



## ... Unterrichtsideen ...

---

### Experimente über Experimente

- **verrückte Auto** ... das ist ein Spielzeugauto, bei dem man das Vorderteil des Autos entlang der Längsachse ferngesteuert drehen kann. Wenn man es am Heck an einem Faden aufhängt, kann man das Vorderteil z.B. in Richtung Uhrzeigersinn drehen lassen ... der Rest des Autos mit kleinerer Masse dreht sich dann gegen den Uhrzeigersinn ...
- **Motoren auf Drehscheibe**: Zwei Elektromotore sind auf einer ganz leicht drehbaren Scheibe (mit geringer Masse) in einem Abstand zueinander montiert. Die Motorenachsen sind parallel zur Drehscheibenachse. Auf den beiden Achsen der Motoren sitzen Aluscheiben nicht zu geringer Masse. Die Motoren können durch eine Fernsteuerung in Rotation versetzt werden.
- **Rotierende Trommel**: Eine große Metalltrommel (ca 60kg Masse) wird mit einer Bohrmaschine angedreht ... und rotiert dann eine lange Zeit ohne sichtbare Drehimpulsänderung ... beim Andrehen spürt man (und sehen es die Zuschauer), woher der Drehimpuls kommt, der dann in der Trommel steckt ... man muss den Griff der Bohrmaschine sehr fest halten, damit er einem nicht aus der Hand gerissen wird ...
- Drehstuhl mit großem Kreisel ... bekanntes Experiment
- Kreisel mit kardanischer Aufhängung ...
- Trainingsgerät für Tennisspieler ... und rotierender Knopf

### Exp. Balkenschaukel

Die Funktionsweise eines Hebels - z.B. Balkenschaukel – ist allen Kindern „greifbar klar“ ...

Im Unterricht habe ich die Balkenschaukel an die Tafel gezeichnet und gefragt, wann ist sie im Gleichgewicht ... Schülerantwort: Wenn das Drehvermögen nach rechts genau so groß ist, wie das Drehvermögen nach links ... Aus Drehvermögen habe ich Drehmoment gemacht ... und dann gefragt, wovon hängt das "Drehvermögen" = Drehmoment ab ... dann kam sofort ... vom Abstand zur Drehachse (außen hat man ein besseres Drehvermögen) und von der Schwerkraft (natürlich sagen die Kids Masse ... dann muss man halt mit Schwerkraft nachbessern). Dann haben wir: Drehvermögen = Drehmoment = Kraft mal Hebelarm (=Abstand zur Drehachse ... genau ist es eigentlich der Abstand der Kraftlinie zur Drehachse :-))

Und dann kann man fragen, was passiert, wenn das Drehvermögen nach links nicht durch ein Drehvermögen nach rechts kompensiert wird ... Sofort aus Schülermund: Dann dreht sich die ganze Anordnung ... Also haben wir in der Anlaogie ... Drehvermögen = Drehmoment führt zur Drehung - also zu Drehimpuls ... und die Schüler konnten die Analogietabelle sofort ergänzen ... Kraft für zu Impulsänderung ... und Drehmoment führt zu Drehimpulsänderung ...

### Exp. Stativstange mit Massen

An der Stativstange mit verschiebbaren Massen wird deutlich, wenn die Massen innen bei der Hand angeordnet sind, dann sind die „Hebelarme“ zwischen den zu bewegenden Massen und der „Hand“ in einer ähnlichen Größenordnung ... also kann man leicht drehen – die „Drehträgeit“ also die Trägheit gegen Drehbewegungen ist also kleiner. Das heißt, die Trägheit einer Anordnung gegen das Verändern der „Drehbewegung“ ist nicht nur von der Masse abhängig, sondern auch vom Abstand von der Drehachse.

Interessant ist jetzt die Frage: Wie hängt die „Drehträgeit“ vom Abstand zur Drehachse – also vom Radius  $R$  – ab?

Vielleicht ist jetzt Zeit für eine Analogietabelle

## Analogietabelle

Im Sinne eines differenzierten Unterrichts ... Teamarbeit zur Erstellung der Analogietabelle ...  
Der Arbeitsauftrag besteht darin, die Lücken in der Analogie-Tabelle zu füllen

Verschiebung Translation		Drehung Rotation	Bemerkungen
Geschwindigkeit $v$			Drehgeschwindigkeit → neue Vokabel: Winkelgeschwindigkeit → $\omega$
	Zusammenhang zwischen $v$ und $\omega$ in das Feld darüber schreiben!		
Trägheit gegen Verschiebung träge Masse $m$	analog definieren →		Drehmasse → neue Vokabel Trägheitsmoment → $I$
aus dem Unterricht bekannt: Schwung ... hängt von der Masse und der Geschwindigkeit ab ... und wird in der Physik Impuls genannt	analog formulieren →		... es besteht ein Unterschied zwischen der Masse bei Verschiebungen und der Drehmasse bei Drehungen ... bei der Drehung kommt es nicht nur alleine auf die Masse an, sondern auch auf den Abstand $R$ von der Drehachse ... siehe Experiment Stativstangen ...
Impuls $p$	analog definiert →		→ neue Vokabel Drehimpuls → $L$
<b>Definition:</b> $p = m \cdot v$	dann $L = \dots \rightarrow$	<b>Definition:</b>	Die Formel für den Drehimpuls wird streng analog zum Impuls aufgebaut
Impulsänderung $\Delta p$	analog ausfüllen →		
aus dem Unterricht bekannt: Kraft als Ursache für Impulsänderungen $F$	Satz analog ergänzen →	siehe oben: Exp. Balkenschaukel Drehvermögen ...	Drehvermögen → neue Vokabel: Drehmoment → $M$
aus dem Unterricht bekannt: $F$ ... gemessen in N	Definition (1) $M = F \cdot R$	$M$ wird gemessen in	zum Zusammenhang zwischen $F$ und $M$ siehe Exp. Balkenschaukel
aus dem Unterricht bekannt: $\Delta p = F \cdot \Delta t$	analog schließen dann $\Delta L = \dots \rightarrow$		hier kann veranschaulicht werden: je länger die Kraft $F$ wirkt, umso größer ist die Impulsänderung ... ANALOG je länger das Drehmoment $M$ wirkt, umso größer ist die Drehimpulsänderung
oder bei $m$ konstant <u>aus der Ruhe</u> heraus $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \dots = \frac{m \cdot v}{\Delta t} \quad (3)$	analog schließen →	oder bei $m, R$ konstant <u>aus der Ruhe</u> heraus $M = \dots = \quad (2)$	man kann auch $\Delta v$ und $\Delta \omega$ stehen lassen ... da wir aber nur Bewegungen aus der Ruhe heraus betrachtet, ist diese Ersetzung naheliegend ...

Und jetzt kommt eine „erhellende **Deduktion**“ ... in 3 Schritten

	Arbeitsaufträge	Ausführung
1. Schritt	Welcher Zusammenhang zwischen dem Drehmoment und der Kraft besteht bei einer Balkenschaukel ... siehe obige Definition für Drehmoment (1) → $M =$	
2. Schritt	Ersetze das Drehmoment $\omega$ durch Trägheitsmoment $I$ , Winkelgeschwindigkeit $\omega$ und Drehzeit $\Delta t$ → siehe Formel (2) für den Fall der Drehbewegung aus der Ruhe heraus Ersetze die Kraft durch die Masse, Geschwindigkeit und Zeit → siehe Formel (3) für den Fall der Bewegung aus der Ruhe heraus	
3. Schritt	Kürze mit $\Delta t \neq 0$ ... löse nach $I$ auf ... verwende noch $\omega = v/R$ ... und wir sind am Ziel:	

# Lösung

Verschiebung Translation		Drehung Rotation	Bemerkungen
Geschwindigkeit $v$	Zusammenhang: $v = \omega \cdot R$	<b>Dreh</b> geschwindigkeit Winkelgeschwindigkeit $\omega$	Drehgeschwindigkeit → neue Vokabel: Winkelgeschwindigkeit → $\omega$
Trägheit gegen Verschiebung träge Masse $m$	analog definiert	Trägheit gegen Drehung träge <b>Dreh</b> masse $I$	Drehmasse → neue Vokabel Trägheitsmoment → $I$
aus dem Unterricht bekannt: Schwung ... hängt von der Masse und der Geschwindigkeit ab ... und wird in der Physik Impuls genannt		naheliegend: Der <b>Dreh</b> -Schwung hängt von der <b>Dreh</b> -Masse (=Trägheitsmoment) und der <b>Dreh</b> - Geschwindigkeit ab ... und wird in der Physik <b>Dreh</b> -Impuls genannt.	... hier kann man schon den Unterschied zwischen der Masse bei Verschiebungen und der Drehmasse bei Drehungen thematisieren ... bei der Drehung kommt es nicht nur alleine auf die Masse an, sondern auch auf den Abstand R von der Drehachse ... siehe Experiment Stativstangen ...
Impuls $p$	analog definiert	<b>Dreh</b> impuls $L$	→ neue Vokabel Drehimpuls → $L$
<b>Definition:</b> $p = m \cdot v$	analog geschlossen dann $L = \dots$	<b>Definition:</b> $L = I \cdot \omega$	Die Formel für den Drehimpuls wird streng analog zum Impuls aufgebaut
Impulsänderung $\Delta p$	analog	<b>Dreh</b> impulsänderung $\Delta L$	
aus dem Unterricht bekannt: Kraft als Ursache für Impulsänderungen $F$		siehe oben: Exp. Balkenschaukel Drehvermögen ... Drehmoment als Ursache für Drehbewegungsänderungen $M$	Drehvermögen → neue Vokabel: Drehmoment → $M$
aus dem Unterricht bekannt: $F$ ... gemessen in N	Definition (1) $M = F \cdot R$	$M$ ... gemessen in 1N·m	der Zusammenhang zwischen F und M wird hergeleitet siehe Exp.
aus dem Unterricht bekannt: $\Delta p = F \cdot \Delta t$	analog geschlossen: dann $\Delta L =$	$\Delta L = M \cdot \Delta t$	hier kann veranschaulicht werden: je länger die Kraft F wirkt, umso größer ist die Impulsänderung ... ANALOG je länger das Drehmoment M wirkt, umso größer ist die Drehimpulsänderung
oder bei m konstant <u>aus der Ruhe</u> heraus $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \dots = \frac{m \cdot v}{\Delta t} \quad (3)$		oder bei m,R konstant <u>aus der Ruhe</u> heraus $M = \frac{\Delta L}{\Delta t} \dots = \frac{I \cdot \omega}{\Delta t} \quad (2)$	man kann auch $\Delta v$ und $\Delta \omega$ stehen lassen ... in 10 werden aber nur Bewegungen aus der Ruhe heraus betrachtet ... also ist diese Ersetzung naheliegend ...

Und jetzt kommt eine „erhellende **Deduktion**“ ... in 3 Schritten

	Arbeitsaufträge pro Schritt	Ergebnis auf Schülerseite
1. Schritt	Welcher Zusammenhang zwischen dem Drehmoment und der Kraft besteht bei einer Balkenschaukel ... siehe obige Definition für Drehmoment (1) → M =	$M = F \cdot R$
2. Schritt	Ersetze das Drehmoment $\omega$ durch Trägheitsmoment $I$ , Winkelgeschwindigkeit $\omega$ und <b>Drehzeit</b> $\Delta t$ → siehe Formel (2) für den Fall der Drehbewegung aus der Ruhe heraus Ersetze die Kraft durch die Masse, Geschwindigkeit und Zeit → siehe Formel (3) für den Fall der Bewegung aus der Ruhe heraus	$\frac{I \cdot \omega}{\Delta t} = \frac{m \cdot v}{\Delta t} \cdot R$
3. Schritt	Kürze mit $\Delta t \neq 0$ ... löse nach $I$ auf ... verwende noch $\omega = v/R$ ... und wir sind am Ziel:	$I = m \cdot R^2$