannte Schubkurbelgetriebe ein Patent und versuchte, damit *James Watt* (1736-1819) zu erpressen, der kurz vor der Fertigstellung seines ersten „Dampfmotors" stand. Daraufhin erfand Watts kongenialer Assistent *William Murdoch* (1754-1839) kurzerhand ein Umlaufgetriebe aus zwei gekoppelten Zahnrädern, deren eines sich wie ein „Planet" um das andere (die „Sonne") dreht, um Pickard's Patent zu umgehen. Dafür erhielt Watt zusammen mit seiner Expansionsdampfmaschine 1781 ein eigenes Patent (Patent No. GB 1321).

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Bauanleitung für das Planetengetriebe mit festem Steg.

Konstruktionsaufgabe

Das koaxiale Kegelradgetriebe bewirkt eine Umkehrung der Drehrichtung.

Das koaxiale Kronradgetriebe bewirkt eine Übersetzung von 1:3,2 ins Langsame.

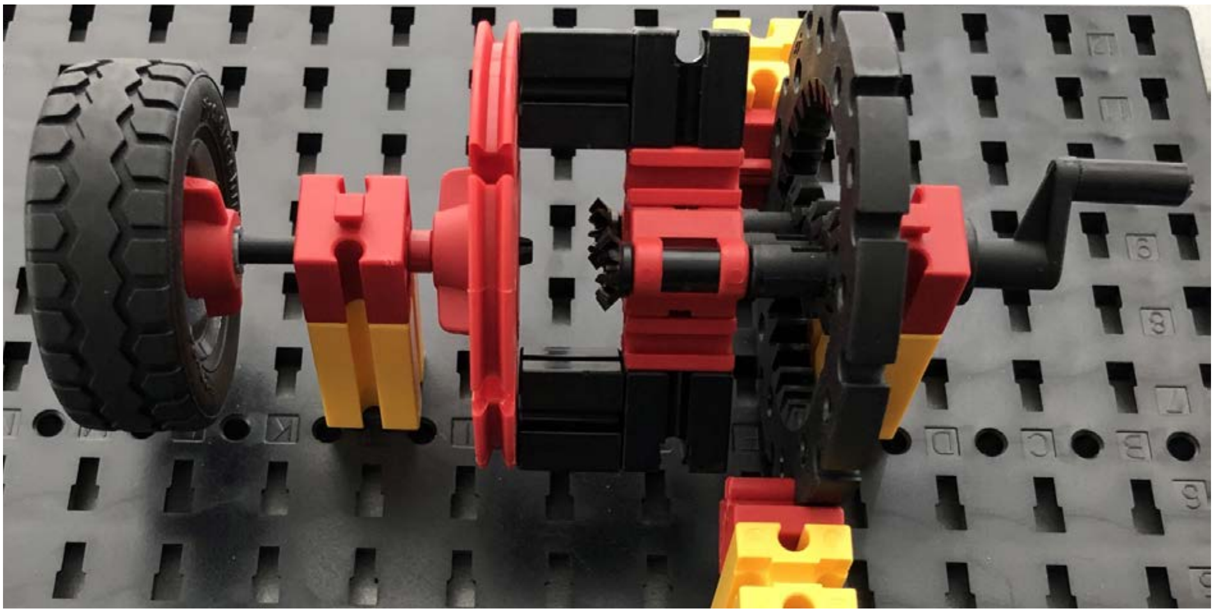
Thematische Aufgabe

Die beiden Getriebe sind identisch, denn Außen- und Innenzahnrad haben beide 30 Zähne. Beim Planetengetriebe sorgen die beiden Planetenräder für eine Richtungsumkehr (beim Innenzahnrad bleibt die Drehrichtung erhalten). Beim einfachen Stirnradgetriebe bewirkt der Übergang vom Z10 auf das Z30 eine Richtungsumkehr.

Das Planetengetriebe mit festem Steg und Sonnenrad auf der Antriebswelle bewirkt also eine Übersetzung von 1:3 ins Langsame mit Drehrichtungsumkehr.

Experimentieraufgabe

1. Mit dem fischertechnik-Innenzahnrad Z30 sind die folgenden beiden weiteren Planetengetriebe möglich: a) Planetengetriebe mit festem Hohlrad:



Interessante Variante dieses Getriebes: Die Welle eines Planetenrads als Abtrieb liefert ein Rührwerk:

b) Planetengetriebe mit festem Sonnenrad:

2. Mit diesen fischertechnik-Planetengetrieben können die folgenden Übersetzungen realisiert werden:

fest	Antrieb	Abtrieb	Übersetzung	Richtungsumkehr
Steg	Sonnenrad	Hohlrad	-3	ja
Steg	Hohlrad	Sonnenrad	-0,33	ja
Hohlrad	Sonnenrad	Steg	4	nein
Hohlrad	Steg	Sonnenrad	0,25	nein
Sonnenrad	Steg	Hohlrad	0,75	nein
Sonnenrad	Hohlrad	Steg	1,33	nein

3. Eine möglichst große Übersetzung ins Langsame erreicht man durch die Kopplung des (in der Tabelle) ersten und dritten Getriebes. Es realisiert eine Übersetzung (mit Richtungsumkehr) von -12.

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 8: Bauanleitung Planetengetriebe mit festem Steg, Bauanleitung Planetengetriebe mit festem Hohlrad, Bauanleitung Planetengetriebe mit festem Sonnenrad

Aufgaben Getriebe Modell 9 – Differenzialgetriebe

Ohne Differenzialgetriebe könnte kein Auto um eine enge Kurve fahren – es ermöglicht den Rädern einer angetriebenen Starrachse sich unterschiedlich schnell zu drehen.

Konstruktionsaufgabe

Eine Sonderform eines Planetengetriebes ist das Differenzialgetriebe: Es ist ein Planetengetriebe aus Kegelzahnrädern.

Abb. 1: Differenzialgetriebe

Konstruiere das Differenzial in Abb. 1. Was passiert, wenn ein solcherart über ein Differenzialgetriebe angetriebenes Fahrzeug um eine enge Kurve fährt?

Thematische Aufgabe

1. Welche Bewegungsänderung realisiert das Differenzialgetriebe?

2. Simuliere, dass ein Rad blockiert (z. B. beim Bremsen), indem du es fest hältst. Beschreibe, was passiert.

Experimentieraufgabe

1. Was passiert, wenn eines der Räder z. B. in sandigem Untergrund oder auf Eis durchdreht?

2. Als Maßnahme gegen durchdrehende Räder verfügen Geländefahrzeuge über eine „Differenzialsperre“, die das Differenzial quasi „überbrückt“. Wie könntest du so etwas an deinem Differenzialgetriebe ergänzen?

Lösungsblatt Getriebe Modell 9 – Differenzialgetriebe

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Technikgeschichtlicher Hinweis: Der Differenzialantrieb wurde 1828 von *Onésiphore Pecqueur* (1792–1852) als wesentliches Element seines Dampfautomobils patentiert. Er ähnelt allerdings sehr dem von *James White* bereits 1822 publizierten „Dynamometer“. Bekannt war das Differenzialgetriebe möglicherweise schon im 3. Jhd. n. Chr. bei den Chinesen: Wahrscheinlich verwendete es der Ingenieur *Ma Jun* (200-265) bei der Konstruktion eines mechanischen „Kompasswagens“, der immer in dieselbe Himmelsrichtung zeigte.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Bauanleitung für die Konstruktion des Differenzialgetriebes.

Konstruktionsaufgabe

Bei einer Kurvenfahrt dreht sich das innere Rad langsamer, während das äußere sich im gleichen Verhältnis schneller dreht: Die Antriebsgeschwindigkeit verteilt sich also auf die beiden Räder.

Thematische Aufgabe

1. Das Differenzialgetriebe überträgt die Drehung der Antriebsachse mit einem Kronrad auf eine um 90° gedrehte Abtriebsachse und nimmt dabei eine Übersetzung 1:3,2 ins Langsame vor.

2. Wenn ein Rad blockiert, dreht das andere mit der doppelten Geschwindigkeit der Antriebsachse.

Experimentieraufgabe

1. Wenn ein Rad durchdreht, bleibt das andere stehen, weil das Differenzial den Antrieb auf die Achse mit dem geringsten Widerstand überträgt.

2. Eine Differenzialsperre lässt sich z. B. durch eine zweite, zur Abtriebsachse parallele Achse realisieren, die auf jeder Seite des Differenzials über ein Zahnrad oder Kettengetriebe mit der Abtriebsachse verbunden werden kann, sodass die beiden seitlichen Achsen gleich schnell drehen müssen.

Anlagen

Bauanleitungen und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Modell 9: Bauanleitung Differenzialgetriebe

Aufgaben Getriebe Sekundarstufe I+II

Getriebe Aufgabe 1 – Balkenwaage (Hebel)

Um das Gewicht eines Gegenstands zu bestimmen müssen wir das Verhältnis des Gewichts zu einem festgelegten Referenz- oder Einheitswert kennen. Mit den in dieser und der nächsten Aufgabe vorgestellten Waagen gelingt das, indem zwei bewegliche Hebel in ein Gleichgewicht gebracht werden. Die Abbildung auf das Referenzgewicht erfolgt dann über eine geeignete Skala.

Konstruktionsaufgabe

Abb. 1: Balkenwaage

Baue die in Abb. 1 gezeigte Balkenwaage. Sie funktioniert nach dem Prinzip des Hebels: Erhöht man das Gewicht in der Waagschale (im Bild links), muss man zum Ausgleich das verschiebbare Gewicht aus den vier gelben Grundbausteinen (im Bild rechts) auf dem Waagbalken nach außen verschieben, damit der Zeiger (die schwarze Achse) wieder exakt auf die Spitze des roten Winkelsteins zeigt.

Schneide die Vorlage für die Skala der Waage aus und befestige sie mit zwei S-Riegeln links und rechts am schwarzen Winkelträger. Nimm‘ einen schwarzen Stift und markiere die „Nullstellung“ des Gewichts (bei leerer Waagschale), d. h. die Stelle, auf die die Spitze des roten Winkelsteins unter dem Gewicht auf der Skala zeigt, mit einem Strich und einer „0“.

Thematische Aufgabe

Jetzt muss die Waage noch kalibriert werden. Dafür musst du die Waagschale mit „Einheitsgewichten“ beschweren. Wenn du keine exakten Gewichte zur Verfügung hast, kannst du auch die Grundbausteine als „Einheitsgewicht“ verwenden. (Sie wiegen etwas über 5 g.)

Markiere durch Striche die jeweilige Position des roten Winkelsteins unter dem Gewicht auf der Skala, wenn das Gewicht so eingestellt ist, dass der Zeiger der Waage exakt auf den unteren Winkelstein zeigt. Auf diese Weise kannst du die Skala vervollständigen. Prüfe die Korrektheit deiner Kalibierung mit unterschiedlich schweren Objekten, deren Gewicht du kennst.

1. Wie groß ist der Abstand zweier 10-g-Markierungen auf der Skala?

2. Welches maximale Gewicht kannst du mit der Waage bestimmen?

3. Wenn die Waage im Gleichgewicht ist, welche physikalischen Größen sind dann gleich?

Experimentieraufgabe

1. Wie kannst du die Waage so verändern, dass sich der Messbereich verdoppelt? Nenne mindestens zwei Möglichkeiten.

2. Du möchtest eine genauere Auflösung der Waage. Wie kannst du das erreichen? (Auch dafür gibt es mehrere Möglichkeiten.)

Getriebe Aufgabe 2 – Neigungswaage (Hebel)

Der folgende Typ einer mechanischen Waage ist bis heute als Briefwaage sehr verbreitet.

Konstruktionsaufgabe

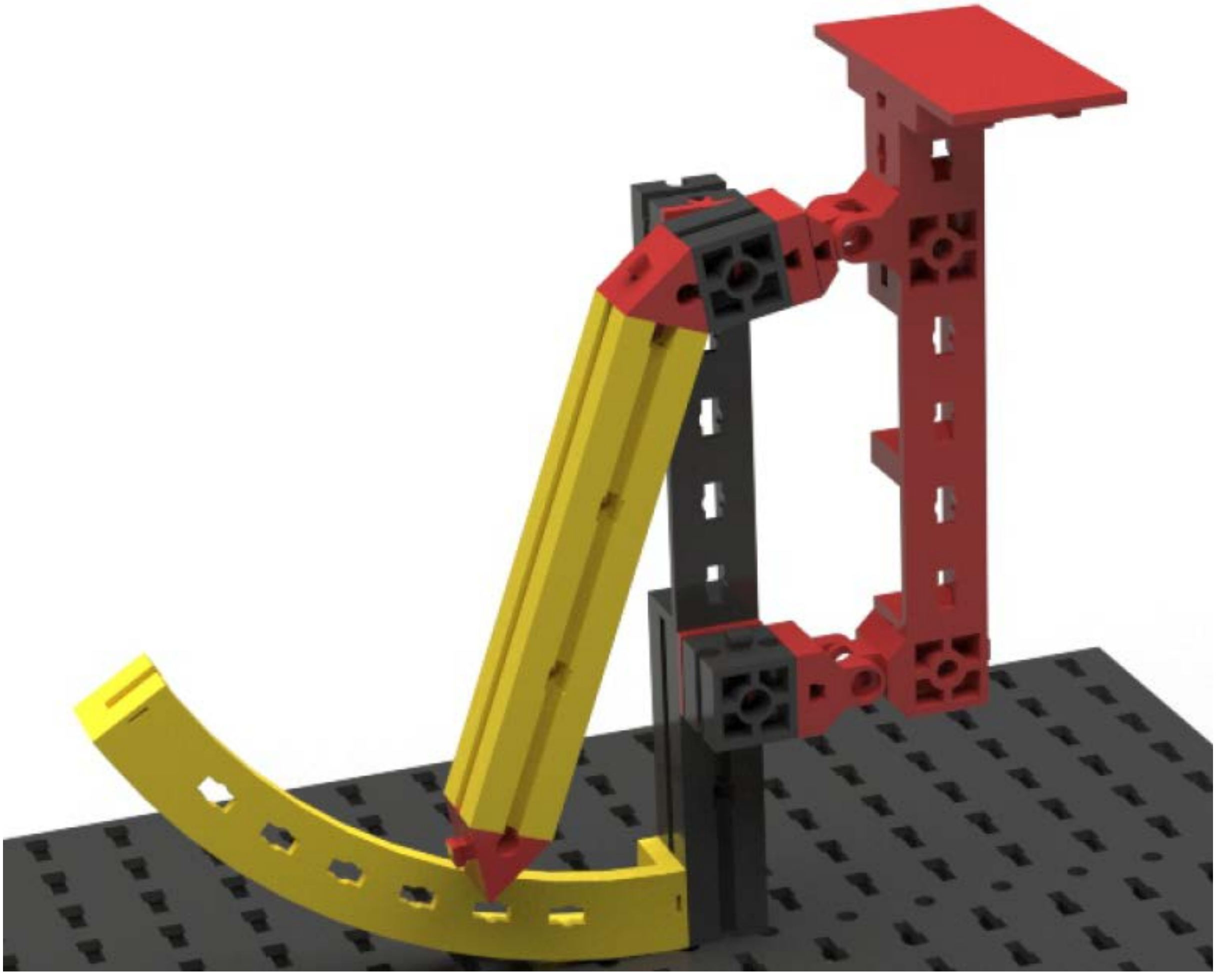


Abb. 2: Briefwaage

Konstruiere die Neigungswaage (Briefwaage) aus Abb. 2. Im Unterschied zur Balkenwaage muss bei dieser Waage kein Gewicht angepasst werden: Das auf der Waagschale (rechts) aufgelegte Gewicht sorgt für eine entsprechende Auslenkung des linken Zeigers (gelbe Grundbausteine mit Winkelstein an der Spitze). Die Waage ist in einem stabilen Gleichgewicht.

Schneide die Vorlage für die Skala der Briefwaage aus und befestige sie mit zwei S-Riegeln links und rechts am gelben, gebogenen Winkelträger. Nimm‘ einen schwarzen Stift und markiere die „Nullstellung“ der Waage (bei leerer Waagschale), d. h. die Stelle, auf die die Spitze des roten Winkelsteins auf der Skala zeigt, mit einem Strich und einer „0“.

Thematische Frage

Jetzt muss auch diese Waage noch kalibriert werden. Dafür musst du die Waagschale wieder mit „Einheitsgewichten“ beschweren (siehe Aufgabe 1). Markiere durch Striche die jeweilige Position der Spitze des roten Winkelsteins auf der Skala. Prüfe die Korrektheit deiner Kalibrierung mit unterschiedlich schweren Objekten, deren Gewicht du kennst.

Welches maximale Gewicht kannst du mit dieser Waage messen?

Experimentieraufgabe

1. Wie kann man bei dieser Waage den Messbereich vergrößern?

2. Wie kann man bei dieser Waage die Messung verfeinern? (Auch hier gibt es mehrere Möglichkeiten, das zu erreichen.)

3. Warum werden die Abstände zweier z. B. 10-g-Markierungen auf der Skala mit zunehmendem Gewicht kleiner?

Getriebe Aufgabe 3 – Flaschenzug und Wellrad

Eines der ältesten Getriebe überhaupt ist der Flaschenzug. Ohne ihn wären die beeindruckenden Steingebäude der Antike nie entstanden. Ein Flaschenzug bewirkt eine Kraftverstärkung, indem der Hub auf mehrere Seilschlingen verteilt wird. Die geleistete Arbeit – das Anheben eines Gewichts – bleibt dabei dieselbe, dafür muss (mit weniger Kraft) länger gezogen werden.

Konstruktionsaufgabe

Konstruiere zunächst den einfachen Flaschenzug in Abb. 3.

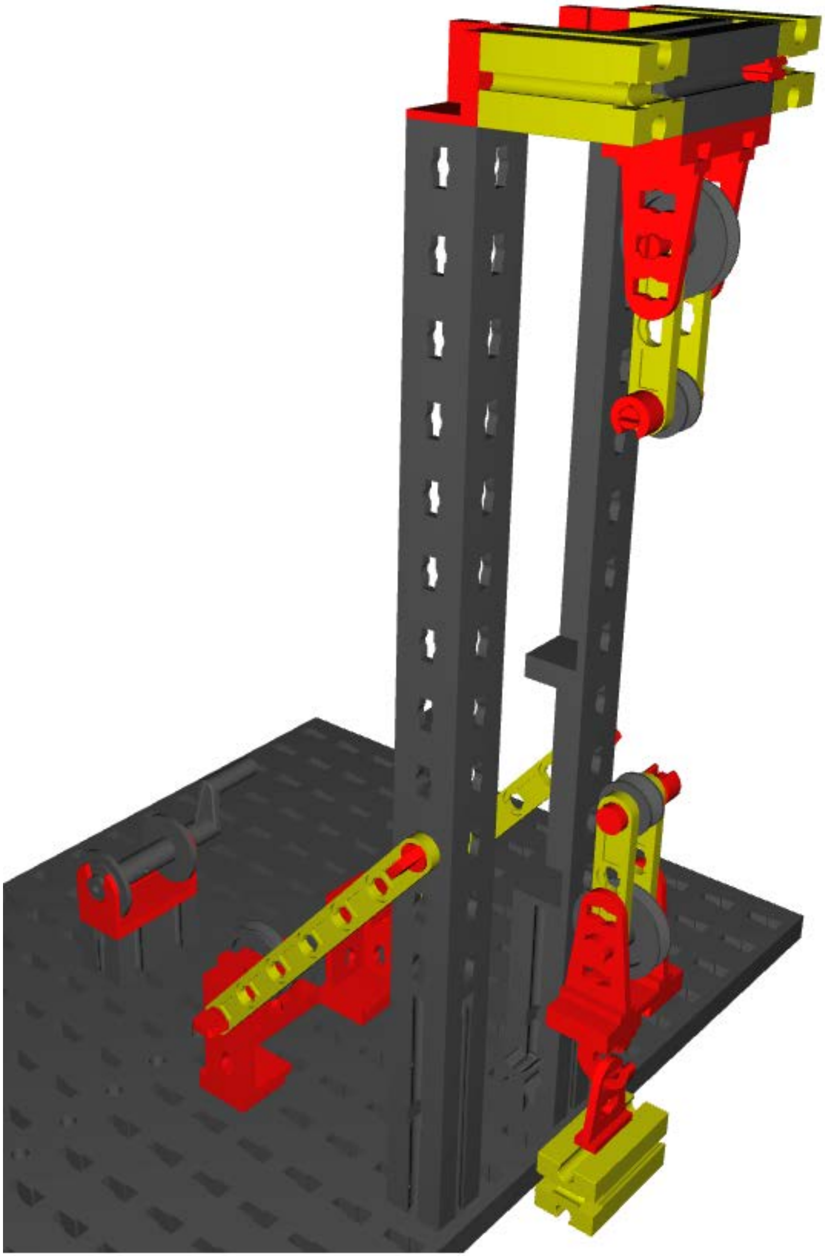
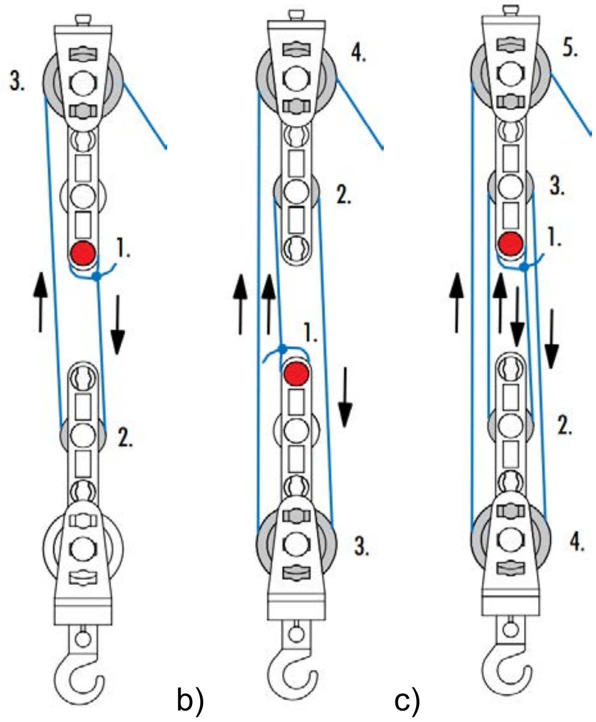


Abb. 3: Flaschenzug mit bis zu vier Rollen

Thematische Frage

In Abb. 4 sind drei verschiedene Seilführungen gezeigt, die jeweils zwei, drei und vier Rollen des Flaschenzugs verwenden. Setze sie nacheinander um und beantworte jeweils die unten stehenden Fragen.



a) b) c)

Abb. 4: Drei verschiedene Seilführungen mit a) zwei, b) drei und c) vier Rollen

1. Wie viele Kurbel-Umdrehungen benötigt die Seilwinde ohne Flaschenzug und wie viele in den Fällen a), b) und c), um einen Gegenstand um 10 cm anzuheben?

2. Welche Kraftverstärkung bewirken die drei Flaschenzug-Versionen a), b) und c) gegenüber einem Seilzug ohne Flaschenzug?

3. Warum wird dieser Flaschenzug-Typ auch „Faktorenflaschenzug“ genannt?

Experimentieraufgabe

Ergänze den Flaschenzug nun – wie in Abb. 5 gezeigt – um ein Wellrad.

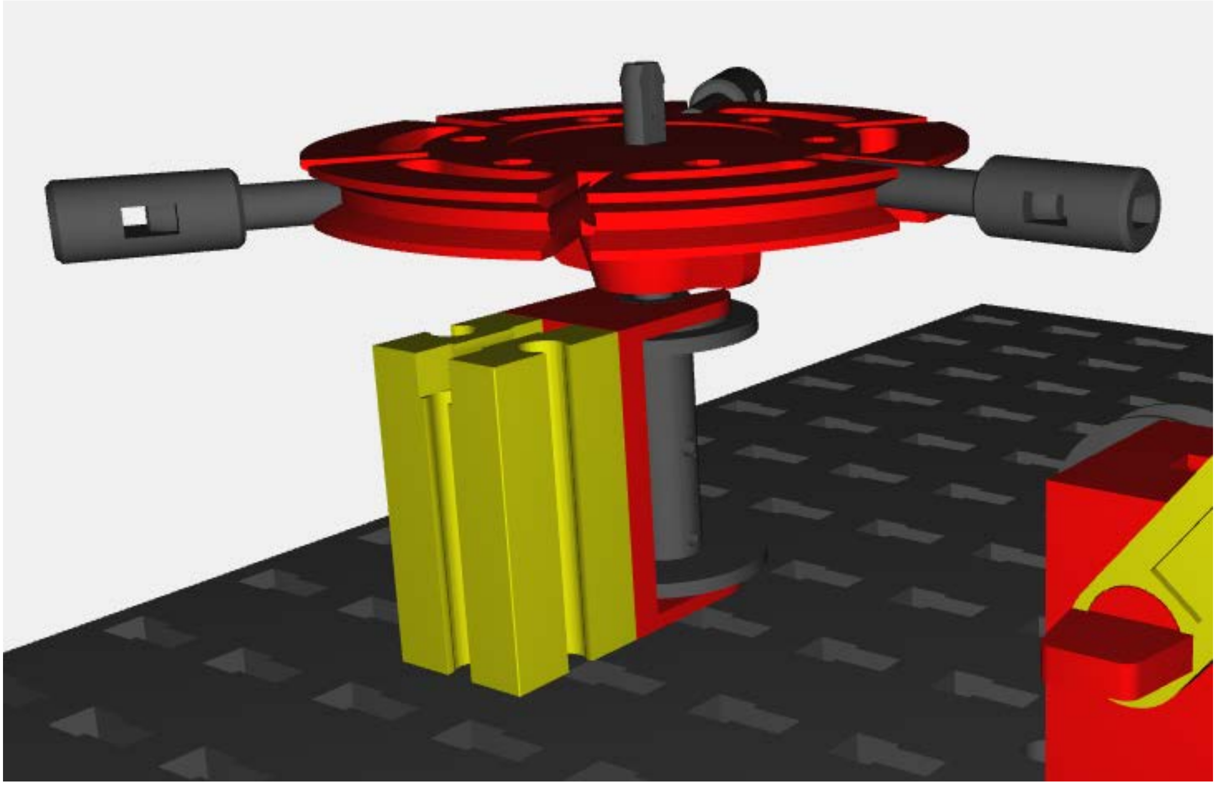


Abb. 5: Wellrad zum Flaschenzug

Die Wirkung des Wellrads kannst du dir klarmachen, indem du es dir als Hebel vorstellst: Die Kraftwirkung auf der Mitte des Rastadapters kannst du umrechnen in die Kraftwirkung der Seiltrommel auf das Seil.

1. Welche Kraftverstärkung bewirkt das Wellrad mit a) einer Rastachse 30 und b) einer Rastachse 45 als Hebel?

2. Welchen „Preis“ bezahlt man beim Wellrad für die Kraftverstärkung?

3. Welche Kraftverstärkung ist einfacher zu erzielen – die am Wellrad oder die des Flaschenzugs? Nenne verschiedenen Vor- und Nachteile der beiden Kraftverstärker.

Getriebe Aufgabe 4 – Kurbelschwinge, Scherenhub und Schubkurbel

Antriebe erzeugen in der Regel eine Drehbewegung. Für den Abtrieb wird jedoch oft eine Hin- und Her-Bewegung benötigt. Das gelingt mit Kurbelschwingen, einem Scherenhub und Schubkurbeln. Schubkurbeln spielen in Verbrennungsmotoren als „Kurbelwelle“ eine zentrale Rolle: Sie wandeln die Schubbewegung der Kolbenstange in eine Drehbewegung der Abtriebswelle.

Konstruktionsaufgabe

Das in Abb. 6 gezeigte Getriebe ist eine „Kurbelschwinge“: Damit wird eine Kreisbewegung (die der Exzenterscheibe) in eine Schwingbewegung umgewandelt: Die Achse am oberen Ende des beweglich gelagerten Grundbausteins bewegt sich entlang eines Kreisbogens. Eine typische Anwendung für eine Kurbelschwinge ist ein einfacher Scheibenwischer.

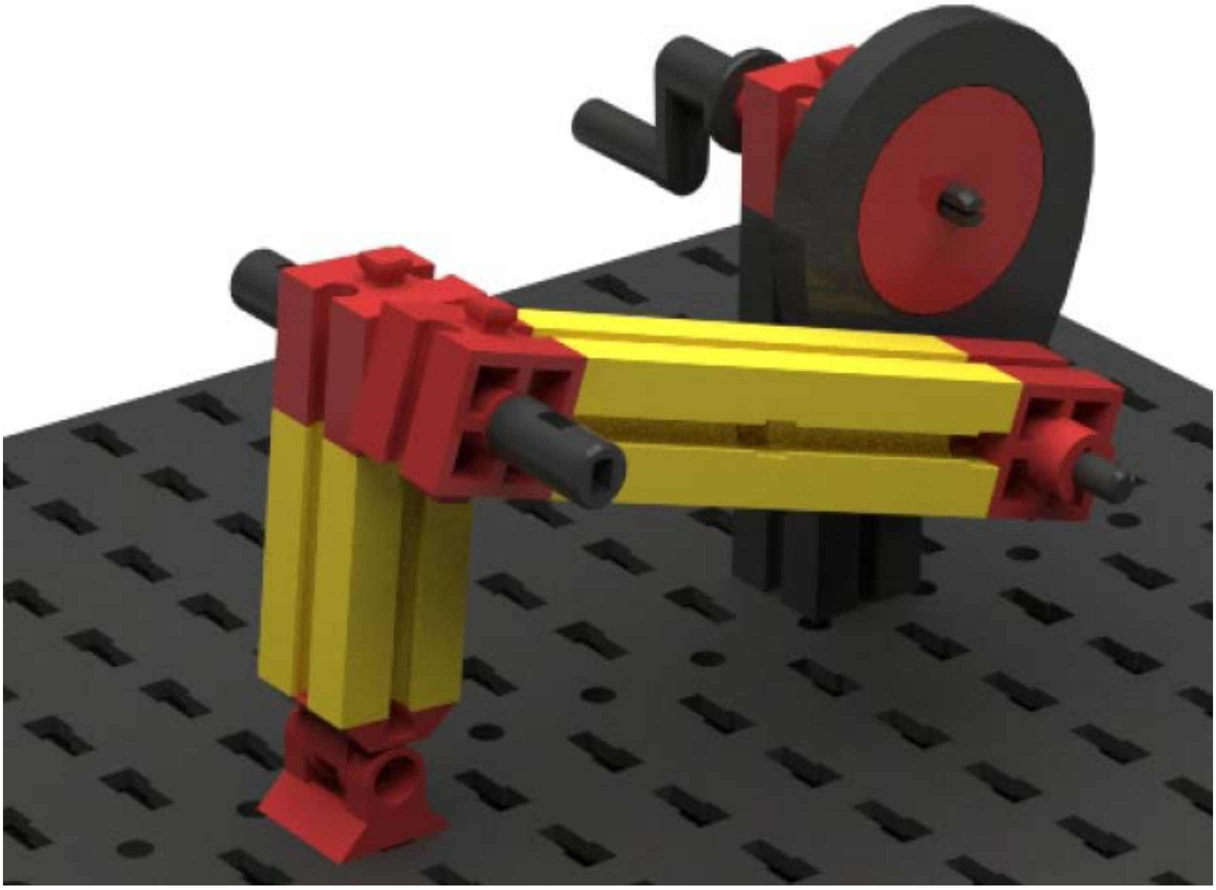


Abb. 6: Kurbelschwinge

Erweitere die Kurbelschwinge zu einem Scheibenwischer mit zwei auseinander liegenden Wischblättern. (Die Wischblätter kannst du durch seitlich mit einem S-Riegel am Grundbaustein befestigte Statik-Streben simulieren.)

Experimentieraufgabe

1. Abb. 7 zeigt einen Wagenheber mit Scherenhub, der mit einem Schneckengetriebe angehoben wird. Das Getriebe ist selbstsperrend, d. h. der Wagenheber bleibt stabil in der Position, die mit dem Schneckengetriebe eingestellt wurde.

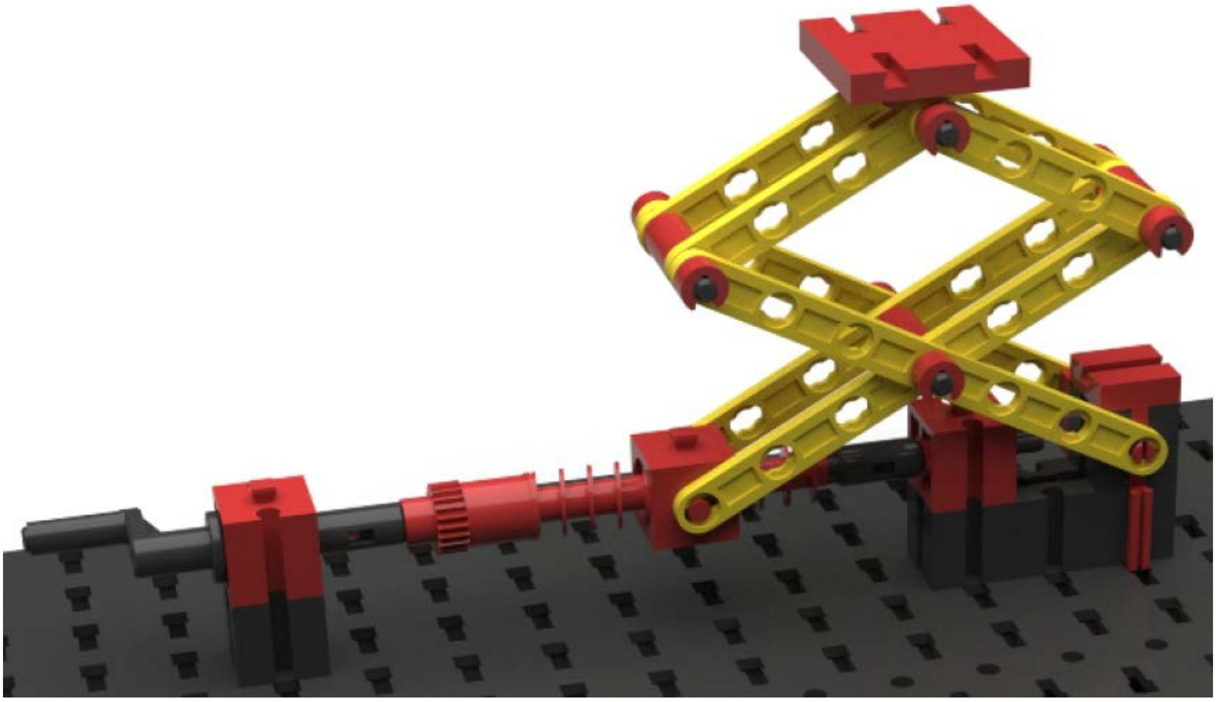


Abb. 7: Wagenheber mit Scherenhub und Schneckengetriebe

Baue den Wagenheber entsprechend der Abbildung. Dabei wirst du feststellen, dass der Wagenheber sich überraschend weit hebt. Überlege: Wie ließe sich der Hub weiter vergrößern? Nenne mehrere Möglichkeiten und vergleiche sie.

2. Ein der Kurbelschwinge sehr ähnliches Getriebe ist die in Abb. 8 gezeigte „Schubkurbel“. Anders als bei der Kurbelschwinge wird hier die Kreisbewegung der Exzenterscheibe jedoch nicht in eine Schwing-, sondern in eine Schubbewegung umgewandelt: Die Führung durch die Metallachse sorgt dafür, dass sich der Baustein 15 mit Bohrung auf einer geraden Linie hin und her bewegt.

Neben der bereits genannten Funktion als Kurbelwelle im Fahrzeugantrieb gibt es weitere sinnvolle Einsatzmöglichkeiten – z. B. als „Vorschubgetriebe“.

Erweitere die Schubkurbel zu einem solchen Vorschubgetriebe, das auf der Grundplatte ein Blatt Papier gleichmäßig um ein fest definiertes Stück weiterschiebt. Demonstriere die Funktionsweise.

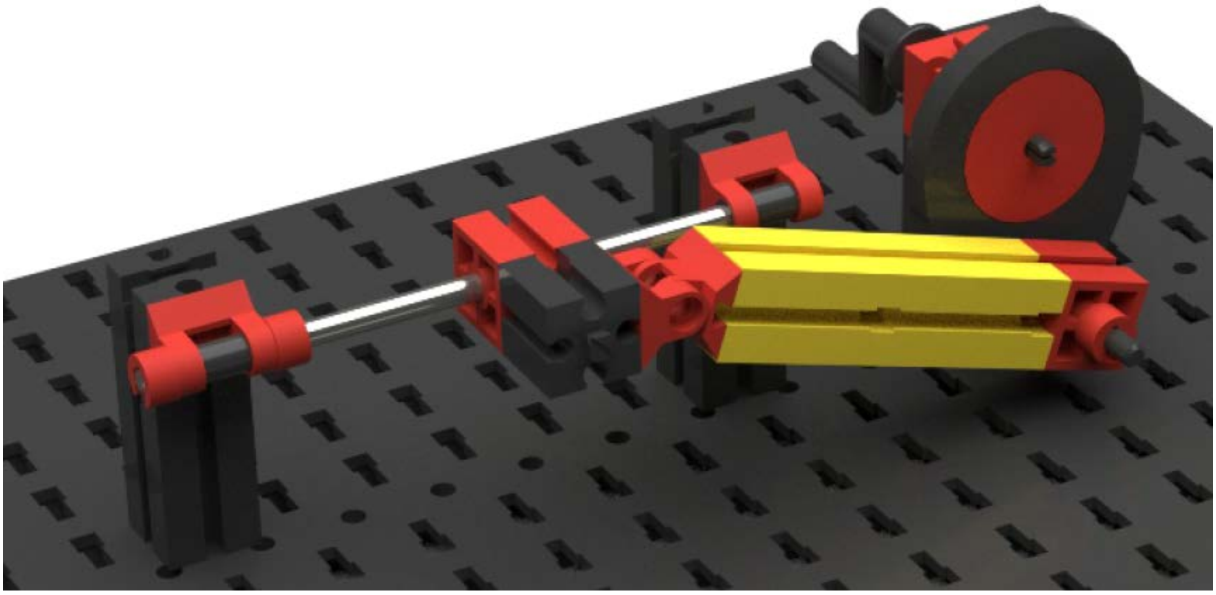


Abb. 8: Schubkurbel

Getriebe Aufgabe 5 – Kardanwelle

Manchmal liegen Antriebs- und Abtriebswelle eines Getriebes weder in einer Flucht noch parallel zueinander, sondern stoßen in einem stumpfen Winkel aufeinander. Dann muss die Bewegungsrichtung der Welle geändert werden. Das gelingt mit einem Kardangetriebe, auch als Kreuz- oder Kardangelenk bezeichnet.

Konstruktionsaufgabe

Baue das in Abb. 9 abgebildete Kardangelenk nach. In welchem Winkel stehen die Antriebs- und die Abtriebsachse zueinander?

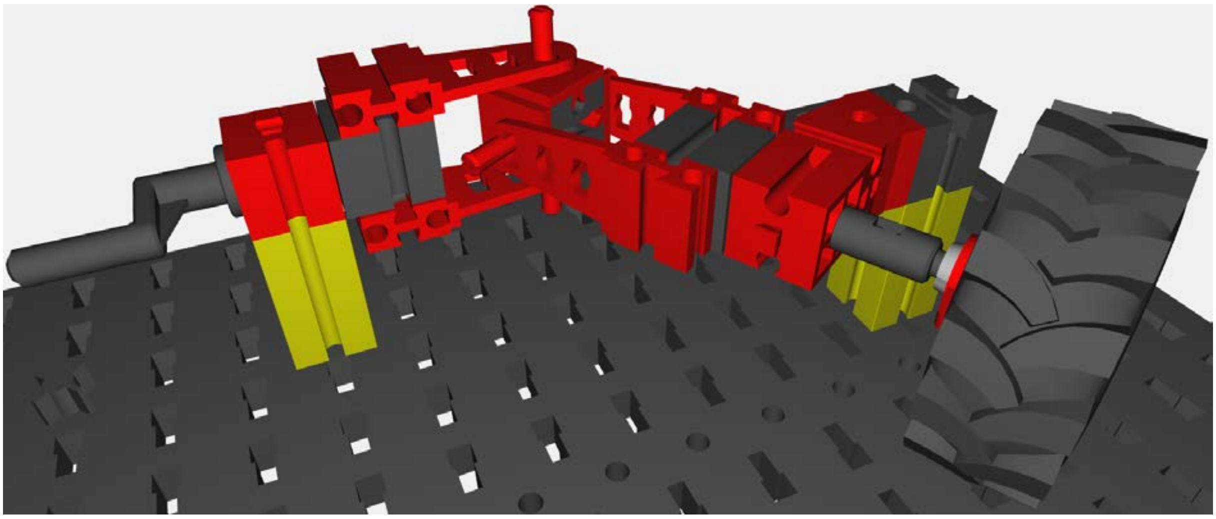


Abb. 9: Kardangelenk

Wenn du die Antriebswelle über die Kurbel antreibst, wirst du feststellen, dass die Bewegung der Abtriebswelle nicht in derselben Gleichmäßigkeit erfolgt: Sie dreht sich mal schneller, mal langsamer als die Antriebswelle. Diesen Effekt nennt man „Kardan-Fehler“.

Thematische Aufgabe

Verlängere nun die Antriebswelle mit einer Rastkupplung und einer Rastachse 45 und die Abtriebswelle, indem du die Rastachse 30 durch eine Rastachse 45 ersetzt. Ergänze auf der Antriebswelle eine Drehscheibe 60 mit einer Flachnabe so, dass die Nabenmutter in Richtung Kardangelenk zeigt, und ergänze eine zweite Lagerung, bevor du die Rastkurbel wieder ansteckst. Ersetze das Rad durch eine zweite Drehscheibe 60 mit Flachnabe; hier muss die Nabenmutter vom Kardangelenk weg zeigen. Verlängere schließlich die Lagerung der Antriebswelle um einen Baustein 15 mit aufgesetztem Winkelstein 60° und die Abtriebswelle um eine weitere Lagerung, ebenfalls mit einem Baustein 15 mit aufgesetztem Winkelstein, um die Winkelscheibe besser ablesen zu können (siehe Abb. 10).

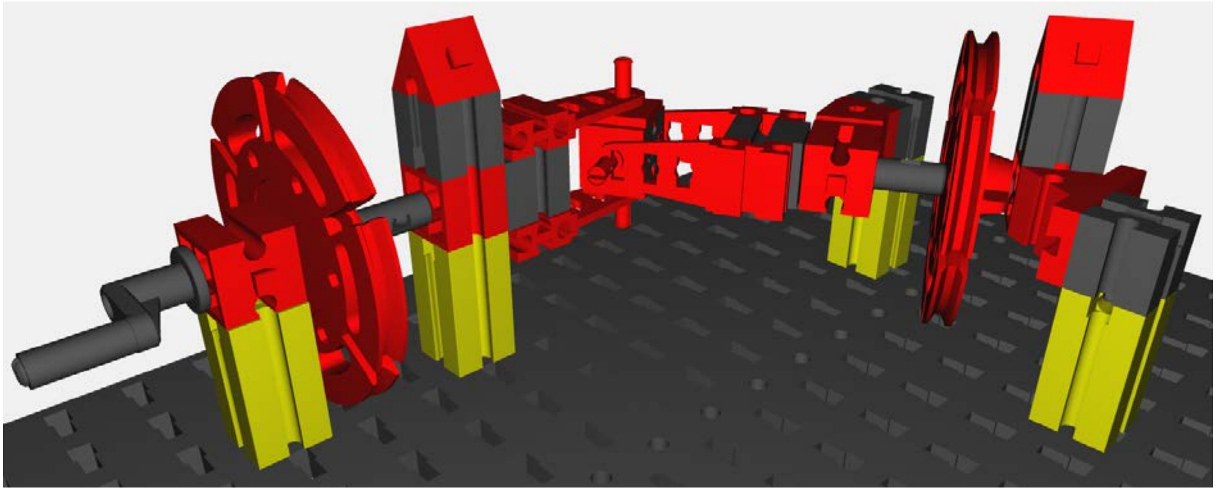


Abb. 10: Erweiterung des Kardangelenks um zwei Winkelmesser

Schneide die beiden Winkelscheiben (Abb. 11) aus, schneide in die Mitte ein Loch und schiebe sie so auf die beiden Achsen vor den Drehscheiben, dass sie auf der Antriebsachse zwischen Kurbel und Drehscheibe und auf der Abtriebsachse zwischen Rastkupplung und Drehscheibe eingeklemmt sind. Du kannst sie auch mit transparentem Klebeband an der Drehscheibe befestigen.

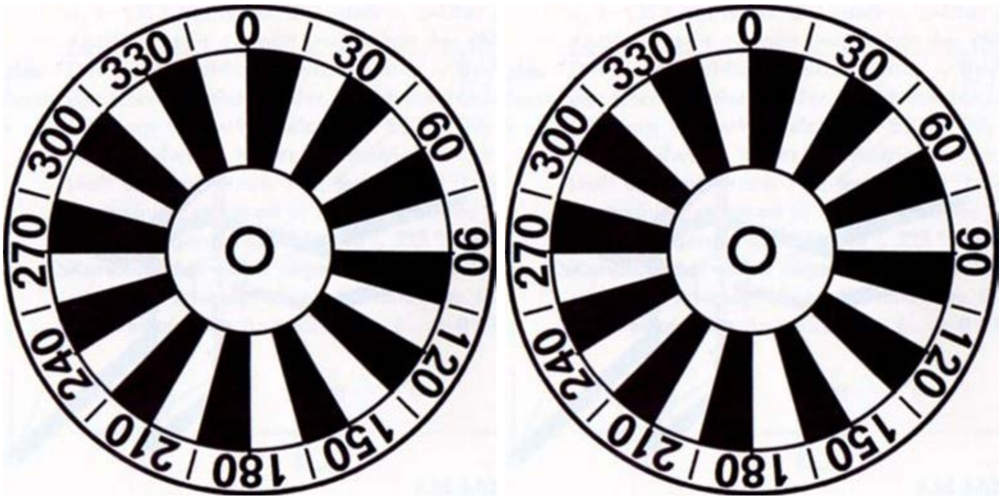


Abb. 11: Scheiben mit Gradeinteilung als Winkelmesser

Bringe das Kardangelenk in dieselbe Position wie in Abb. 10 und richte die beiden Winkelmesser so aus, dass die Spitze des roten Winkelsteins mit der 0°-Anzeige „fluchtet“. Drehe nun die Kurbel in 15°-Schritten von 0° bis 180° und notiere den auf dem zweiten Winkelmesser auf der Abtriebsachse angezeigten Winkelwert.

Trage die Messergebnisse und die jeweilige Abweichung der Abtriebs- von der Antriebsachse („Delta“) in die folgende Tabelle ein.

Drehwinkel Antrieb	Drehwinkel Abtrieb	Δ	Drehwinkel Antrieb	Drehwinkel Abtrieb	Δ
0°	0°	0°	**90°**	90°	0°
15°			**105°**		
30°			**120°**		
45°			**135°**		
60°			**150°**		
75°			**165°**		
90°	90°	0°	**180°**	180°	0°

Experimentieraufgabe

Wie du gesehen hast, kann der Kardan-Fehler eines Kardangelenks erheblich sein. Der Fehler ist umso größer, je größer der Winkel ist, um den die Welle ausgelenkt wird.

Interessant ist aber: Wenn wir zwei Kardangelenke so zu einer Kardanwelle „hintereinanderschalten“, dass Antriebs- und Abtriebswelle parallel liegen, dann heben sich die Kardan-Fehler der beiden Kardangelenke auf. Daher werden Kardangelenke bei gleichmäßigen Antrieben in der Praxis meist nur bei geringer Auslenkung oder paarweise in Gestalt einer Kardanwelle eingesetzt.

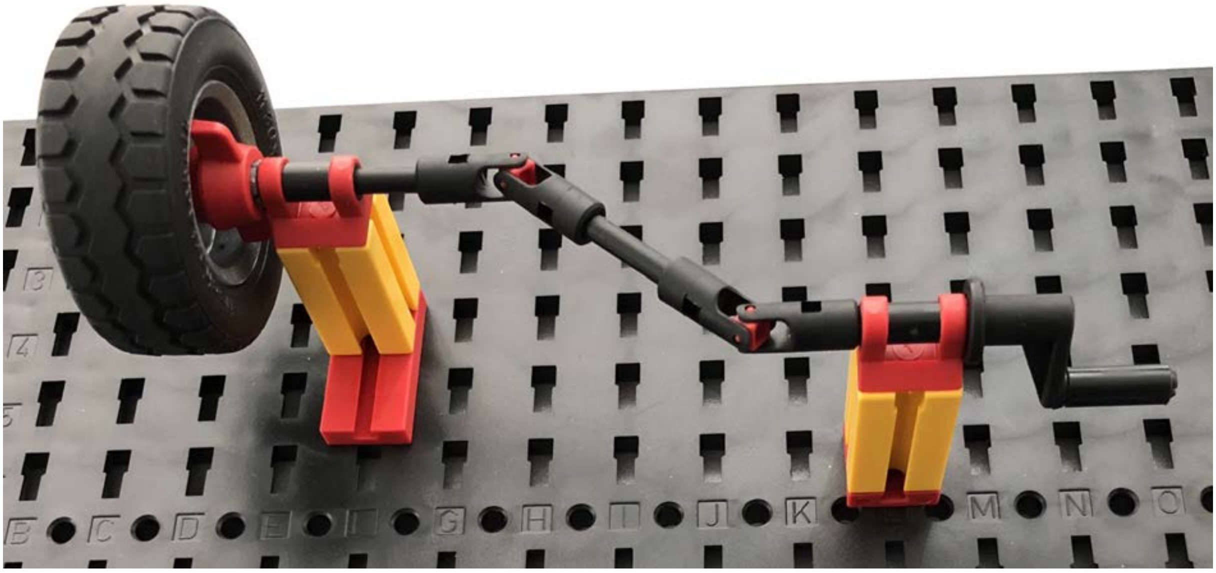


Abb. 12: Kardanwelle mit zwei Kardangelenken

Abb. 12 zeigt eine solche Kardanwelle. Konstruiere sie nach und löse mit ihrer Hilfe die folgenden Aufgaben.

1. Wie groß ist der maximale Winkel, in dem die beiden Kardangelenke noch „sauber“ drehen?

2. Montiere die beiden Winkelmesser auf der Antriebs- und der Abtriebswelle der Kardanwelle und überprüfe, ob der Kardanfehler tatsächlich aufgehoben ist.

3. Welche weiteren Getriebe fallen dir ein, mit denen man einen der Kardanwelle entsprechenden Achsversatz von Antrieb zu Abtrieb erreichen kann? Was sind deren Vor- oder Nachteile im Vergleich mit einer Kardanwelle?

Getriebe Aufgabe 6 – Schaltgetriebe

Getriebe, deren Übersetzung veränderlich ist, nennen wir Schaltgetriebe. Schaltgetriebe werden in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor benötigt, da diese Motoren nur in einem relativ schmalen Drehzahlbereich einen hohen Wirkungsgrad besitzen. Durch das Schaltgetriebe kann die Umdrehungsgeschwindigkeit der Antriebsachse auf unterschiedliche Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse übersetzt werden.

Konstruktionsaufgabe

Schaltgetriebe werden meist aus Zahnradgetrieben konstruiert. Im Folgenden unterscheiden wir die verwendeten Zahnräder anhand ihrer Zähnezahl: Das Zahnrad mit 30 Zähnen nennen wir Z30, das mit zehn Zähnen Z10 usw.

In Abb. 13 siehst du einen Antriebsstrang (mit Kurbel, vorne) und eine Abtriebswelle (mit Rad, hinten rechts im Bild). Dazwischen befindet sich eine (leere) Getriebeachse, die sich über einen Hebel (rechts) horizontal verschieben lässt.

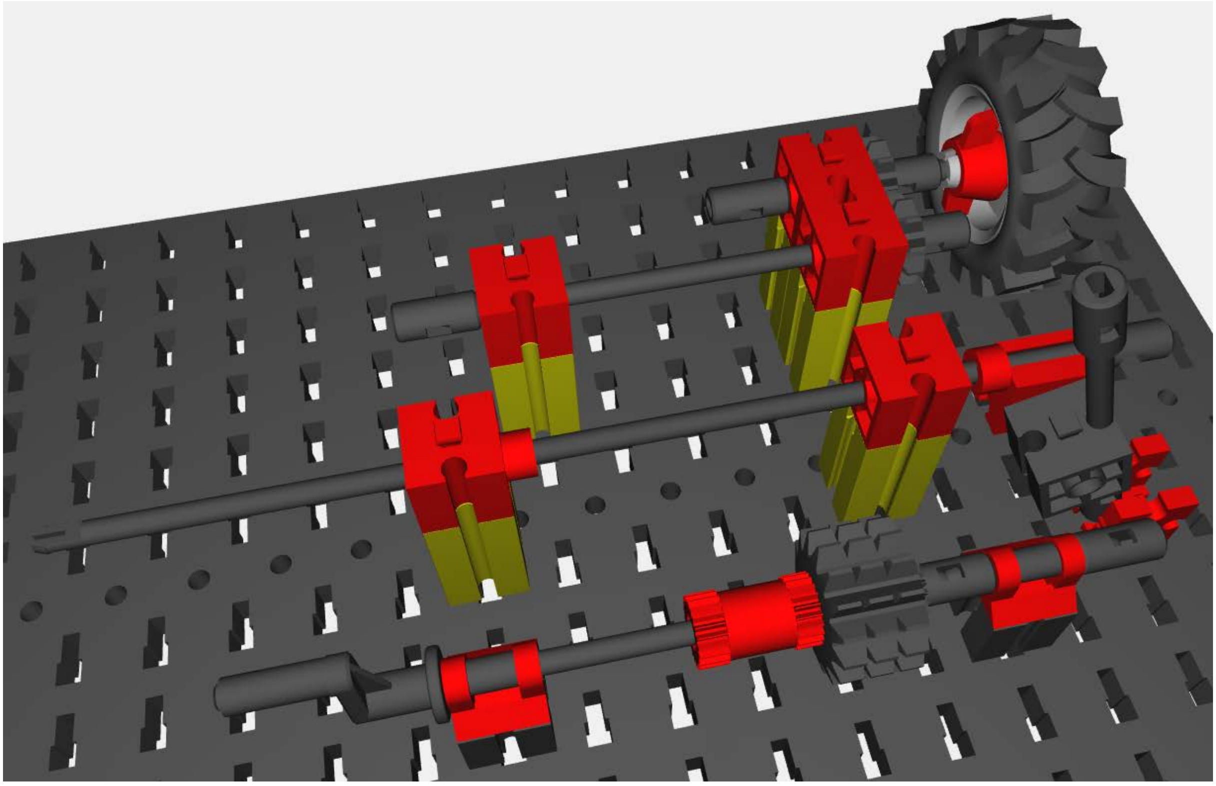


Abb. 13: Schaltgetriebe – Basiskonstruktion

Erweitere diese Ausgangskonstruktion zu einem Schaltgetriebe, mit dem zwei unterschiedliche Übersetzungen (auch „Gänge“ genannt) gewählt werden können.

Thematische Aufgabe

1. Welche Übersetzungen realisiert dein Getriebe? Wie groß ist der Unterschied der Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse (bei gleicher Geschwindigkeit der Antriebsachse) in den beiden Gängen?

2. Dein Schaltgetriebe ist eines von mehreren, die mit den gegebenen Zahnrädern (Z10, Z15, Z20, Z30, Z40) konstruiert werden können. Welche weiteren Zweigang-Schaltgetriebe könntest du mit diesen Zahnrädern (und erforderlichenfalls anderen Abständen zwischen den Getriebeachsen) realisieren?

Experimentieraufgabe

1. Erweitere dein Zweigang-Schaltgetriebe zu einem Dreigang-Schaltgetriebe. Welche Übersetzungen realisiert dein Getriebe? Sind noch andere Konstruktionen möglich?

2. Ergänze dein Dreiganggetriebe um einen Rückwärtsgang.

Getriebe Aufgabe 7 – Uhrengetriebe

Konstruktionsaufgabe

Eines der raffinierten technischen Details einer Uhr ist, dass mehrere Zeiger – mindestens der Stunden- und der Minutenzeiger – sich auf ein und derselben Achse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten drehen.

Wir realisieren das mit einer „Freilaufnabe“: Der Minutenzeiger wird von der Metallachse in Abb. 14 angetrieben, während die auf derselben Achse lose mit der schwarzen Freilaufnabe aufgesetzte Drehscheibe 60 vom dahinter liegenden Z40 bewegt wird.

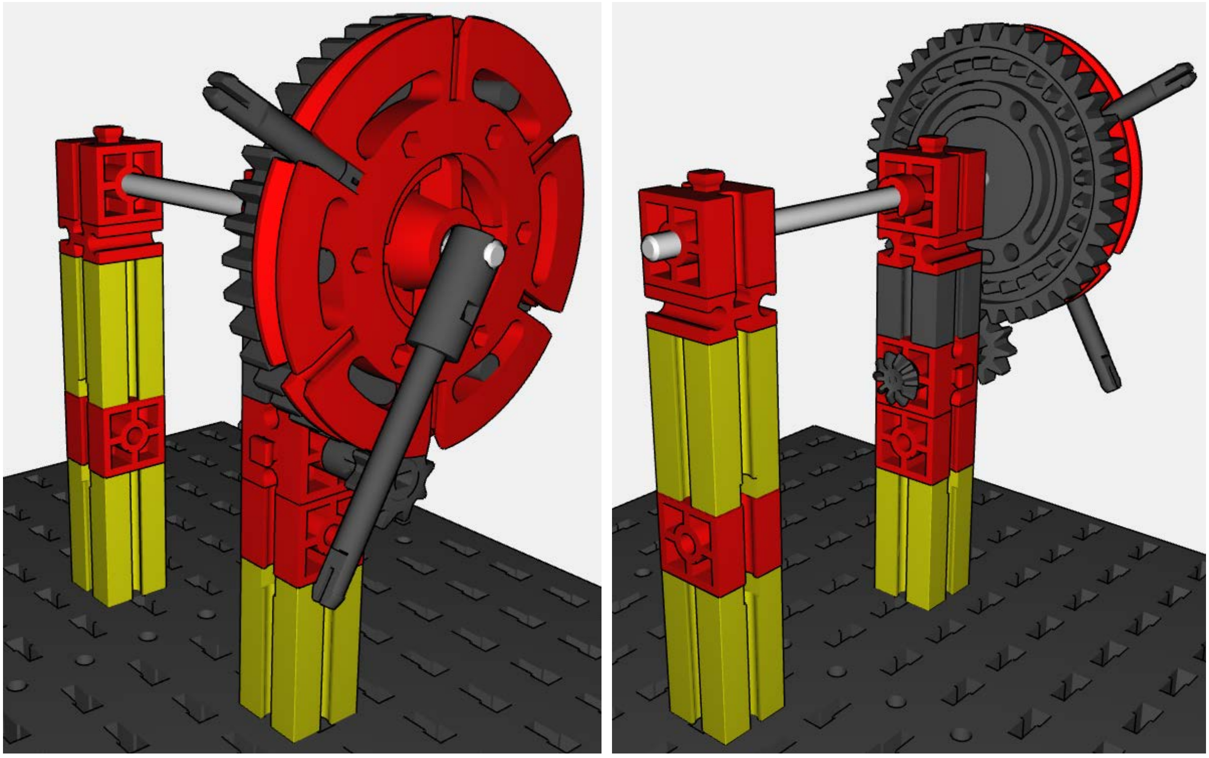


Abb. 14: Uhrengetriebe – Basiskonstruktion Zeiger, Vorder- und Rückansicht

Die Uhr soll nun mit einer einzigen Antriebswelle betrieben werden: der Achse, auf der der Minutenzeiger sitzt. Wenn sich nun der Stundenzeiger (die Drehscheibe 60 bzw. das Z40) in Abhängigkeit von dieser Welle drehen soll: Welche Übersetzung wird dann zwischen dem Minutenzeiger und der Drehscheibe 60 benötigt?

Thematische Aufgabe

Konstruiere jetzt das Getriebe zum Antrieb des Stundenzeigers, ausgehend von der Zeiger-Welle als Antriebsachse.

Gehe dazu „rückwärts“ vor: Betrachte das Z10 unterhalb des Z40. Welche Übersetzung liegt hier zwischen der Welle des Z10 und der Drehscheibe 60 vor? Welche Übersetzung ist dann noch zwischen der Welle des Z10 und der des Minutenzeigers erforderlich?

Frage dich nun, mit welchen Zahnrädern du diese Übersetzung realisieren kannst, und baue dann diese Übersetzung so ein, dass sie die Minutenzeiger-Welle mit dem Z10 unterhalb der Drehscheibe 60 verbindet.

Experimentieraufgabe

1. Die Anzeige von 12 Stunden auf dem Zifferblatt einer Uhr ist üblich, aber nicht zwingend. Natürlicher wäre es, alle Stunden eines Tages in einer Umdrehung anzuzeigen, das Zifferblatt also in 24 Stunden aufzuteilen. Wie müsste das dafür erforderliche Getriebe aussehen? Kannst du es konstruieren?

2. Es fehlt noch ein Antrieb für die Uhr. Wir wollen das mit einer Kurbel realisieren.

Konstruiere seitlich neben der Uhr einen Kurbel-Antrieb mit einem Zahnrad mit Sperre so, dass mit jedem „Klick“ der Sperre (also jedem Zahn des Zahnrads) die Uhrzeiger sich genau um eine Minute weiterbewegen.

Getriebe Aufgabe 8 – Planetengetriebe

Für viele praktische Anwendungen sind Getriebe besonders geeignet, bei denen die Bewegungsänderung koaxial erfolgt, d. h. An- und Abtriebswelle in einer Flucht liegen. Sie sind kompakt, lassen sich einfach verbauen und leicht miteinander kombinieren.

Konstruktionsaufgabe

Abb. 15 zeigt ein koaxiales Getriebe mit Kegelzahnrädern. Baue das Getriebe nach. Welche Bewegungsänderung bewirkt es?

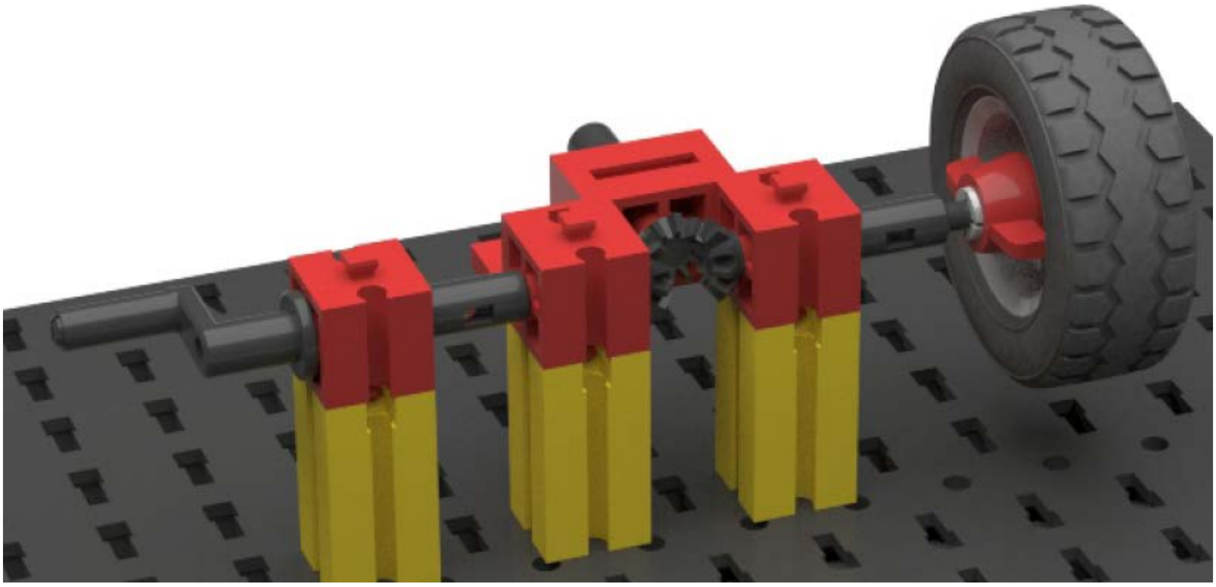


Abb. 15: Koaxiales Kegelradgetriebe

Ein koaxiales Getriebe kann auch eine Übersetzung enthalten. Das Getriebe in Abb. 16 verwendet ein Kronradgetriebe. Baue es nach. Welche Übersetzung realisiert es?

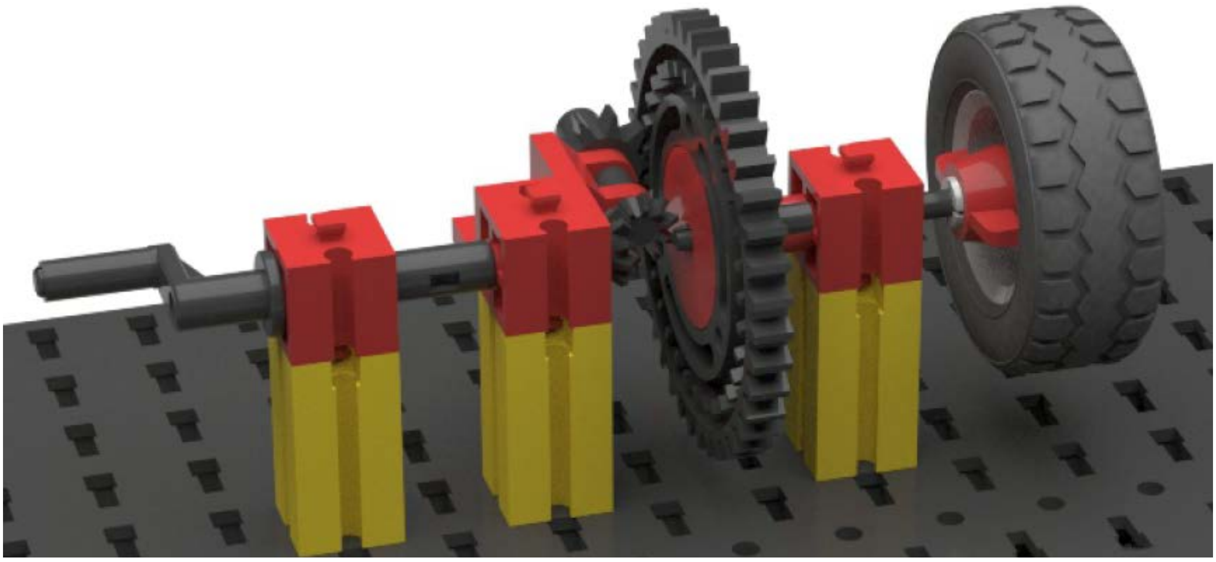


Abb. 16: Koaxiales Übersetzungsgetriebe mit Kronrad

Thematische Aufgabe

Planetengetriebe sind eine besondere Form koaxialer Übersetzungsgetriebe. Sie werden in der Regel als Stirnradgetriebe konstruiert, d. h. die Zähne der Zahnräder stehen senkrecht zur Achse (Welle). Planetengetriebe bestehen aus

- einem „Sonnenrad“ (einem Zahnrad in der Mitte),
- mehreren „Planetenrädern“, die um das Sonnenrad „kreisen“ und deren Wellen über einen Steg miteinander verbunden sind und
- einem „Hohlrad“, in dessen Innenzahnrad die Zähne der Planetenräder eingreifen.

Planetengetriebe lassen sich sehr kompakt konstruieren. Je nachdem, welche der drei Wellen eines Planetengetriebes – die des Sonnenrads, die des Stegs oder die des Hohlrads – man „fest“ montiert, erreicht man eine andere Übersetzung.

Betrachte und konstruiere zunächst das folgende Planetengetriebe mit festem Steg und dem Sonnenrad auf der Antriebswelle (Abb. 17):

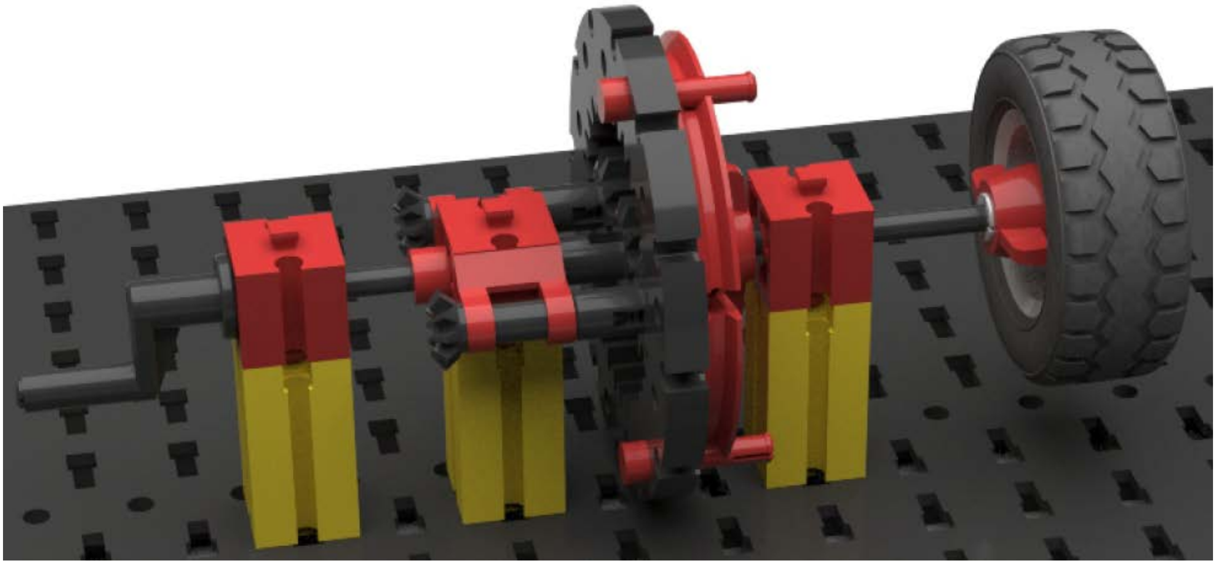


Abb. 17: Planetengetriebe mit festem Planetenradträger (Steg) und Sonnenradantrieb

Die Übersetzung dieses Planetengetriebes ist identisch mit der des folgenden einfachen Stirnradgetriebes (Abb. 18):

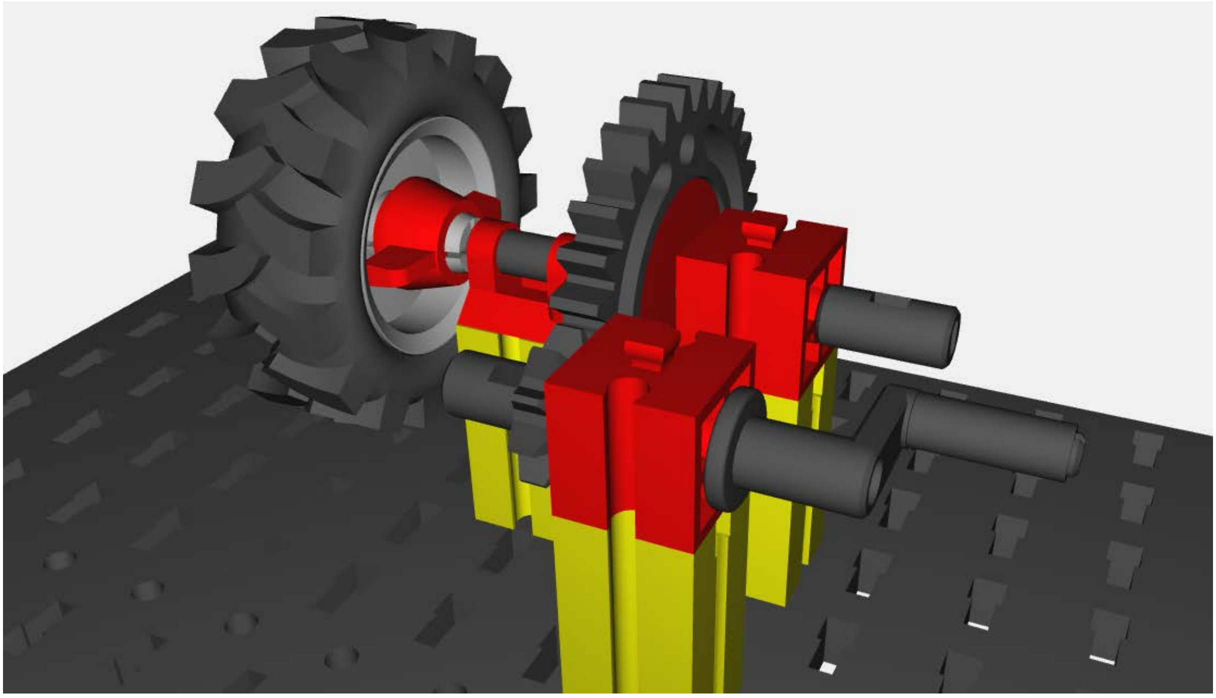


Abb. 18: Zum Planetengetriebe äquivalentes Stirnradgetriebe

Warum ist das so? Erläutere. Welches Übersetzungsverhältnis realisiert also das Planetengetriebe mit festem Steg und dem Sonnenrad als Antrieb?

Experimentieraufgabe

1. In dem Planetengetriebe in Abb. 17 ist der Steg fest. Konstruiere ein weiteres Planetengetriebe, in dem entweder das Sonnenrad oder das Hohlrad fest montiert ist.

2. Welche Übersetzungen erreicht man mit fischertechnik-Stirnrad-Planetengetrieben mit dem Innenzahnrad Z30? Vervollständige die folgende Tabelle:

Fest	Antrieb	Abtrieb	Übersetzung	Richtungsumkehr
Steg	Sonnenrad	Hohlrad		ja/nein
Steg	Hohlrad	Sonnenrad		ja/nein
Hohlrad	Sonnenrad	Steg		ja/nein
Hohlrad	Steg	Sonnenrad		ja/nein
Sonnenrad	Steg	Hohlrad		ja/nein
Sonnenrad	Hohlrad	Steg		ja/nein

Wie du gesehen hast, sorgen einige der Getriebe für eine Richtungsumkehr. Wir kennzeichnen sie in der Übersetzungsgleichung durch ein Minus-Zeichen („-“).

3. Durch das „Hintereinanderschalten“ von Planetengetrieben lassen sich große Übersetzungen realisieren. Betrachte die drei verschiedenen Planetengetriebe. Welche zwei (verschiedenen) Getriebe würdest du koppeln, um eine möglichst große Übersetzung ins Langsame zu realisieren?

Getriebe Aufgabe 9 – Differenzialgetriebe

Ohne Differenzialgetriebe könnte kein Auto um eine enge Kurve fahren – es ermöglicht den Rädern einer angetriebenen Starrachse sich unterschiedlich schnell zu drehen.

Konstruktionsaufgabe

Eine Sonderform eines Planetengetriebes ist das Differenzialgetriebe: Es ist ein Planetengetriebe aus Kegelzahnrädern.

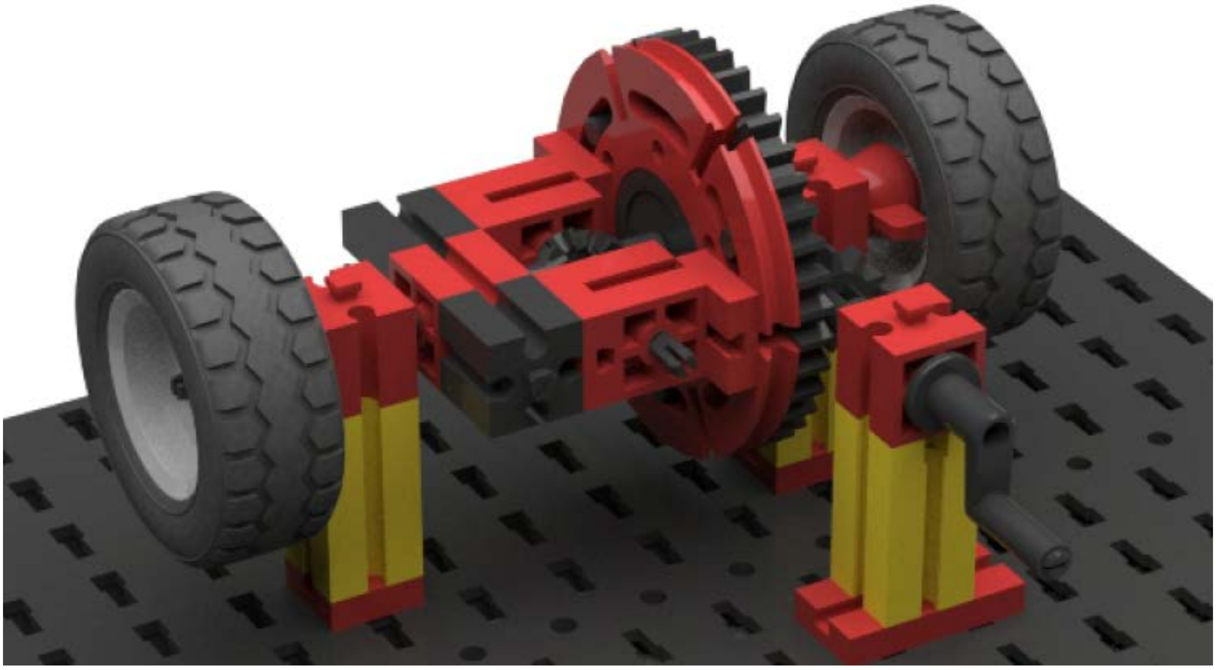


Abb. 19: Differenzialgetriebe

Konstruiere das Differenzial in Abb. 19. Was passiert, wenn ein solcherart über ein Differenzialgetriebe angetriebenes Fahrzeug um eine enge Kurve fährt?

Thematische Aufgabe

1. Welche Bewegungsänderung realisiert das Differenzialgetriebe?

2. Simuliere, dass ein Rad blockiert (z. B. beim Bremsen), indem du es festhälst. Beschreibe, was passiert.

Experimentieraufgabe

1. Was passiert, wenn eines der Räder z. B. in sandigem Untergrund oder auf Eis durchdreht?

2. Als Maßnahme gegen durchdrehende Räder verfügen Geländefahrzeuge über eine „Differenzialsperre", die das Differenzial quasi „überbrückt". Wie könntest du so etwas an deinem Differenzialgetriebe ergänzen?

Lösungsblatt Getriebe Sekundarstufe I+II

Die Schülerinnen und Schüler werden bei einzelnen Aufgaben durch die Bereitstellung einer Bauanleitung (siehe Anhang) bei der Konstruktion und der Lösung der Aufgaben unterstützt. Bei den Aufgaben, bei denen das sinnvoll ist, ist das jeweils zu Beginn des Lösungsblatts angegeben.

Getriebe Aufgabe 1 – Balkenwaage (Hebel)

Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Kopie der Messskalen zum Ausschneiden.

Thematische Aufgabe

Die Kalibrierung der Balkenwaage kann mit einem beliebigen „Einheitsgewicht“ erfolgen. Die Markierungen auf der Skala sollten in geeignet gewählte Teilstriche unterteilt werden.

1. Der Abstand der Teilstriche muss einheitlich sein, da das Ausgleichgewicht linear zur Erhöhung des Gewichts in der Waagschale verschoben wird. Der Abstand zweier 10-g-Markierungen sollte etwa 5 cm entsprechen.

2. Maximal kann man mit der Waage etwas mehr als 35 g abwiegen.

3. Wenn die Waage im Gleichgewicht ist, der Waagbalken also exakt horizontal ausgerichtet ist und der Zeiger der Waage auf die Spitze des roten Winkelsteins zeigt, stimmen das Drehmoment auf der rechten und der linken Seite der Achse überein.

Experimentieraufgabe

1. Den Messbereich der Waage kann man verdoppeln, indem man die Länge der im Bild rechten Seite des Waagbalkens verdoppelt oder die der linken Seite halbiert. Schließlich kann man das verschiebbare Ausgleichsgewicht auf der rechten Seite des Waagbalkens verdoppeln.

2. Eine genauere Auflösung der Waage erreicht man durch eine Verkleinerung des Gegengewichts oder durch eine Verlängerung der linken Seite des Waagbalkens. Um den Messbereich zu erhalten muss die rechte Seite des Waagbalkens entsprechend verlängert werden.

Getriebe Aufgabe 2 – Neigungswaage (Hebel)

Technikgeschichtlicher Hinweis: Die Neigungs- (oder auch Knickhebel-) Waage geht auf den Erfinder *Philipp Matthäus Hahn* (1739-1790) zurück, der sie um die Jahre 1764-1770 entwickelte. Hahn entwickelte für die Berechnung seiner astronomischen Uhren und Instrumente auch einige der ersten, auf Konstruktionsprinzipien von Leibniz aufbauende mechanische Rechenmaschinen.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Kopie der Messskalen zum Ausschneiden.

Thematische Frage

Die Kalibrierung der Briefwaage kann ebenfalls mit einem beliebigen „Einheitsgewicht“ erfolgen. Die Markierungen auf der Skala sollten in geeignet gewählte Teilstriche unterteilt sein; nach links (bei stärkerer Auslenkung des Zeigers) müssen die Teilstriche einen immer geringeren Abstand aufweisen.

Das maximal mit dieser Waage bestimmbare Gewicht liegt bei etwas mehr als 25 g.

Experimentieraufgabe

1. Der Messbereich lässt sich vergrößern, indem man das Gewicht des Zeiger-Arms der Waage erhöht. Das kann auch durch eine Verlängerung des Zeigers geschehen.

2. Die Verfeinerung der Waage erfolgt auch hier über eine Vergrößerung des rechten Hebels, z. B. indem der Abstand zwischen den beiden Drehachsen und den Gelenken durch Bausteine vergrößert wird, oder über eine Reduzierung des Gewichts des Zeiger-Arms der Waage, z. B. indem die Bausteine 30 durch Statikteile ersetzt werden. Dabei verkleinert sich jedoch der Messbereich.

3. Die Abstände der Markierungen gleicher Gewichtsdifferenzen werden geringer, weil der Zeiger-Arm eine Kreisbewegung beschreibt. Der Anteil der Bewegung des Zeigers, der seitwärts erfolgt (und wenig Kraft benötigt), wird kleiner, während der Anteil der Bewegung, der den Zeiger anhebt, zunimmt. Daher wächst der Auslenkungswinkel nicht linear.

(Berechnen lässt sich die Veränderung über das Drehmoment: Die Drehmomente beider Seiten sind – im ausgependelten Zustand der Waage – immer gleich.)

Getriebe Aufgabe 3 – Flaschenzug und Wellrad

Technikgeschichtlicher Hinweis: Der Zeitpunkt der Erfindung des Flaschenzugs ist nicht bekannt. Die ältesten bekannten Beschreibungen von Flaschenzügen stammen von dem Römer *Marcus Vitruvius Pollo* (ca. 80-15 v. Chr.), der in seinen „Zehn Büchern über Architektur“ das damalige bautechnische Wissen beschrieb. Darunter finden sich auch Wellräder, die in römischen Baukränen eingesetzt wurden.

Thematische Frage

1. Die exakte Anzahl der Kurbelumdrehungen hängt von der Dicke der Seiltrommel, also der bereits aufgewickelten Menge an Seil ab. Ohne Flaschenzug sind es gut drei Umdrehungen, im Fall a) ungefähr sechseinhalb, im Fall b) knapp 10 und im Fall c) 13.

2. Die Kraftverstärkung ist umgekehrt proportional zur erforderlichen Seillänge. Der Fall a) verdoppelt die Kraft, Fall b) verdreifacht sie und im Fall c) wird sie vervierfacht. Die Kraftverstärkung kann man an der Zahl der Seilschlaufen abzählen.

3. Damit erklärt sich auch die Bezeichnung „Faktorenflaschenzug“: Die Anzahl der verwendeten Rollen ist der Faktor der Kraftverstärkung.

Experimentieraufgabe

1. Die Kraftverstärkung des Wellrads entspricht dem Verhältnis des langen Hebels zum Radius der Seiltrommel. Wird das Seil direkt auf der Trommel aufgewickelt (Durchmesser 0,7 cm) und greift die Hand in der Mitte des Rastadapters, dann beträgt die Verstärkung im Fall a) $4{,}5/0{,}35 \approx 12{,}85$ und im Fall b) $6/0{,}35 \approx 17{,}14$.

Mit der Menge an aufgewickeltem Seil nimmt der Radius der Seiltrommel zu; damit sinkt die Kraftverstärkung. Beim Vergleich des Wellrads mit der Kurbel ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch die Kurbel bereits eine Kraftverstärkung um etwa den Faktor $1{,}2/0{,}35 \approx 3{,}42$ bewirkt.

2. Die „Weglänge“, die man beim Drehen des Wellrads zurücklegen muss, wächst proportional mit der Kraftverstärkung. (Das kann man sich leicht plausibel machen, da der Kreisumfang $U = 2\,\pi\, r$ ist, also eine Vervielfachung des Radius mit demselben Faktor in die Berechnung des Kreisumfangs eingeht.)

3. Am Wellrad ist mit wenigen Mitteln schnell eine große Kraftverstärkung zu bewirken – am Flaschenzug sind dafür sehr viele zusätzliche Rollen erforderlich. Werden die Rollen des Faktorenflaschenzugs untereinander angeordnet, verkürzt sich die Hubstrecke. Das ist allerdings durch parallel angeordnete Rollen vermeidbar. Die zusätzlich erforderliche Seillänge muss allerdings auf die Seiltrommel passen. Vorteil dabei: Das zu hebende Gewicht verteilt sich auf die Seilschlingen; es ist also bei höherem Gewicht kein stabileres Zugseil erforderlich.

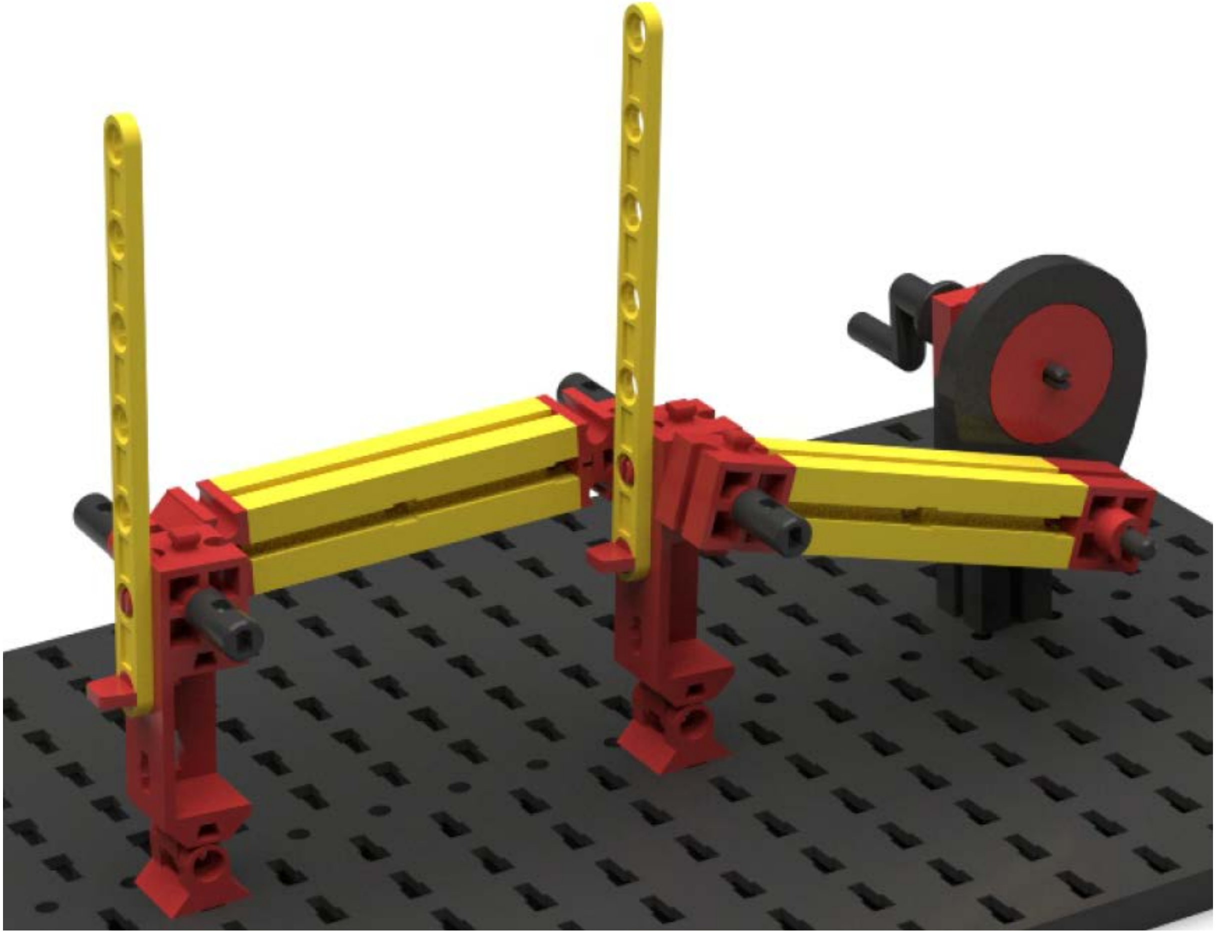
Der Hebel am Wellrad und das Zugseil müssen hingegen die gesamte verstärkte Kraft bzw. das zu hebende Gewicht aufnehmen und daher für größere Gewichte kräftiger ausgelegt werden. Ein längerer Hebel am Wellrad erfordert außerdem eine entsprechend größere, runde Lauffläche rund um das Wellrad. Da die Zugkraft an der

Seiltrommel mit dem zu hebenden Gewicht zunimmt, sollte ein Wellrad außerdem über eine Sperrklinke verfügen.

Getriebe Aufgabe 4 – Kurbelschwinge, Scherenhub und Schubkurbel

Technikgeschichtlicher Hinweis: Schubkurbeln wurden schon in der Antike eingesetzt, um die Drehbewegung eines Wasserrads für Steinsägen zu nutzen. Nachgewiesen sind sie für das 3. Jhd. n. Chr. Mit der Weiterentwicklung der Dampfmaschine zum „Dampfmotor" durch *James Watt* (1736-1819) erhielten sie Ende des 18. Jhd. eine zentrale Bedeutung als Kurbelwelle.

Konstruktionsaufgabe



Eine mögliche Konstruktion der Scheibenwischer.

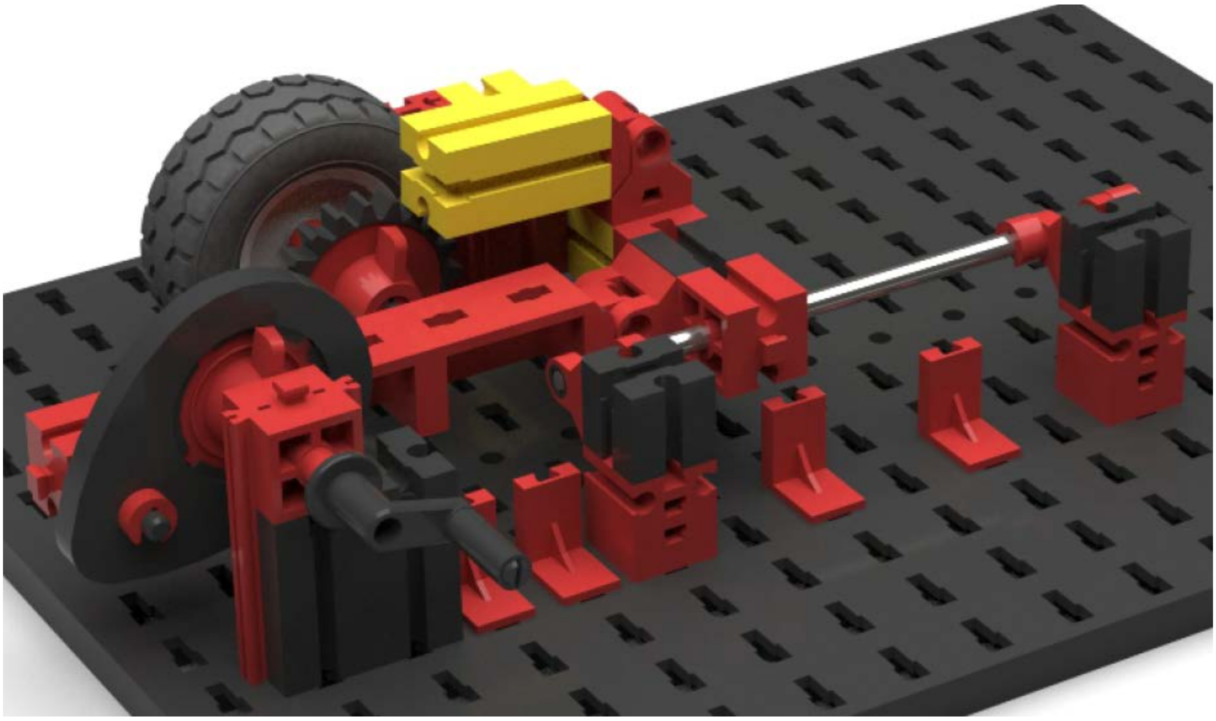
Durch einen größeren oder kleineren Hebel unterhalb der Verbindung der beiden Schwingen kann die seitliche Auslenkung der Wischblätter verkleinert oder vergrößert werden.

Experimentieraufgabe

1. Der Hub des Wagenhebers lässt sich durch eine Verlängerung des Schneckengetriebes oder durch zusätzliche Streben-Paare zur Verlängerung des Scherenhubs vergrößern. Bei der ersten Lösung erhöht sich die Länge des Getriebes. Damit der Scherenhub nicht zu schmal und dabei statisch instabil wird, sollte zugleich auch die Länge der Streben in gleichem Umfang vergrößert werden.

Bei der zweiten Lösung ist mehr Kraft für denselben Hub erforderlich, da die Strecke, auf der die Schneckenmutter bewegt wird, gleich bleibt. Die Kraftverstärkung es Hubgetriebes sinkt also.

2. Das Vorschubgetriebe benötigt ein Rad mit einer Sperrklinke, sodass es nur in eine Richtung rollt, in die andere hingegen sperrt und so z. B. ein darunter liegendes Blatt Papier „mitzieht“.



Der Vorschub ist durch den verwendeten Exzenter festgelegt; bei dieser Konstruktion sind das etwa 4,75 cm.

Getriebe Aufgabe 5 – Kardanwelle

Technikgeschichtlicher Hinweis: Der Name „Kardangelenk“ verweist auf den italienischen Universalgelehrten und Mathematiker *Gerolamo Cardano* (1501-1576), der im Jahr 1550 in „De Subtilitate“ die später so genannte „kardanische Aufhängung“ beschrieb. Tatsächlich wurde diese auch als „Ringgehänge“ bezeichnete Aufhängung schon im Jahr 230 v. Chr. von Philon aus Byzanz beschrieben und um 1500 mehrfach von *Leonardo da Vinci* (1452-1519) gezeichnet. Eine Veröffentlichung des aus dem Ringgehänge ableitbaren Ring- oder Kreuzgelenks durch Cardano ist nicht bekannt. Die älteste bekannte Beschreibung des Kreuzgelenks stammt von *Caspar Schott* (1608-1666) in seinem Buch „Technica Curiosa“ aus dem Jahr 1664.

Die Aufhebung des Kardan-Fehlers in einer Kardan-Welle entdeckte der englische Physiker *Robert Hooke* (1635-1703) im Jahr 1683.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Kopie der Winkelmessscheiben zum Ausschneiden.

Konstruktionsaufgabe

Antriebsachse und Abtriebsachse stoßen in einem Winkel von etwa 119° aufeinander.

Thematische Aufgabe

Drehwinkel Antrieb	Drehwinkel Abtrieb	Δ	Drehwinkel Antrieb	Drehwinkel Abtrieb	Δ
0°	0°	0°	**90°**	90°	0°
15°	17°	2°	**105°**	95°	-10°
30°	42,5°	12,5°	**120°**	102,5°	-17,5°
45°	57,5°	12,5°	**135°**	115°	-20°
60°	70°	10°	**150°**	125°	-25°
75°	77,5°	2,5°	**165°**	150°	-15°
90°	90°	0°	**180°**	180°	0°

Experimentieraufgabe

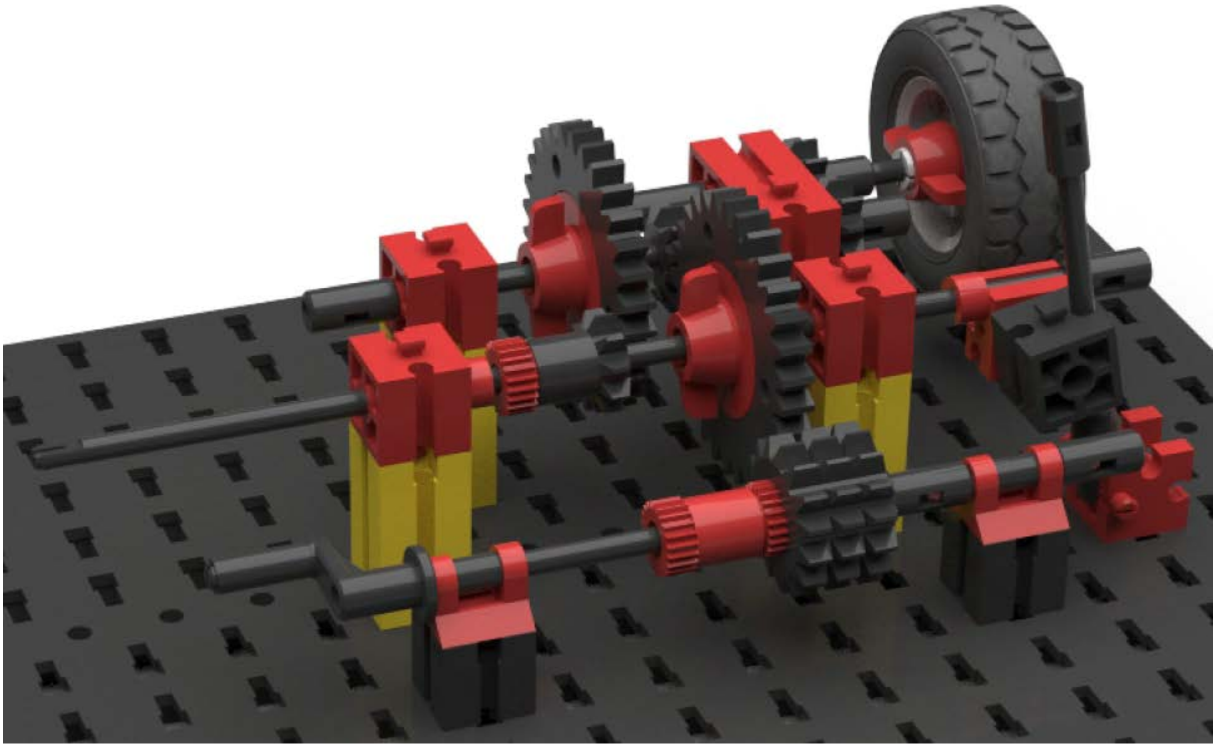
1. Der maximal einstellbare Winkel der Kardangelenke (kleinster Winkel zwischen Antriebs- und Mittelteil der Kardanwelle) liegt bei ca. 117°.

3. Alternative Getriebe sind z. B. ein Zahnradgetriebe (zwei gleichgroße Zahnräder auf Antriebs- und Abtriebsachse, dazwischen ein beliebiges Zahnrad, damit es nicht zu einer Richtungsumkehr kommt), ein Ketten- oder ein Riemengetriebe. Nachteil des Zahnradgetriebes ist der Effizienzverlust (bis zu 10%), Nachteil des Riemengetriebes ist die kraftschlüssige Verbindung. Kettengetriebe haben eine deutlich niedrigere maximale Drehzahl als ein Zahnradgetriebe (Faktor 10 bis 30).

Getriebe Aufgabe 6 – Schaltgetriebe

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Bauanleitung für die Basiskonstruktion des Schaltgetriebes.

Konstruktionsaufgabe



Thematische Aufgabe

1. Die Schaltwelle in der Abbildung übersetzt 1:3 ins Langsame bzw. 3:1 ins Schnelle. Dazu übersetzt die Antriebswelle auf die Schaltwelle im Verhältnis 1:2 ins Langsame. Im ersten Gang übersetzt das Schaltgetriebe also 1:6 ins Langsame und im zweiten Gang 3:2 ins Schnelle. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Abtriebsachse unterscheidet sich bei beiden Gängen um den Faktor 9.

2. Es gibt zahlreiche alternative Konstruktionsmöglichkeiten:

Mit zwei Z20 kann man eine der beiden Übersetzungen der Schaltwelle durch eine 1:1-Übersetzung ersetzen. Dann unterscheidet sich die Umdrehungsgeschwindigkeit der Abtriebsachse bei beiden Gängen um den Faktor 3.

Mit zwei Z10 und zwei Z40 lässt sich eine 1:4- mit einer 4:1-Übersetzung (ins Langsame bzw. Schnelle) realisieren; die Umdrehungsgeschwindigkeiten liegen dann um den Faktor 16 auseinander.

Ersetzt man im zuletzt genannten Schaltgetriebe eines der beiden Zahnradpaare durch zwei Z30 kann man die 1:4- oder 4:1- durch eine 1:1-Übersetzung ersetzen. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse unterscheiden sich dann nur noch um den Faktor 4.

Mit zwei Z15 und zwei Z30 oder zwei Z10 und zwei Z20 kann man eine Schaltung mit einer 1:2- und einer 2:1-Übersetzung konstruieren; die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse unterscheiden sich auch bei dieser Schaltung um den Faktor 4.

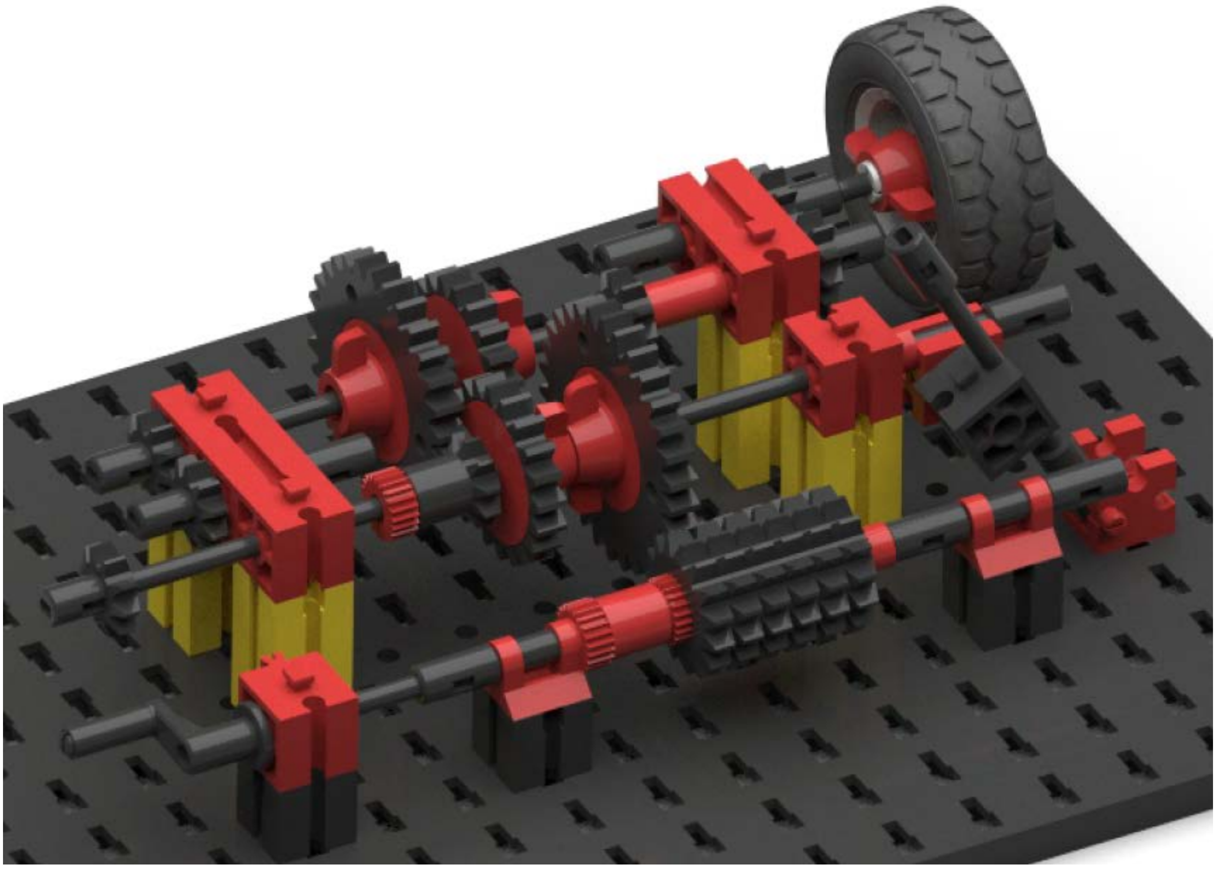
Eine Schaltung mit zwei Z15 und zwei Z10 liefert die Übersetzungen 3:2 und 2:3; der Unterschied der Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse liegt bei dieser Konstruktion bei 9:4 (also einem Faktor 2,25).

Mit zwei Z15 und zwei Z20 erhält man eine 3:4- und eine 4:3-Übersetzung; der Unterschied der Umdrehungsgeschwindigkeiten liegt bei dieser Schaltung beim Faktor 16:9 (also etwa 1,8).

Mit zwei Z15 und zwei Z40 erhält man eine 3:8- und eine 8:3-Übersetzung; die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Abtriebsachse unterscheiden sich um den Faktor 64:9 (also etwa 7,1).

Experimentieraufgabe

1. Das folgende Dreigang-Schaltgetriebe (mit zwei Z30, zwei Z20 und zwei Z10) realisiert die Übersetzungen 1:3, 1:1 und 3:1.



Mit zwei Z40, zwei Z30 und zwei Z20 sind die Übersetzungen 1:2, 1:1 und 2:1 möglich.

Dieselben Übersetzungsverhältnisse lassen sich auch (deutlich kompakter) mit zwei Z10, zwei Z15 und zwei Z20 realisieren.

2. Den Rückwärtsgang (Richtungsumkehr!) mit einer 1:1-Übersetzung bilden die drei Rast-Z10 links im Bild. Das mittlere Zahnrad kann durch ein beliebiges anderes Zahnrad ersetzt und höher oder tiefer platziert werden, um die beiden äußeren Rast-Z10 zu verbinden.

Anmerkung: Eine Änderung der Übersetzung der Antriebs- auf die Schaltachse und der abschließenden Übersetzung auf die Abtriebsachse (in den obigen Getriebebeispielen konstant 1:1) ermöglicht, ein komplettes Schaltgetriebe zu dimensionieren:

Sind der optimale Drehzahlbereich des Motors und der abzudeckende Geschwindigkeitsbereich bekannt, lässt sich die erforderliche Gesamtübersetzung des Schaltgetriebes entsprechend berechnen und die Konstruktion des Getriebes daraus ableiten.

Getriebe Aufgabe 7 – Uhrengetriebe

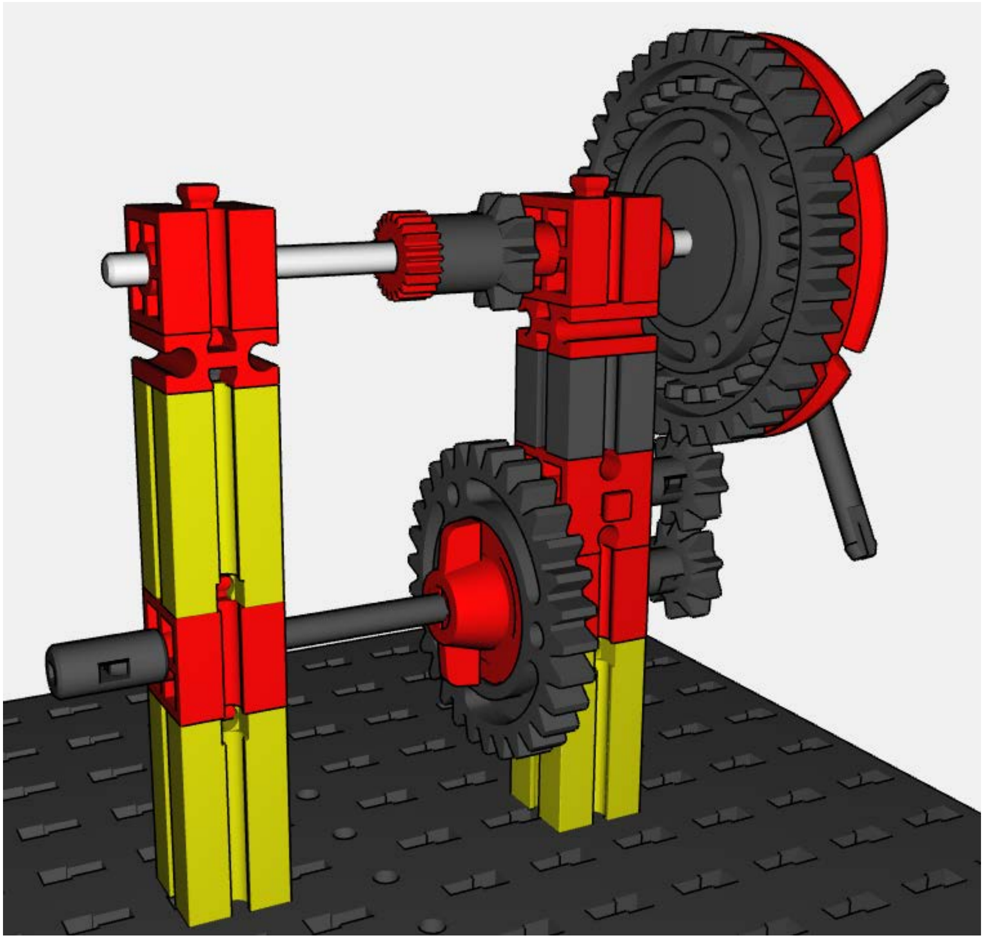
Technikgeschichtlicher Hinweis: Astronomische Uhren waren eine der frühesten Anwendungen für Zahnradgetriebe. Das älteste bekannte Zahnradgetriebe ist der so genannte „Antikythera-Mechanismus“ aus dem 2. Jhd. v. Chr., eine astronomische Uhr, mit der eine Vorhersage von Mond- und Sonnenfinsternissen möglich war. Die ersten mechanischen Uhren zur Anzeige der Zeit waren Kirchturmuhren. Sie kamen im 14. Jhd. n. Chr. auf.

Konstruktionsaufgabe

Für die Übersetzung zwischen Minutenwelle und Stundenzeiger ist eine Übersetzung von 1:12 ins Langsame erforderlich: Nach genau 12 Umdrehungen des Minutenzeigers muss sich der Stundenzeiger genau einmal gedreht haben.

Thematische Aufgabe

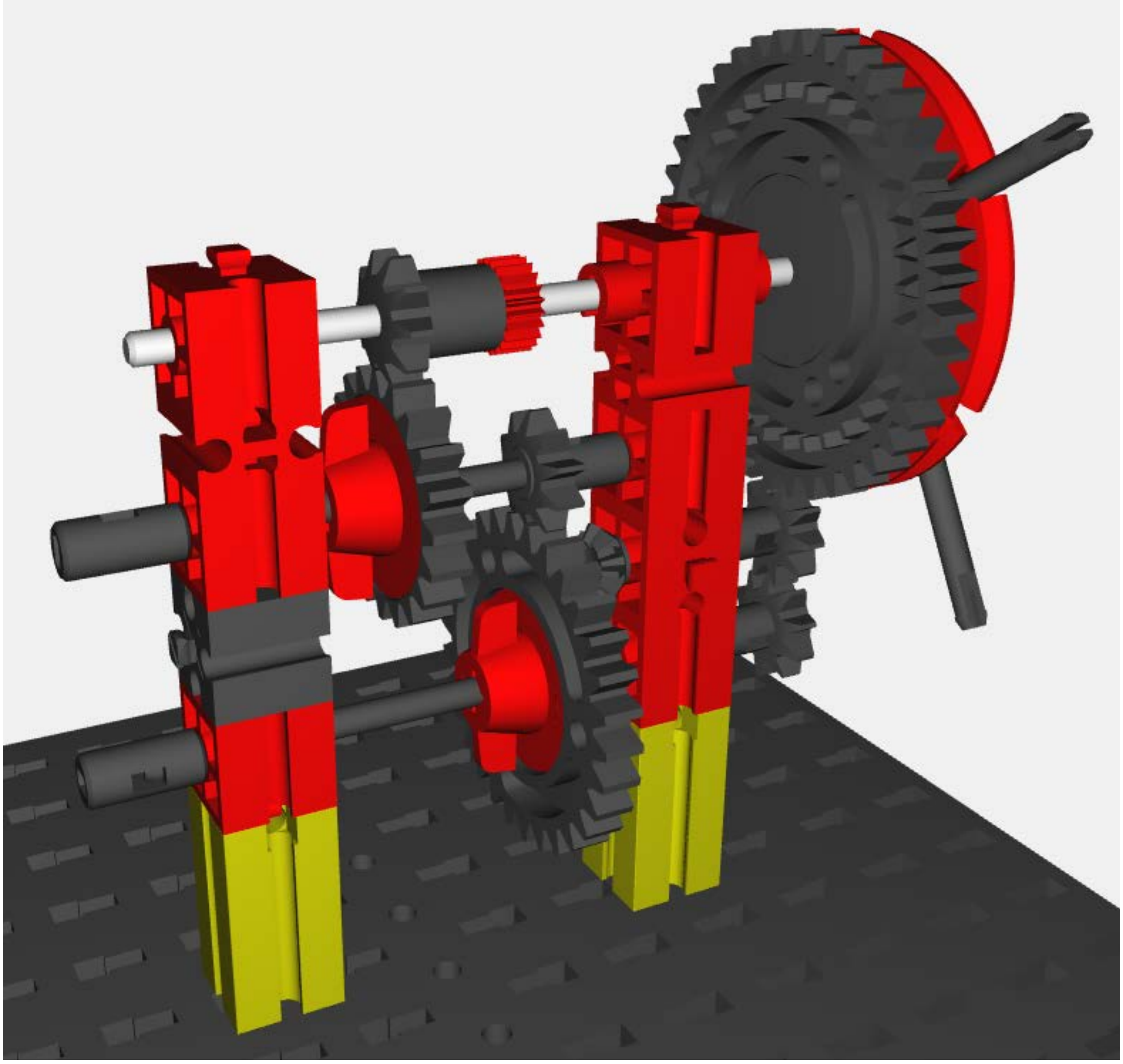
Es gibt mehrere Lösungsmöglichkeiten für das Getriebe; die folgende ist eine davon. Zu der Übersetzung 1:4 (des Rast-Z10 auf das Z40) benötigen wir noch eine Übersetzung 1:3. Dabei müssen wir auf die Drehrichtung achten: Beim Kettengetriebe bleibt sie erhalten, durch die beiden Rast-Z10 wird sie zweimal umgekehrt.



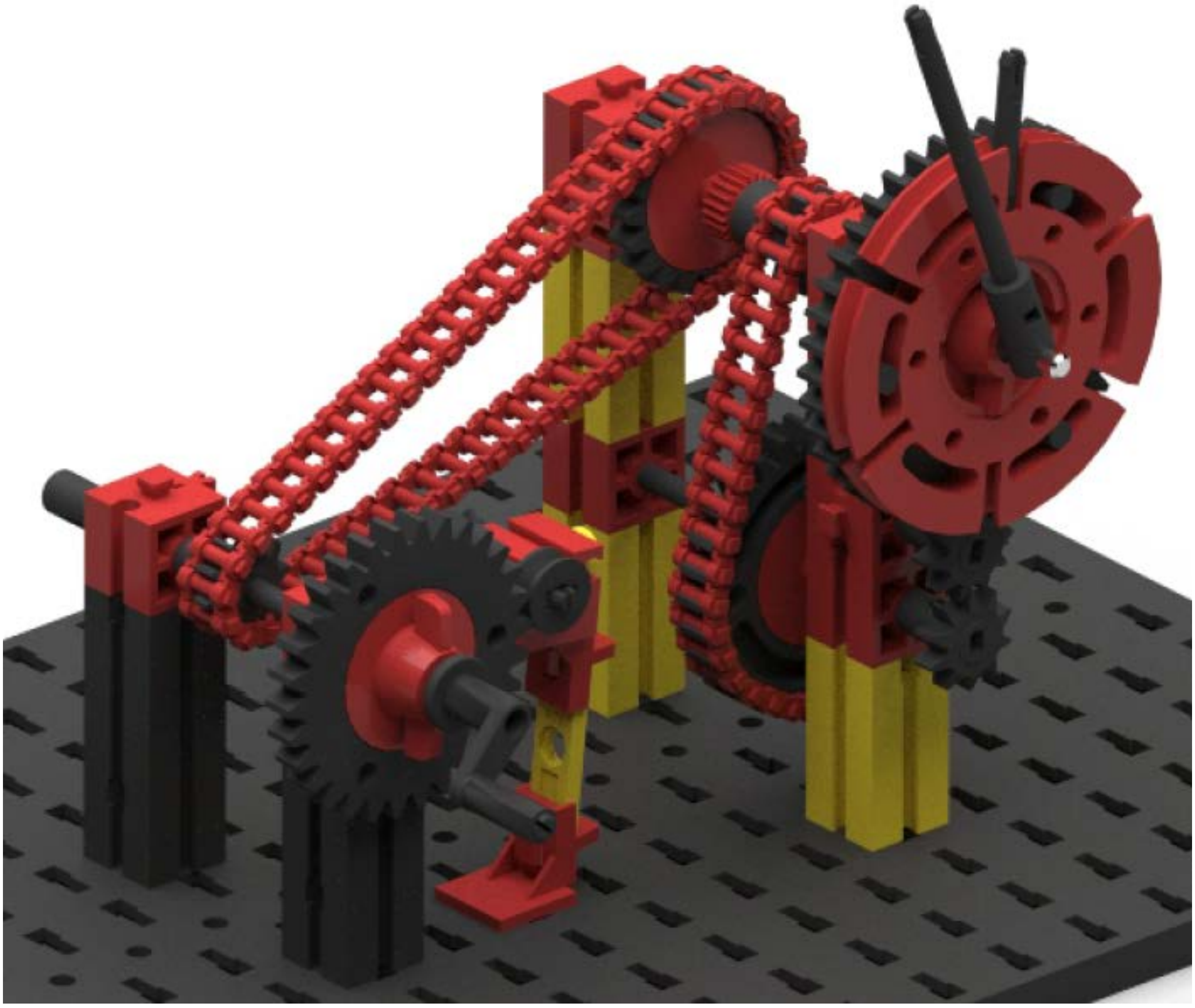
(Achtung: In der Abbildung fehlt die Kette!)

Experimentieraufgabe

Uhrengetriebe mit einer unkonventionellen 24h-Stundenanzeige: Wir ergänzen das Getriebe um eine 1:2-Übersetzung ins Langsame. Durch die Ersetzung des Kettengetriebes durch zwei Zahnradgetriebe (1:3 und 1:2) bleibt die Drehrichtung erhalten.



Kurbelantrieb mit „Minutenraster“: ein Z30 und eine Übersetzung 1:2 ins Langsame sorgt dafür, dass sich mit jedem Zahn des Z30 der Minutenzeiger um 1/60stel einer Umdrehung weiterbewegt.



Getriebe Aufgabe 8 – Planetengetriebe

Technikgeschichtlicher Hinweis: 1780 erhielt *James Pickard* für das zu diesem Zeitpunkt bereits seit mindestens 1500 Jahren bekannte Schubkurbelgetriebe ein Patent und versuchte, damit *James Watt* (1736-1819) zu erpressen, der kurz vor der Fertigstellung seines ersten „Dampfmotors“ stand. Daraufhin erfand Watts kongenialer Assistent *William Murdoch* (1754-1839) kurzerhand ein Umlaufgetriebe aus zwei gekoppelten Zahnrädern, deren eines sich wie ein „Planet“ um das andere (die „Sonne“) dreht, um Pickards Patent zu umgehen. Dafür erhielt Watt zusammen mit seiner Expansionsdampfmaschine 1781 ein eigenes Patent (Patent No. GB 1321).

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Bauanleitung für das Planetengetriebe mit festem Steg.

Konstruktionsaufgabe

Das koaxiale Kegelradgetriebe bewirkt eine Umkehrung der Drehrichtung.

Das koaxiale Kronradgetriebe bewirkt eine Übersetzung von 1:3,2 ins Langsame.

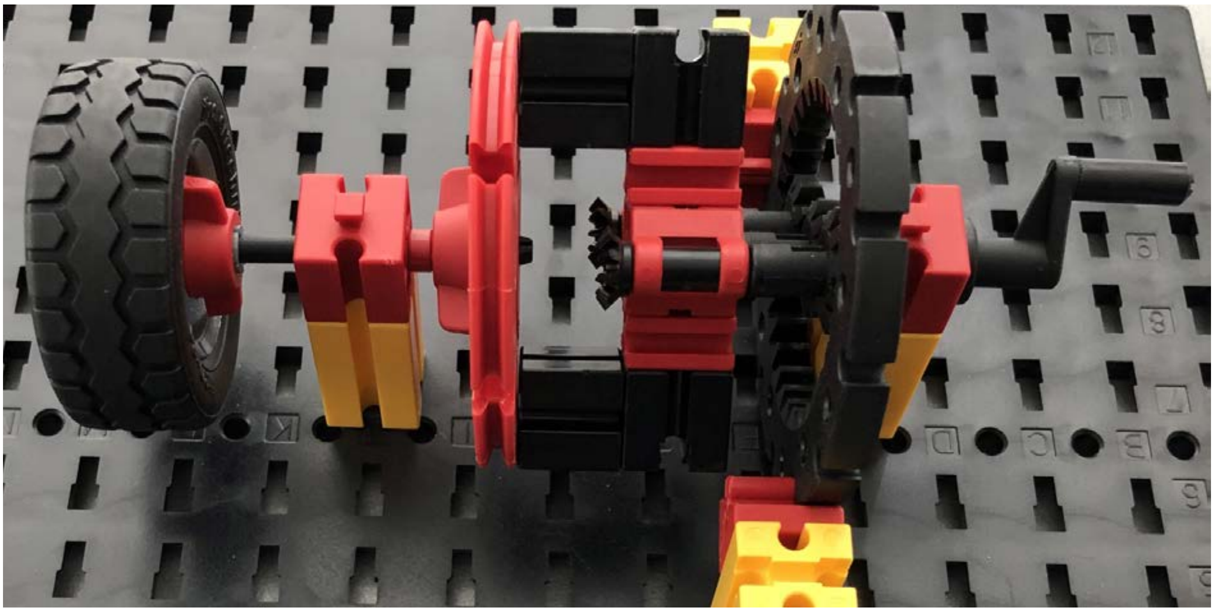
Thematische Aufgabe

Die beiden Getriebe sind identisch, denn Außen- und Innenzahnrad haben beide 30 Zähne. Beim Planetengetriebe sorgen die beiden Planetenräder für eine Richtungsumkehr (beim Innenzahnrad bleibt die Drehrichtung erhalten). Beim einfachen Stirnradgetriebe bewirkt der Übergang vom Z10 auf das Z30 eine Richtungsumkehr.

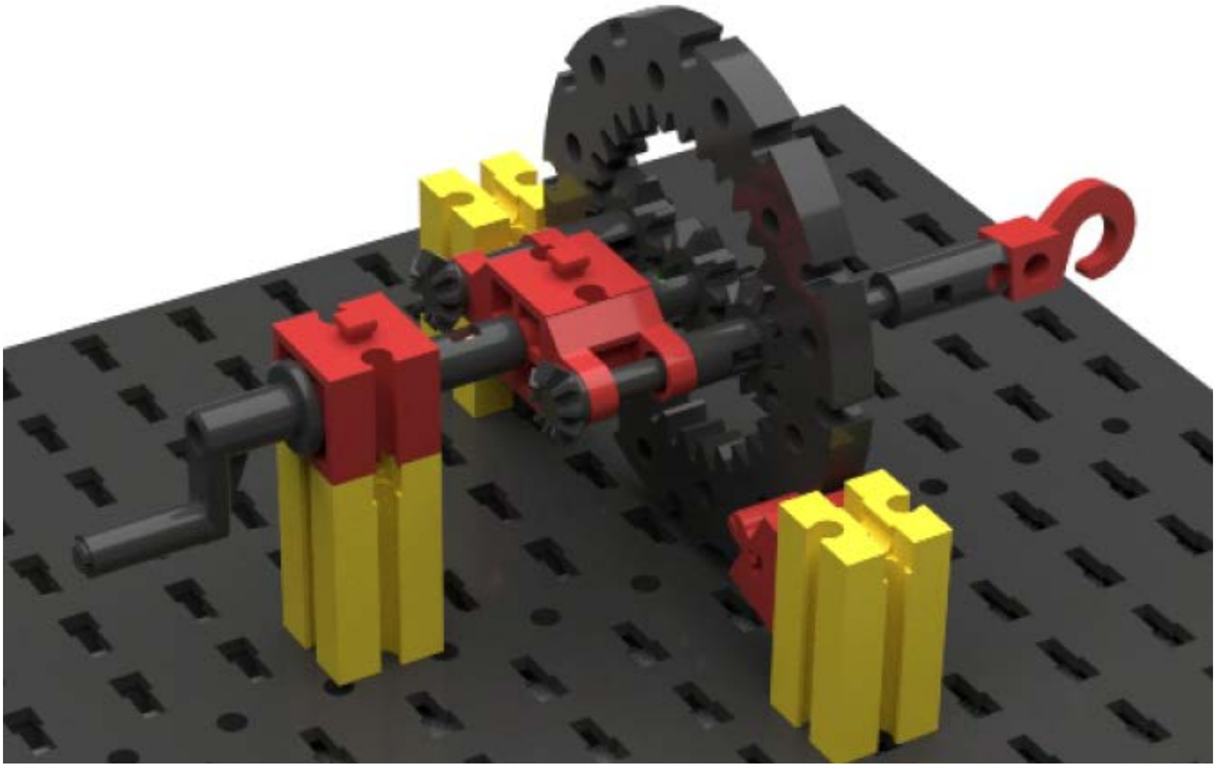
Das Planetengetriebe mit festem Steg und Sonnenrad auf der Antriebswelle bewirkt also eine Übersetzung von 1:3 ins Langsame mit Drehrichtungsumkehr.

Experimentieraufgabe

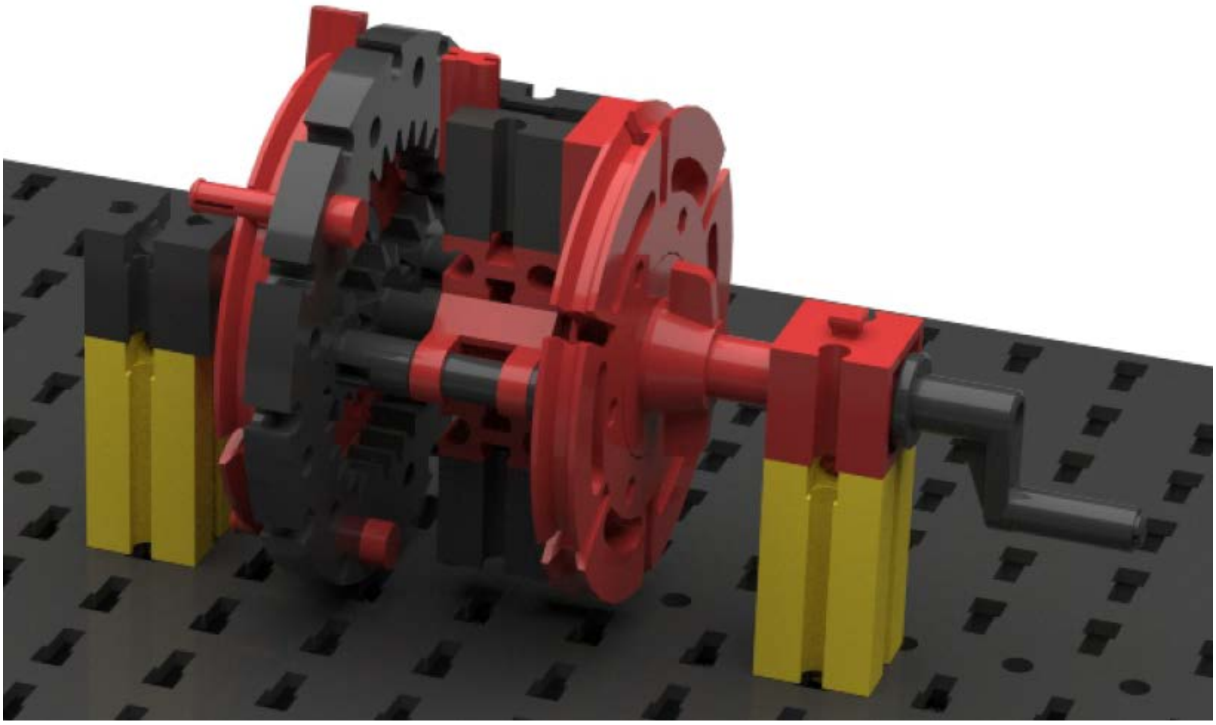
1. Mit dem fischertechnik-Innenzahnrad Z30 sind die folgenden beiden weiteren Planetengetriebe möglich: a) Planetengetriebe mit festem Hohlrad:



Interessante Variante dieses Getriebes: Die Welle eines Planetenrads als Abtrieb liefert ein Rührwerk:



b) Planetengetriebe mit festem Sonnenrad:



2. Mit diesen fischertechnik-Planetengetrieben können die folgenden Übersetzungen realisiert werden:

fest	Antrieb	Abtrieb	Übersetzung	Richtungsumkehr
Steg	Sonnenrad	Hohlrad	-3	ja
Steg	Hohlrad	Sonnenrad	-0,33	ja
Hohlrad	Sonnenrad	Steg	4	nein
Hohlrad	Steg	Sonnenrad	0,25	nein
Sonnenrad	Steg	Hohlrad	0,75	nein
Sonnenrad	Hohlrad	Steg	1,33	nein

3. Eine möglichst große Übersetzung ins Langsame erreicht man durch die Kopplung des (in der Tabelle) ersten und dritten Getriebes. Es realisiert eine Übersetzung (mit Richtungsumkehr) von -12.

Getriebe Aufgabe 9 – Differenzialgetriebe

Technikgeschichtlicher Hinweis: Der Differenzialantrieb wurde 1828 von *Onésiphore Pecqueur* (1792–1852) als wesentliches Element seines Dampfautomobils patentiert. Er ähnelt allerdings sehr dem von *James White* bereits 1822 publizierten „Dynamometer“. Bekannt war das Differenzialgetriebe möglicherweise schon im 3. Jhd. n. Chr. bei den Chinesen: Wahrscheinlich verwendete es der Ingenieur *Ma Jun* (200-265) bei der Konstruktion eines mechanischen „Kompasswagens“, der immer in dieselbe Himmelsrichtung zeigte.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Bauanleitung für die Konstruktion des Differenzialgetriebes.

Konstruktionsaufgabe

Bei einer Kurvenfahrt dreht sich das innere Rad langsamer, während das äußere sich im gleichen Verhältnis schneller dreht: Die Antriebsgeschwindigkeit verteilt sich also auf die beiden Räder,

Thematische Aufgabe

1. Das Differenzialgetriebe überträgt die Drehung der Antriebsachse mit einem Kronrad auf eine um 90° gedrehte Abtriebsachse und nimmt dabei eine Übersetzung 1:3,2 ins Langsame vor.

2. Wenn ein Rad blockiert, dreht das andere mit der doppelten Geschwindigkeit der Antriebsachse.

Experimentieraufgabe

1. Wenn ein Rad durchdreht, bleibt das andere stehen, weil das Differenzial den Antrieb auf die Achse mit dem geringsten Widerstand überträgt.

2. Eine Differenzialsperre lässt sich z. B. durch eine zweite, zur Abtriebsachse parallele Achse realisieren, die auf jeder Seite des Differenzials über ein Zahnrad oder Kettengetriebe mit der Abtriebsachse verbunden werden kann, sodass die beiden seitlichen Achsen gleich schnell drehen müssen.

Anlagen

Bauanleitungen (BA) und Vorlagen für die Getriebe und Modelle:

Aufgabe 1: BA Balkenwaage, Blatt mit leeren Skalen (zum Ausschneiden)

Aufgabe 2: BA Neigungswaage (Briefwaage), Blatt mit leeren Skalen zum Ausschneiden

Aufgabe 3: BA Flaschenzug, BA Flaschenzug mit Wellrad

Aufgabe 4: BA Scheibenwischer, BA Wagenheber, BA Vorschubgetriebe

Aufgabe 5: BA Kardangelenk, Blatt mit Winkelmessscheiben für das Kardangelenk zum Ausschneiden, BA Kardangelenk mit Winkelmessscheiben

Aufgabe 6: BA Basiskonstruktion des Schaltgetriebes, BA Zwei-Gang-Schaltgetriebe, BA Drei-Gang-Schaltgetriebe, BA Drei-Gang-Schaltgetriebe mit Rückwärtsgang

Aufgabe 7: BA Uhrengetriebe, BA Uhrengetriebe mit 24h-Anzeige, BA Uhrengetriebe mit Kurbelantrieb

Aufgabe 8: BA Planetengetriebe mit festem Steg, BA Planetengetriebe mit festem Hohlrad, BA Planetengetriebe mit festem Sonnenrad

Aufgabe 9: BA Differenzialgetriebe

Getriebe – Aufgaben Sekundarstufe I+II

Thema

Zentrales Thema ist die Änderung des Drehmoments durch ein Getriebe und damit deren Einsatz als „Kraftverstärker". Es werden Getriebe wie Flaschenzüge, Kardanwellen und Planentengetriebe eingeführt, konstruiert und berechnet, die in der Praxis eine wichtige Rolle spielen.

Lernziel

- Verständnis der Grundlagen und Einsatzzwecke von Getrieben als „Kraftverstärker"
- Berechnung von Übersetzungen ins Langsame und ins Schnelle
- Konstruktion von Getrieben zur Änderung der Bewegungsgeschwindigkeit und des Drehmoments

Zeitaufwand

Die Konstruktion der Getriebe sollte – ein wenig Konstruktionserfahrung mit dem fischertechnik-System vorausgesetzt – jeweils nicht mehr als 10-20 Minuten Zeit in Anspruch nehmen. Der Zeitbedarf für die Bearbeitung der thematischen Aufgabe wird auf 10-20 Minuten geschätzt. Dabei eignen sich die Aufgaben alle auch als Gruppenaufgabe. Anschließend sollten die Ergebnisse kurz bewertet und diskutiert werden (5-10 Minuten). In der Regel sollte daher – Grundkenntnisse über Getriebe vorausgesetzt (siehe Klassensatz Primarstufe) – jede der Aufgaben innerhalb einer Schulstunde behandelt werden können.

Die Experimentieraufgaben vertiefen das Thema. Sie sind entweder als Erweiterung des Themas gedacht (Aufwand: etwa eine weitere Schulstunde) oder können Schülerinnen und Schülern gegeben werden, die mit der thematischen Aufgabe vorzeitig fertig werden.

Bezug Curriculum

Land	Stufe/Fächer	Bezüge
BW	SEK1	SEK 7/8/9 T-3.2.3.4 Mobilität (1) (Antriebssysteme – Getriebe), S.30; PH-3.2.7 Mechanik: Dynamik (9), S. 23; GS NWT-3.2.2.2 Bewegung und Fortbewegung (2)(4), S.18 ff.; GYM 8/9/10 NWT-3.2.2.3 Bewegung und Fortbewegung (6), S.19; GYM PH-3.2.7 Mechanik: Dynamik, S. 17
BY	SEK1	RS-Physik 8 (I)-1 Mechanik und Energie, S.812ff.; GYM PH8 (3.1) Mechanik/Dynamik zweidimensionaler

		Bewegungen, S. 4ff.; Ph 8- 8.4 Profilbereich am NTG – Energietechnik: Kraftmaschinen, Getriebe
BE	SEK1/2	5/6 Nawi-3.9 Technik, S. 32; ISS1-7/8 WAT-Entwicklung, Planung, Fertigung und Bewertung mehrteiliger Produkte, S. 37 (systemische Betrachtung von Maschinen); SEK 2 GYM 11 PHYSIK-Kerncurriculum BE/BB/MV 4.1 - Kinematik und Dynamik der Kreisbewegung, S. 14
BB	SEK1/2	5/6 Nawi-3.9 Technik, S. 32; ISS1-7/8 WAT-Entwicklung, Planung, Fertigung und Bewertung mehrteiliger Produkte, S. 37 (systemische Betrachtung von Maschinen); SEK 2 GYM 11 PHYSIK-Kerncurriculum BE/BB/MV 4.1 - Kinematik und Dynamik der Kreisbewegung, S. 14
HB	SEK1	GYM 10 Physik-Mechanik S.53; OS 6 WAT-3 Prozessbezogene Kompetenzen S. 10
HH	SEK1	Stadtteil 5/6NWT-3.2 Bewegung S. 22ff.; Stadtteil 7/8 NWT-3.2.2 Das Fahrrad S. 36ff.; Stadtteil 8/9PHYSIK-3.1.1 Bewegung und Kraft S. 22; Stadtteil 9/10 NWT-3.2.2 Physik/Bewegung und Kraft S. 51; Stadtteil 9/10 NWT-3.2.2 Technik S. 57; GYM 5/6 NT-3.2 Bewegung, S.21; GYM 7/8 PHYSIK-3.1 Bewegung und Kraft, S.20
HE	SEK1	RS 8 PHYSIK-8.1 Mechanik-1, S. 10; GYMG8 PHYSIK-8G.1 Mechanik 1, S. 13; SEK1 GYMG8 PHYSIK-9G.1 Arbeit und Energie, S. 18; SEK2 GYM KCGO PHYSIK-E.1 Mechanik, Bewegungen und ihre Beschreibung, S. 29ff
MV	SEK1/2	GS/RegS 7/8 PHYSIK-5.3 Energie und ihre rationelle Nutzung, S.26; IGS/RegS 9/10 PHYSIK-5.7 Kinematik und Dynamik, S.31; SEK 2 GYM 11 PHYSIK-Kerncurriculum BE/BB/MV 4.1 - Kinematik und Dynamik der Kreisbewegung, S. 14
NI	SEK1/2	OS 5-10 T-HB2 Themenfeld Antriebssysteme, S. 32; RS 5-8 T-3.3 HB1 TF: Planen, Konstruieren und Herstellen, S.16, S.34; IGS 7/8 NaWi-Themenfeld 6 - Mobilität, S.31; GYM 7/8 NaWi-Physik 2.3.2 Mechanik , S.28; SEK2 PHYSIK-Kerncurriculum 3.1 - Kinematik, Dynamik, S. 14ff.
NW	SEK1/2	GS 5/6 PHYSIK-2.5.2 (3) Kräfte und Körper, S. 100; GS 7-10 PHYSIK-2.5.3 (8) Bewegungen und ihre Ursachen S. 106; PHYSIK-2.5.3 (9) Energie, Leistung, Wirkungsgrad S. 108; GYM 7-10 PHYSIK-2.3 (7) Inhaltsfeld 7: Bewegung, Kraft und Energie S.36; SEK2 T-2.1 Inhaltsfeld 2 - Technische Innovation, S. 17
RP	SEK1/2	WS 7-10 PHYSIK-Themenfeld 4 Dynamische Phänomene – Wechselwirkung (Mechanik), S. 92, S.106; SEK2 Physik-3 Themenübersicht - Kinematik, Dynamik, Kreisbewegung, Methoden der Mechanik, S.17ff.
SL	SEK1/2	GS 8 NaWi-Bewegung in Natur und Technik II, S.18ff.; GS 9 Physik (9) -1 Mechanik, S.16; GYM 7 PHYSIK (7) -

		Grundlagen der Mechanik, S.22; GYM 8 PHYSIK (8) - Kraft, S.30; GYM OS Technik (OS) - 1 Angewandte Mechanik I (Drehmoment (Kraftmoment), S.5ff.
SN	SEK1	OS RS/7 PHYSIK-LB1 Kraft und ihre Wirkungen, S.25; OS RS/7 PHYSIK-WB2 Einfache Maschinen, S.28; GYM 5/6 TC-LB2 Konstruieren technischer Objekte (Aufgaben von Getrieben), S.6; GYM 7 PHYSIK-LB1 Kräfte (Hebel), S.15; GYM 9 PHYSIK-LB3 Bewegungsgesetze S.27
ST	SEK1/2	GYM 7/8 PHYSIK-5.2.3 Thema: Leben unter Druck, S. 46; GYM 11/12 PHYSIK-5.3.1 Thema: Mechanik-Kinematik der Punktmasse, S. 88ff.
SH	SEK1/2	5-10 FA PHYSIK- Mechanik, S. 29ff.; SEK2 OS FA PHYSIK- Mechanik, S.48
TH	SEK1/2	GYM 5/6 MNT-2.4 Modul 4 Hebel in Alltag und Technik, S. 19; GYM 7/8 PHYSIK-2.1.1 Themenbereich: Kraft, Druck und mechanische Energie, S. 12; GYM 11 PHYSIK-3.1 Themenbereich: Kräfte und Bewegungen, S. 26