Physik **Fachoberschule/Berufsoberschule** **Jgst. 11/12**

Gruppenpuzzle zur Zentripetalkraft

Im Rahmen eines Gruppenpuzzles, einer Methode des wechselseitigen Lehrens und Lernens (WELL), erwerben die Schülerinnen und Schüler in einer ersten Gruppenarbeitsphase einen Expertenstatus für bestimmte Abhängigkeiten der Zentripetalkraft. In neu formierten Puzzlegruppen tauschen die Experten ihr spezielles Wissen aus und fassen die Teilergebnisse zusammen. Eine dritte Phase dient der Vertiefung und Festigung.

Gemäß dem gültigen Physiklehrplan für die Jahrgangsstufe 11 an Fachoberschulen[1] bzw. die Jahrgangsstufe 12 an Berufsoberschulen[2], wird die Zentripetalkraft experimentell untersucht. Vorausgehend sieht der Lehrplan eine deduktive Herleitung der Formel für den Betrag a_Z der Zentripetalbeschleunigung vor. Üblicherweise führen geometrische Überlegungen am Kreis und eine Grenzwertbetrachtung auf den Beschleunigungsbetrag $a_Z = v^2/r$. Unter Verwendung von $v = r \cdot \omega$ lässt sich der Betrag der Zentripetalbeschleunigung auch in der Form $a_Z = r \cdot \omega^2$ schreiben. Mit Hilfe des 2. Newtonschen Gesetzes, welches die Schüler/innen bisher nur auf geradlinige Bewegungen angewendet haben, ergibt sich der theoretische Zusammenhang $F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2$. Es gilt nun, diese Formel experimentell zu überprüfen bzw. zu bestätigen.

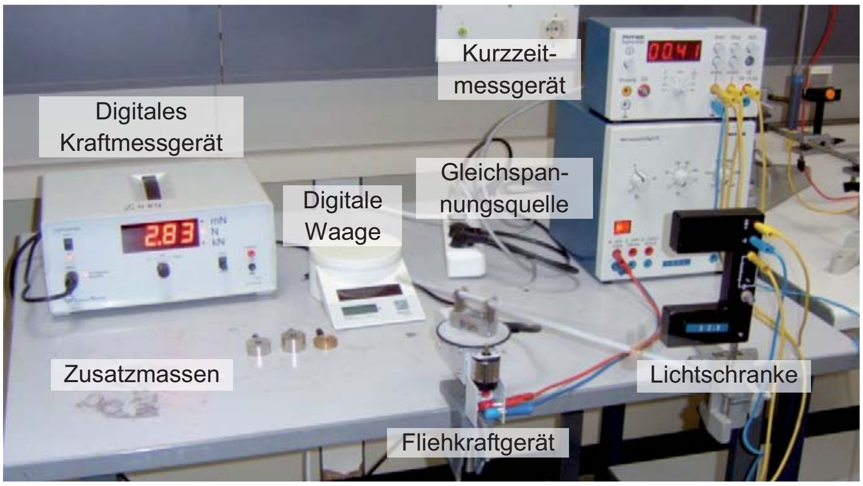


Abb. 1: Versuchsaufbau zur experimentellen Untersuchung der Zentripetalkraft.

Die bisherige Situation

Meine bisherigen Unterrichtsstunden zur experimentellen Überprüfung der drei Abhängigkeiten $F_Z(m)$, $F_Z(r)$ und $F_Z(\omega)$ liefen in der Regel nach folgendem Schema ab: Als Lehrkraft stellt man einen Versuchsaufbau zur experimentellen Überprüfung der

[1] Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Fachlehrplan für Physik für die Fachoberschule Jgst. 11 und 12, Ausbildungsrichtung Technik, gültig seit 26.07.2006
[2] Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Fachlehrplan für Physik für die Berufsoberschule Jgst. 12 und 13, Ausbildungsrichtung Technik, gültig seit 26.07.2006

Abhängigkeiten vor (siehe Abb. 1), einige Schüler/innen führen abwechselnd die Messungen durch, während der Rest der Klasse untätig ist.

Nach Durchführung aller Messungen erfolgt eine gemeinsame Auswertung, die überwiegend von der Lehrkraft gesteuert wird. Falls die Aufnahme der Messwerte zu viel Zeit beansprucht, wird die Auswertung auch gerne in die Hausaufgabe verlagert.

Gestaltung der Lernumgebung

Die Frage, die sich mir nach den oben genannten Stunden immer wieder stellte, war, wie man diese Unterrichtseinheit organisieren könnte, um die Aktivität, die Aufmerksamkeit, die Lernleistung und den Kompetenzerwerb aller Schüler/innen zu fördern.

Eine Auseinandersetzung mit kooperativen Lernmethoden zeigte, dass für eine effektive Gruppenarbeit eine Lernumgebung geschaffen werden muss, bei der das Lernen jedes einzelnen Gruppenmitglieds in den Vordergrund rückt. Diese Lernumgebungen lassen sich mit sogenannten WELL-Methoden realisieren. WELL steht abkürzend für wechselseitiges Lehren und Lernen[3].

Meine Intention war, die Untersuchung der oben genannten Abhängigkeiten der Zentripetalkraft im Rahmen eines Gruppenpuzzles erarbeiten zu lassen und die theoretisch hergeleitete Formel für F_Z zu bestätigen.

Vorkenntnisse der Lerngruppe und Zeitbedarf

Vor der Durchführung des Gruppenpuzzles waren die Schüler/innen bereits mit der gleichförmigen Kreisbewegung vertraut. Die Begriffe Umlaufdauer, Frequenz, Bahngeschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit sowie die Zusammenhänge $v = r \cdot \omega$ und $\omega = 2\pi/T$ waren eingeführt und der Betrag $a_Z = v^2/r = r \cdot \omega^2$ wurde − wie eingangs beschrieben − deduktiv hergeleitet, so dass mit Hilfe des 2. Newtonschen Gesetzes auf die theoretischen Abhängigkeiten des Betrags der Zentripetalkraft geschlossen werden konnte. Ferner waren die Schüler/innen im graphischen Nachweis einer direkten Proportionalität (auch in der Form $y \sim x^2$) geübt.

Das Gruppenpuzzle war auf insgesamt 90 Minuten ausgelegt und wurde in einer Doppelstunde durchgeführt.

Ablauf des Gruppenpuzzles

Da die Klasse wenig Erfahrung mit kooperativen Lernmethoden hatten, war es wichtig, die Methode des Gruppenpuzzles zu motivieren und zu begründen sowie den groben Ablauf der drei Phasen (Aneignungs-, Vermittlungs- und Verarbeitungsphase) vorzustellen (siehe Abb. 2) und den zeitlichen Rahmen der einzelnen Phasen festzulegen (Aneignungsphase: ca. 10 Min., Vermittlungsphase: ca. 30 Min, Verarbeitungsphase: ca. 30 Min.). Weiter wurde ein Signal vereinbart, welches das Ende einer Phase und den Wechsel in die neue Phase anzeigte.

[3] Nähere Informationen zu Methoden des Wechselseitigen Lehrens und Lernen findet man z. B. unter http://www.schule-bw.de/schularten/grundschule/3gsinfos/8well/index_html.

Die Zuordnung der Expertentexte (**Thema 1:** Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Masse, **Thema 2:** Abhängigkeit der Zentripetalkraft vom Radius und **Thema 3:** Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Winkelgeschwindigkeit) erfolgte nach dem Zufallsprinzip.

Während der ersten Arbeitsphase (**Aneignungsphase**) erwarben die Schüler/innen das entsprechende Expertenwissen in Gruppen von maximal vier Personen. Um den Expertenstatus zu erlangen, erhielten die Lernenden eine gezielte Arbeitsanweisung und eine Vorgabe, wie das Ergebnis zu fixieren sei (siehe Abb. 3).

Ferner gehörte es zur Verantwortung eines jeden Experten, das jeweilige Thema so gut zu verinnerlichen, dass er es einem „Novizen", d. h. einem Experten für ein anderes Thema, erklären konnte. Dies bedeutete, dass sich die Lernenden innerhalb ihrer Expertengruppe das Thema erklärten, sich gegenseitig Fragen stellten und über das Ergebnis diskutierten. Jeder übernahm somit nicht nur für den eigenen Lernprozess Verantwortung, sondern auch für den eines anderen Lernenden. Eine positive Auswirkung hiervon war, dass sich die Schüler/innen als wichtig für den Lernfortschritt erfuhren.

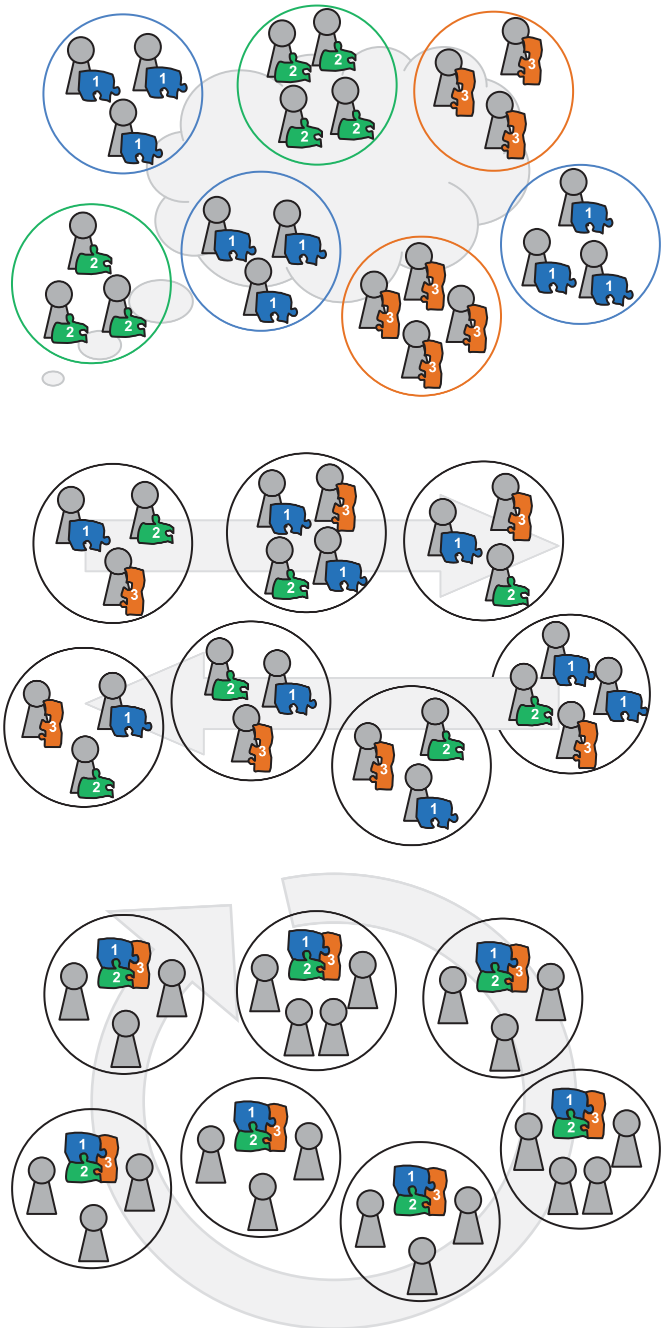


Abb. 2: Die einzelnen Phasen des Gruppenpuzzles
Oben: Aneignungsphase in den Expertengruppen
Mitte: Vermittlungsphase in den Puzzlegruppen
Unten: Verarbeitungsphase in der Puzzlegruppe

Auf das vereinbarte Zeichen formierten die Lernenden neue Gruppen – die Puzzlegruppen – und wechselten in die **Vermittlungsphase**. In dieser Phase erfolgte wechselseitiges Lehren und Lernen. Die Bildung der Puzzlegruppen erfolgte frei. Da es überzählige Experten für das Thema 1 gab, wurde eine Expertendopplung vorgenommen. Hier steuerte ich die Paarung der Experten, indem ich darauf achtete, dass ein lernstarker und ein lernschwacher Experte für das Thema 1 in einer Puzzlegruppe zusammenarbeiteten.

1 **Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Masse**

Aus Sicht eines ruhenden Beobachters, muss an einem Körper der Masse m, der sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einer Kreisbahn vom Radius r bewegt, eine zum Kreismittelpunkt gerichtete Kraft, die sogenannte Zentripetalkraft, angreifen. Es soll nun untersucht werden wie der Betrag F_Z der Zentripetalkraft von m, r, und ω abhängt.

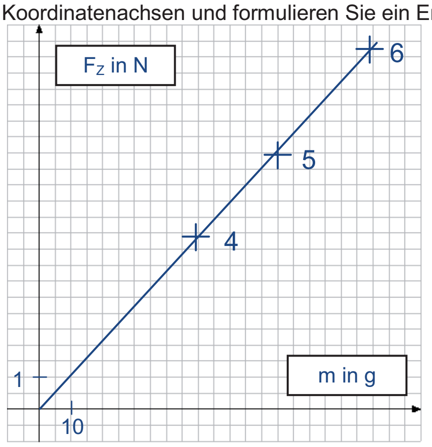
Mit Hilfe eines geeigneten Versuchsaufbaus wurde F_Z in Abhängigkeit von m, r, ω gemessen, wobei ω indirekt über die Messung der Umlaufdauer T ermittelt (ω = 2π/T) wurde:

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m in g	1,5	51,5	51,5	51,5	76	100	51,5	51,5	51,5
r in cm	5,0	10	15	20	20	20	10	10	10
T in s	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,49	0,39	0,20
ω in 1/s	22	22	22	22	22	22	13	16	43
F_Z in N	1,30	2,72	3,98	5,50	8,12	11,06	0,80	1, 2	5,49

Arbeitsaufträge:

1. Aneignungsphase in der Expertengruppe (ca. 10 Minuten)

Untersuchen Sie durch graphische Auswertung aller geeigneten Messwerte der obigen Tabelle wie F_Z von m abhängt. Verwenden Sie für die Auswertung so viele Messwerte wie möglich. Tragen Sie ihre Lösung in das Koordinatensystem ein, beschriften Sie die Koordinatenachsen und formulieren Sie ein Ergebnis in Worten.



Ergebnis:

Im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit liegen die Messpunkte auf einer Ausgleichsgeraden durch den Ursprung, d.h. $F_Z \sim m$ für r = konst. und ω = konst.

Einigen Sie sich in ihrer Expertengruppe auf eine Lösung des Problems. Jeder muss dieses Thema Mitschülern präsentieren und erklären können.

Abb. 3: Arbeitsblatt für die Expertengruppe 1 mit erwarteter Lösung. Einführungsteil und Messwertetabelle sind für alle Expertenthemen identisch. Die Arbeitsaufträge unterscheiden sich in der zu untersuchenden Abhängigkeit. Jede Expertengruppe fixiert das Gruppenergebnis graphisch und in Worten.

Ferner musste darauf geachtet werden, dass in jeder Puzzlegruppe mindestens ein Experte für jedes der drei Themen vertreten war. Während dieser Phase präsentierten die Experten der Reihe nach ihr Thema und übernahmen Verantwortung für den Lernfortschritt der anderen Gruppenmitglieder (der „Novizen“), indem sie deren Fragen beantworteten und durch eigene Fragen überprüften, ob der Lerninhalt von den „Novizen“ verstanden wurde. Während der Präsentation eines Experten notierten sich die „Novizen“ die Ergebnisse auf ihrem Arbeitsblatt (siehe Abb. 4).

In der dritten und letzten Phase des Gruppenpuzzles – der **Verarbeitungsphase** – fassten die Schülerinnen und Schüler in der bestehenden Gruppe die Teilergebnisse zu der Gleichung $F_Z = k \cdot m \cdot r \cdot \omega^2$ zusammen und bestimmten den Proportionalitätsfaktor zu k = 1 (siehe Abb. 5). Zur Vertiefung sollten sie abschließend eine Struktur aus vorgegeben Begriffskärtchen legen (siehe Abb. 6). Pro Gruppe wurde ein vollständiger Satz von Begriffskärtchen ausgegeben.

2. Vermittlungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Bilden Sie eine „neue“ Puzzlegruppe mit Experten für die Themen $\boxed{2}$ und $\boxed{3}$. **PRO PUZZLE-GRUPPE MUSS SICH MINDESTENS EIN EXPERTE FÜR JEDES DER DREI THEMEN BEFINDEN!**

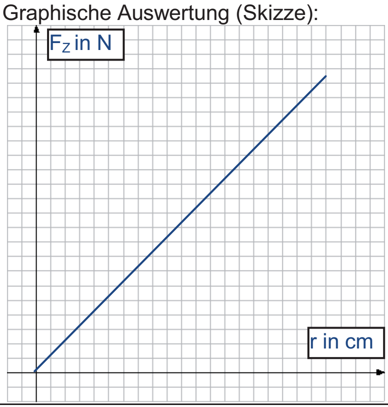
Während der Vermittlungsphase präsentiert abwechselnd jeder Experte das Ergebnis seines Arbeitsauftrages mit Hilfe der Aufzeichnungen von Seite 1. Die anderen Gruppenmitglieder übertragen dieses Ergebnis in die nachfolgende Übersicht. Für die graphische Auswertung reicht hier eine Skizze (mit Achsenbeschriftung!).

Ergebnis Gruppe $\boxed{2}$

Untersuchte Abhängigkeit: **$F_Z(r)$**

Verwendete Messwerte: **1, 2, 3 und 4**

Graphische Auswertung (Skizze):



Ergebnis:

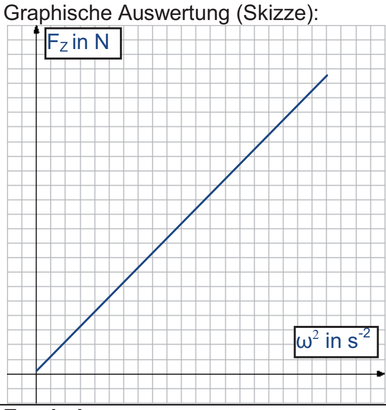
$F_Z \sim r$ für m = konst. und ω = konst.

Ergebnis Gruppe $\boxed{3}$

Untersuchte Abhängigkeit: **$F_Z(\omega)$**

Verwendete Messwerte: **2, 7 bis 9**

Graphische Auswertung (Skizze):



Ergebnis:

$F_Z \sim \omega^2$ für r = konst. und m = konst.

Abb. 4: Arbeitsauftrag und Ergebnissicherung für die Vermittlungsphase (hier für einen Experten des Themas 1).

3. Aufträge für die Verarbeitungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Fassen Sie die Teilergebnisse der Experten $\boxed{1}$, $\boxed{2}$ und $\boxed{3}$ zu einer Gleichung zusammen, die aufzeigt wie F_Z von m, r und ω abhängt und bestimmen Sie mit Hilfe der Messung Nr. 1 Wert und Einheit des auftretenden Proportionalitätsfaktors.

$$\left.\begin{array}{l} F_Z \sim m\text{, für } r = \text{konst., } \omega = \text{konst.} \\ F_Z \sim r\text{, für } m = \text{konst., } \omega = \text{konst.} \\ F_Z \sim \omega^2\text{, für } r = \text{konst., } m = \text{konst.} \end{array}\right\} F_Z \sim m\cdot r\cdot\omega^2 \text{ bzw. } F_Z = k\cdot m\cdot r\cdot\omega^2 \text{ mit } k = \text{konst.}$$

$$k = \frac{F}{m\cdot r\cdot\omega^2} = \frac{F}{m\cdot r\cdot(2\pi/T)^2} \overset{\text{Nr. 1}}{=} \frac{1{,}30\ \text{N}}{0{,}0515\ \text{kg}\cdot 0{,}050\ \text{m}\cdot(2\pi/0{,}28\ \text{s})^2} = 1{,}0\ \frac{\text{N}}{\text{kg}\cdot\text{m/s}^2} = 1{,}0\ \frac{\text{N}}{\text{N}}$$

Im Rahmen der Messgenauigkeit gilt: k = 1

Ergebnis: $F_Z = m\cdot r\cdot\omega^2$

Legen Sie die Kärtchen in eine logische Struktur und diskutieren Sie diese sowie andere mögliche Strukturen in ihrer Gruppe!

Abb. 5: Arbeitsauftrag und Ergebnissicherung für die Verarbeitungsphase.

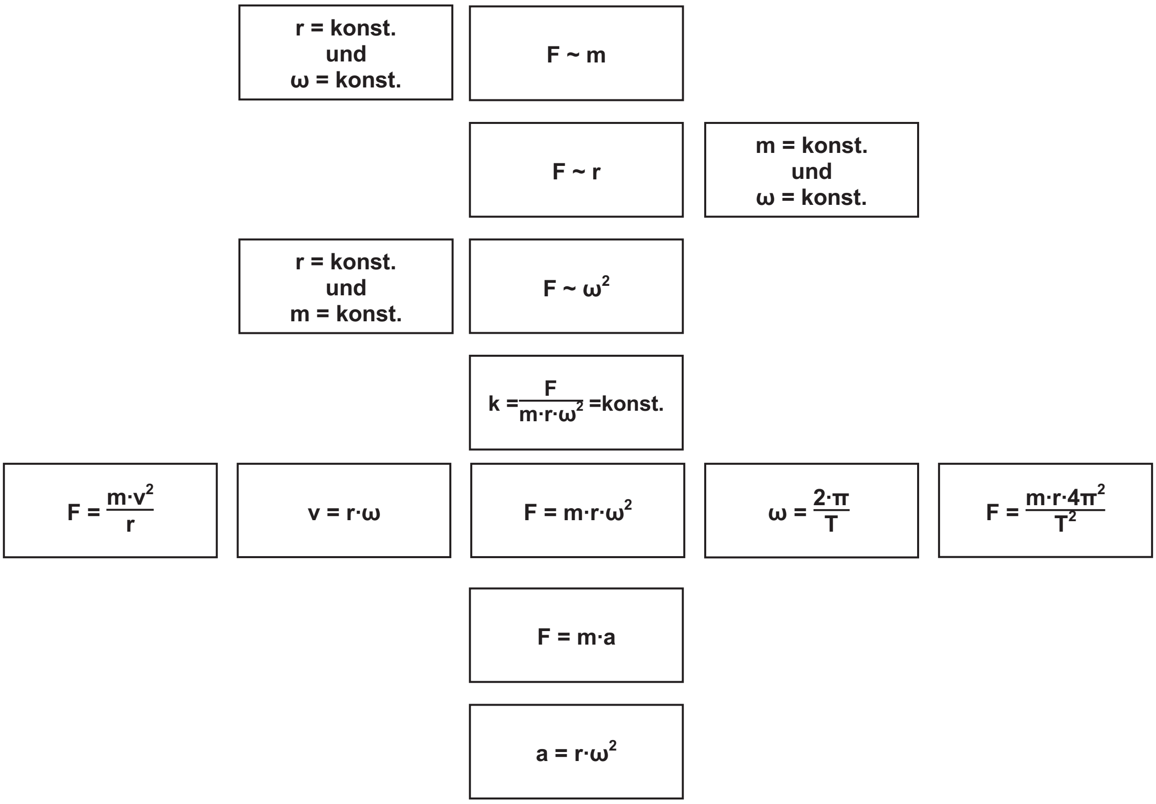


Abb. 6: Eine mögliche Struktur, die aus den Begriffskärtchen gelegt wurde. Wichtig ist, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Struktur in der Gruppe begründen und diskutieren. Es gibt nicht DIE richtige Struktur, allerdings müssen fachlich falsche Strukturen ausgeschlossen werden. Das Legen von Strukturen und deren Begründung fördert eine tiefe Verarbeitung des Lerninhalts.

Fazit

Obwohl die Vorbereitung und Durchführung dieses Gruppenpuzzles gegenüber einer lehrerzentrierten Unterrichtseinheit keinen direkten Zeitgewinn mit sich brachte, konnte ich aber deutliche Vorteile registrieren. Der erfreulichste Aspekt war die hohe Aktivität und Beteiligung aller Schüler/innen am Unterrichtsgeschehen. Die Lernenden arbeiteten während der einzelnen Phasen konzentriert an ihrem Gruppenergebnis und diskutierten miteinander. Während der Präsentationen in den kleinen Gruppen merkten sie, wie wichtig ihr eigener Beitrag für den Lernfortschritt der ganzen Gruppe ist. Außerdem zeigte sich, dass viele Schüler/innen deutlich weniger Hemmungen hatten, sich in einer kleinen Gruppe in eine Diskussion einzubringen, als im Klassenverband. Für mich als Lehrer bedeutete diese Unterrichtseinheit zudem eine Entlastung. Ich konnte gezielt auf Fragen einzelner Schüler/innen eingehen und hatte noch Zeit, Leistungsschwächere individuell zu fördern.

Folgende Aspekte sollten bei der Durchführung des Gruppenpuzzles beachtet werden:

- Generell eignen sich Doppelstunden für die Durchführung des Gruppenpuzzles viel besser als Einzelstunden. Allerdings kann diese Methode auch auf zwei Einzelstunden aufgeteilt werden.

- Es ist sinnvoll die Lösungen der Arbeitsaufträge im Klassenzimmer auszulegen, um eine Vermittlung fachlicher Fehler zu vermeiden.
- Zur Ergebnissicherung sollten die Schüler/innen ihre Strukturen auf Poster kleben, die im Plenum vorgestellt und diskutiert werden können.
- Je nach Lerngruppe sollte entschieden werden, ob man die Gruppenbildung dem Zufall überlässt oder selbst steuert. Freie Gruppenbildungsprozesse kosten mehr Zeit und der Lehrer muss ggf. steuernd eingreifen.
- Alle Arbeitsanweisungen müssen vor Durchführung der Methode klar sein und sollten schriftlich vorliegen (entweder in Form eines Arbeitsblattes oder einer Overheadfolie).
- Für die Durchführung des Gruppenpuzzles eignen sich Dreier- bis Vierergruppen. Für die Durchführung des vorliegenden Gruppenpuzzles sind mindestens 9 Schüler/innen erforderlich.
- Als Lehrkraft sollte man in die Gruppenarbeit möglichst wenig eingreifen, da häufiges Intervenieren die Zusammenarbeit stören kann. Außerdem sollte man immer nach dem Prinzip der minimalen Hilfestellung vorgehen bzw. Hilfe zur Selbsthilfe leisten.
- Bei lernschwachen Schüler/innen bietet sich eine Expertendopplung an. Außerdem ist es möglich, bei der Vergabe der Expertenthemen zu differenzieren, indem man den Schwächeren das Thema 1 oder 2 zur Bearbeitung gibt.

Verfasser: Thomas Ondak, Staatliche Fachoberschule und Berufsoberschule Augsburg

Bildnachweis: alle Abbildungen wurden vom Autor selbst aufgenommen bzw. erstellt.

Anlagen:

Arbeitsblätter für die Expertenthemen 1 bis 3,
Lösungsblatt,
Begriffskärtchen für die Strukturlegetechnik

1 Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Masse

Aus Sicht eines ruhenden Beobachters muss an einem Körper der Masse m, der sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einer Kreisbahn vom Radius r bewegt, eine zum Kreismittelpunkt gerichtete Kraft, die sogenannte **Zentripetalkraft**, angreifen. Es soll nun untersucht werden, wie der Betrag F_Z der Zentripetalkraft von m, r und ω abhängt.

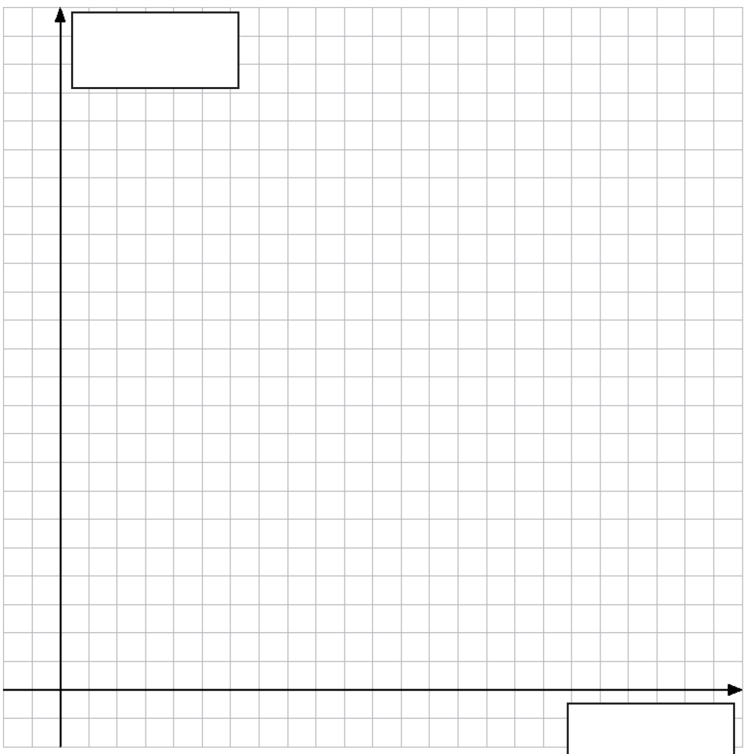
Mit Hilfe eines geeigneten Versuchsaufbaus wurde F_Z in Abhängigkeit von m, r und ω gemessen, wobei ω indirekt über die Messung der Umlaufdauer T ermittelt ($\omega = 2\pi/T$) wurde:

Nr.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
m in g	51,5	51,5	51,5	51,5	76	100	51,5	51,5	51,5
r in cm	5,0	10	15	20	20	20	10	10	10
T in s	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,49	0,39	0,20
ω in s^{-1}	22	22	22	22	22	22	13	16	43
F_Z in N	1,30	2,72	3,98	5,50	8,12	11,06	0,80	1,32	5,49

Arbeitsaufträge:

1. Aneignungsphase in der Expertengruppe (ca. 10 Minuten)

Untersuchen Sie durch graphische Auswertung aller geeigneten Messwerte der obigen Tabelle, wie F_Z von m abhängt. Verwenden Sie für die Auswertung so viele Messwerte wie möglich. Tragen Sie ihre Lösung in das **Koordinatensystem** ein, beschriften Sie die Koordinatenachsen und formulieren Sie ein Ergebnis in Worten.



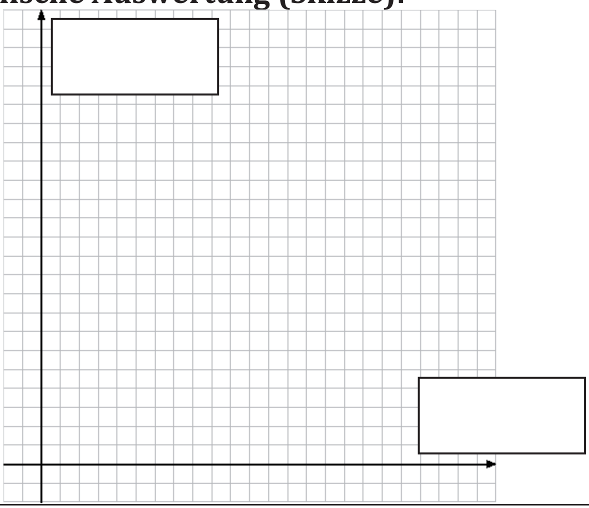
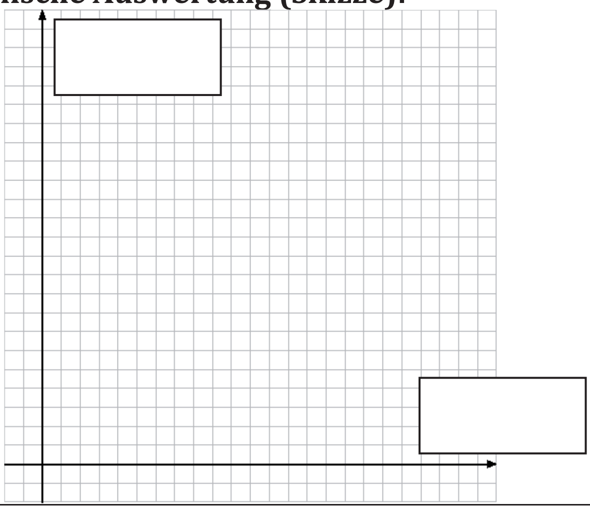
Ergebnis:

Einigen Sie sich in ihrer Expertengruppe auf eine Lösung des Problems. Jeder muss dieses Thema Mitschülern präsentieren und erklären können.

$\boxed{1}$ Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Masse

2. Vermittlungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Bilden Sie eine „neue“ **Puzzlegruppe** mit Experten für die Themen $\boxed{2}$ und $\boxed{3}$. **IN JEDER PUZZLE-GRUPPE MUSS SICH MINDESTENS EIN EXPERTE FÜR JEDES DER DREI THEMEN BEFINDEN!**
Während der Vermittlungsphase präsentiert abwechselnd jeder Experte das Ergebnis seines Arbeitsauftrages mit Hilfe der Aufzeichnungen von Seite 1. Die anderen Gruppenmitglieder übertragen dieses Ergebnis in die nachfolgende Übersicht. Für die graphische Auswertung reicht hier eine Skizze (mit Achsenbeschriftung!).

<table>
<tr>
<td>Ergebnis Gruppe $\boxed{2}$
Untersuchte Abhängigkeit:
____
Verwendete Messwerte: ____________
Graphische Auswertung (Skizze):
</td>
<td>Ergebnis Gruppe $\boxed{3}$
Untersuchte Abhängigkeit:
____
Verwendete Messwerte: ____________
Graphische Auswertung (Skizze):
</td>
</tr>
<tr>
<td>Ergebnis:</td>
<td>Ergebnis:</td>
</tr>
</table>

3. Aufträge für die Verarbeitungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Fassen Sie die Teilergebnisse der Experten $\boxed{1}$, $\boxed{2}$ und $\boxed{3}$ zu **einer Gleichung** zusammen, die aufzeigt, wie F_Z von m, r und ω abhängt, und bestimmen Sie mit Hilfe der Messung Nr. 1 Wert und Einheit des auftretenden Proportionalitätsfaktors.

Legen Sie die Kärtchen in eine logische Struktur und diskutieren Sie diese sowie andere mögliche Strukturen in ihrer Gruppe!

2 Abhängigkeit der Zentripetalkraft vom Radius

Aus Sicht eines ruhenden Beobachters muss an einem Körper der Masse m, der sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einer Kreisbahn vom Radius r bewegt, eine zum Kreismittelpunkt gerichtete Kraft, die sogenannte **Zentripetalkraft**, angreifen. Es soll nun untersucht werden, wie der Betrag F_Z der Zentripetalkraft von m, r und ω abhängt.

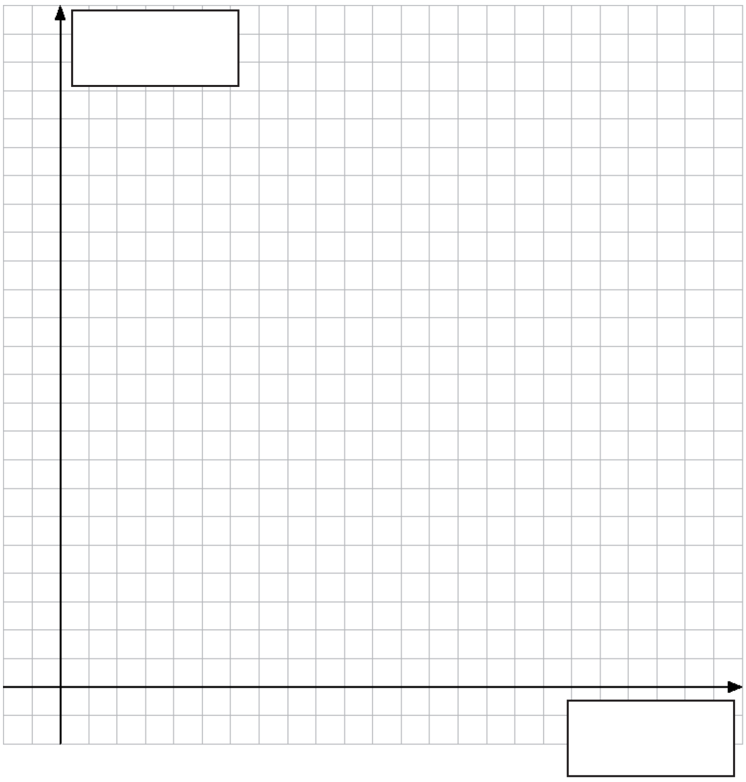
Mit Hilfe eines geeigneten Versuchsaufbaus wurde F_Z in Abhängigkeit von m, r und ω gemessen, wobei ω indirekt über die Messung der Umlaufdauer T ermittelt ($\omega = 2\pi/T$) wurde:

Nr.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
m in g	51,5	51,5	51,5	51,5	76	100	51,5	51,5	51,5
r in cm	5,0	10	15	20	20	20	10	10	10
T in s	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,49	0,39	0,20
ω in s^{-1}	22	22	22	22	22	22	13	16	43
F_Z in N	1,30	2,72	3,98	5,50	8,12	11,06	0,80	1,32	5,49

<u>Arbeitsaufträge:</u>

1. Aneignungsphase in der Expertengruppe (ca. 10 Minuten)

Untersuchen Sie durch graphische Auswertung aller geeigneten Messwerte der obigen Tabelle, wie F_Z von r abhängt. Verwenden Sie für die Auswertung so viele Messwerte wie möglich. Tragen Sie ihre Lösung in das **Koordinatensystem** ein, beschriften Sie die Koordinatenachsen und formulieren Sie ein Ergebnis in Worten.



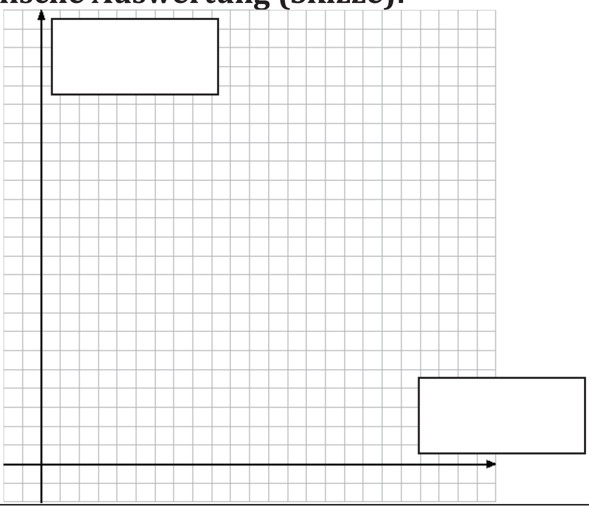
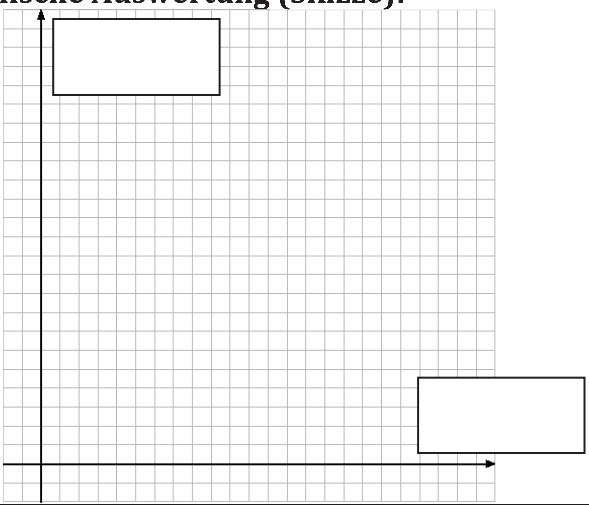
Ergebnis:

Einigen Sie sich in ihrer Expertengruppe auf eine Lösung des Problems. Jeder muss dieses Thema Mitschülern präsentieren und erklären können.

$\boxed{2}$ Abhängigkeit der Zentripetalkraft vom Radius

2. Vermittlungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Bilden Sie eine „neue" **Puzzlegruppe** mit Experten für die Themen $\boxed{1}$ und $\boxed{3}$. **IN JEDER PUZZLE-GRUPPE MUSS SICH MINDESTENS EIN EXPERTE FÜR JEDES DER DREI THEMEN BEFINDEN!**
Während der Vermittlungsphase präsentiert abwechselnd jeder Experte das Ergebnis seines Arbeitsauftrages mit Hilfe der Aufzeichnungen von Seite 1. Die anderen Gruppenmitglieder übertragen dieses Ergebnis in die nachfolgende Übersicht. Für die graphische Auswertung reicht hier eine Skizze (mit Achsenbeschriftung!).

<table>
<tr>
<td>Ergebnis Gruppe $\boxed{1}$
Untersuchte Abhängigkeit:
____
Verwendete Messwerte: ____________
Graphische Auswertung (Skizze):
</td>
<td>Ergebnis Gruppe $\boxed{3}$
Untersuchte Abhängigkeit:
____
Verwendete Messwerte: ____________
Graphische Auswertung (Skizze):
</td>
</tr>
<tr>
<td>Ergebnis:</td>
<td>Ergebnis:</td>
</tr>
</table>

3. Aufträge für die Verarbeitungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Fassen Sie die Teilergebnisse der Experten $\boxed{1}$, $\boxed{2}$ und $\boxed{3}$ zu **einer Gleichung** zusammen, die aufzeigt, wie F_Z von m, r und ω abhängt, und bestimmen Sie mit Hilfe der Messung Nr. 1 Wert und Einheit des auftretenden Proportionalitätsfaktors.

Legen Sie die Kärtchen in eine logische Struktur und diskutieren Sie diese sowie andere mögliche Strukturen in ihrer Gruppe!

3 Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Winkelgeschwindigkeit

Aus Sicht eines ruhenden Beobachters muss an einem Körper der Masse m, der sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einer Kreisbahn vom Radius r bewegt, eine zum Kreismittelpunkt gerichtete Kraft, die sogenannte **Zentripetalkraft**, angreifen. Es soll nun untersucht werden, wie der Betrag F_Z der Zentripetalkraft von m, r und ω abhängt.

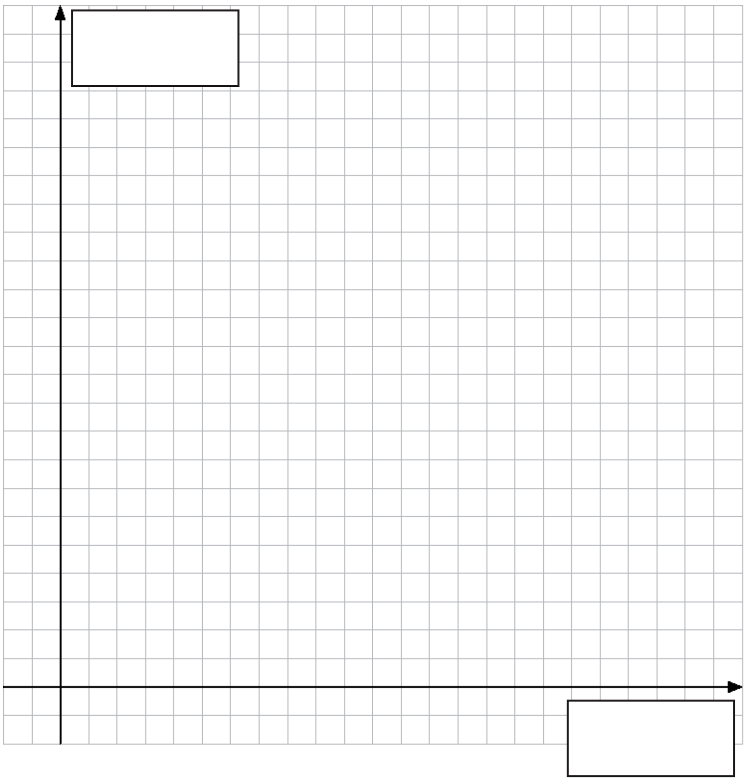
Mit Hilfe eines geeigneten Versuchsaufbaus wurde F_Z in Abhängigkeit von m, r und ω gemessen, wobei ω indirekt über die Messung der Umlaufdauer T ermittelt ($\omega = 2\pi/T$) wurde:

Nr.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
m in g	51,5	51,5	51,5	51,5	76	100	51,5	51,5	51,5
r in cm	5,0	10	15	20	20	20	10	10	10
T in s	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,49	0,39	0,20
ω in s^{-1}	22	22	22	22	22	22	13	16	43
F_Z in N	1,30	2,72	3,98	5,50	8,12	11,06	0,80	1,32	5,49

Arbeitsaufträge:

1. Aneignungsphase in der Expertengruppe (ca. 10 Minuten)

Untersuchen Sie durch graphische Auswertung aller geeigneten Messwerte der obigen Tabelle, wie F_Z von ω^2 abhängt. Verwenden Sie für die Auswertung so viele Messwerte wie möglich. Tragen Sie ihre Lösung in das **Koordinatensystem** ein, beschriften Sie die Koordinatenachsen und formulieren Sie ein Ergebnis in Worten.



Ergebnis:

Einigen Sie sich in ihrer Expertengruppe auf eine Lösung des Problems. Jeder muss dieses Thema Mitschülern präsentieren und erklären können.

$\boxed{3}$ Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Winkelgeschwindigkeit

2. Vermittlungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Bilden Sie eine „neue“ **Puzzlegruppe** mit Experten für die Themen $\boxed{1}$ und $\boxed{2}$. **IN JEDER PUZZLEGRUPPE MUSS SICH MINDESTENS EIN EXPERTE FÜR JEDES DER DREI THEMEN BEFINDEN!** Während der Vermittlungsphase präsentiert abwechselnd jeder Experte das Ergebnis seines Arbeitsauftrages mit Hilfe der Aufzeichnungen von Seite 1. Die anderen Gruppenmitglieder übertragen dieses Ergebnis in die nachfolgende Übersicht. Für die graphische Auswertung reicht hier eine Skizze (mit Achsenbeschriftung!).

Ergebnis Gruppe $\boxed{1}$	**Ergebnis Gruppe $\boxed{2}$**
Untersuchte Abhängigkeit: ______________________	**Untersuchte Abhängigkeit:** ______________________
Verwendete Messwerte: ______________________	**Verwendete Messwerte:** ______________________
Graphische Auswertung (Skizze):	**Graphische Auswertung (Skizze):**
Ergebnis:	**Ergebnis:**

3. Aufträge für die Verarbeitungsphase in der Puzzlegruppe (ca. 30 Minuten)

Fassen Sie die Teilergebnisse der Experten $\boxed{1}$, $\boxed{2}$ und $\boxed{3}$ zu **einer Gleichung** zusammen, die aufzeigt, wie F_Z von m, r und ω abhängt und bestimmen Sie mit Hilfe der Messung Nr. 1 Wert und Einheit des auftretenden Proportionalitätsfaktors.

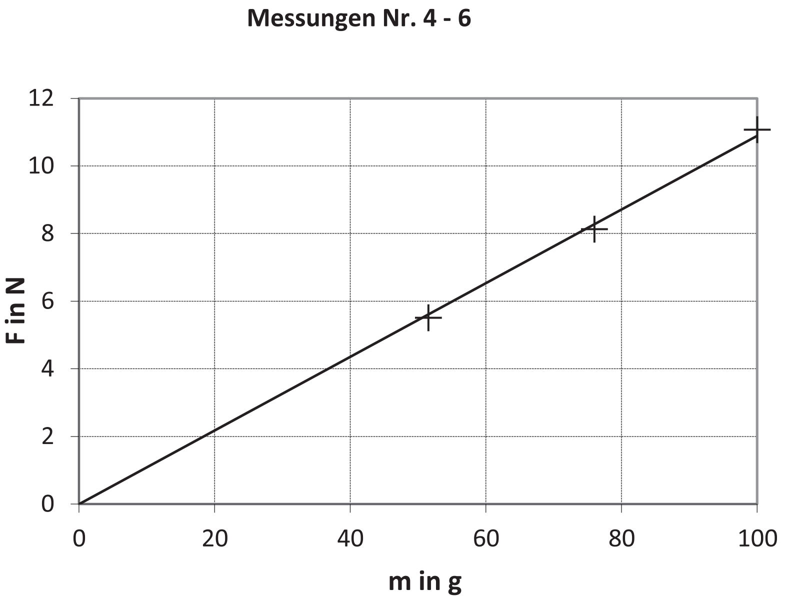
Legen Sie die Kärtchen in eine logische Struktur und diskutieren Sie diese sowie andere mögliche Strukturen in ihrer Gruppe!

Experimentelle Untersuchung der Zentripetalkraft - Lösungen

Expertentext $\boxed{1}$

Lösung zu Arbeitsauftrag 1:

Abhängigkeit $F(m)$ für r = 20 cm = konst. und $\omega = 22\,\frac{1}{\mathrm{s}}$ = konst.



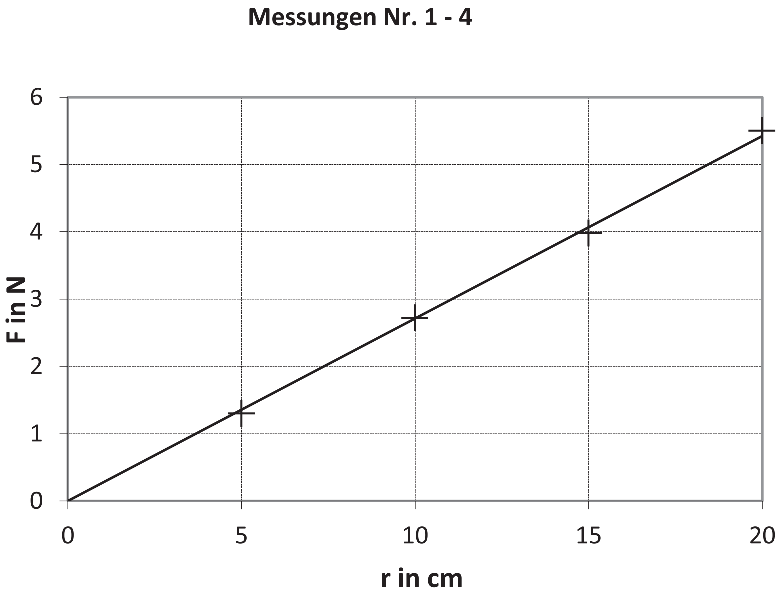
Ergebnis:
Im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit liegen die Messwertepaare auf einer Halbgeraden durch den Ursprung, d. h. $F \sim m$ für r = konst. und ω = konst.

Experimentelle Untersuchung der Zentripetalkraft - Lösungen

Expertentext $\boxed{2}$

Lösung zu Arbeitsauftrag 1:

Abhängigkeit $F(r)$ für m = 51,5 g = konst. und $\omega = 22\,\frac{1}{s}$ = konst.



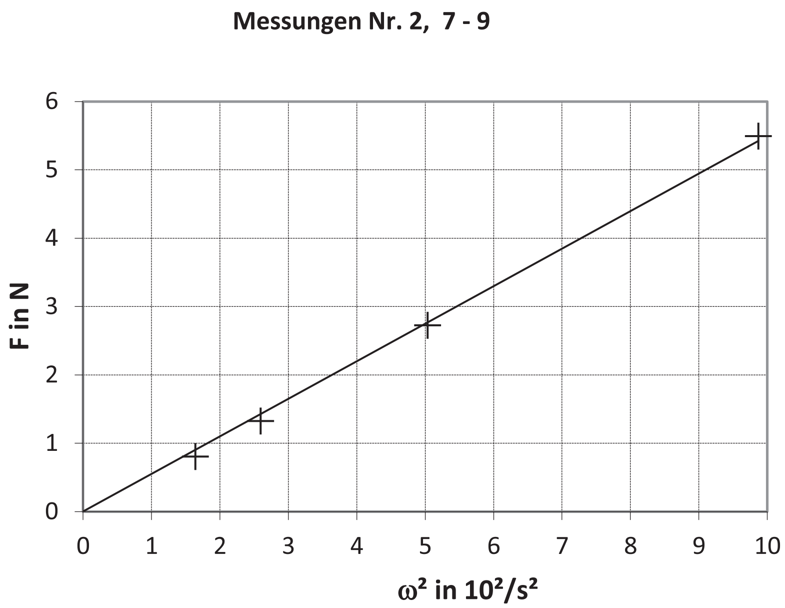
Ergebnis:
Im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit liegen die Messwertepaare auf einer Halbgeraden durch den Ursprung, d. h. $F \sim r$ für m = konst. und ω = konst.

Experimentelle Untersuchung der Zentripetalkraft - Lösungen

Expertentext $\boxed{3}$

Lösung zu Arbeitsauftrag 1:

Abhängigkeit $F(\omega)$ für r = 10 cm = konst. und m = 51,5 g



Ergebnis:
Im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit liegen die Messwertepaare auf einer Halbgeraden durch den Koordinatenursprung, d. h. $F \sim \omega^2$ für r = konst. und m = konst.

Experimentelle Untersuchung der Zentripetalkraft - Lösungen

Puzzlegruppe $\boxed{1}$ + $\boxed{2}$ + $\boxed{3}$

Lösung zu Arbeitsauftrag 3:

$$\left.\begin{array}{l} F \sim m \text{ , für } r = \text{konst., } \omega = \text{konst.} \\ F \sim r \text{ , für } m = \text{konst., } \omega = \text{konst.} \\ F \sim \omega^2 \text{, für } r = \text{konst., } m = \text{konst.} \end{array}\right\} \quad \Longrightarrow \quad F \sim m \cdot r \cdot \omega^2 \quad \Longleftrightarrow \quad F = k \cdot m \cdot r \cdot \omega^2 \;\text{ mit } k = \text{konst.}$$

$$k = \frac{F}{m \cdot r \cdot \omega^2} = \frac{F}{m \cdot r \cdot (2\pi/T)^2} \overset{\text{Nr. 1}}{=} \frac{1{,}30\ \text{N}}{0{,}0515\ \text{kg} \cdot 0{,}050\ \text{m} \cdot (2\pi/0{,}28\ \text{s})^2} = 1{,}0\ \frac{\text{N}}{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2} = 1{,}0\ \frac{\text{N}}{\text{N}} = 1{,}0$$

Im Rahmen der Messgenauigkeit gilt: $k = 1$

Ergebnis: $\boldsymbol{F = m \cdot r \cdot \omega^2}$

$F \sim m$	$F \sim r$
$F \sim \omega^2$	r = konst. und m = konst.
m = konst. und ω = konst.	r = konst. und ω = konst.
$k = \frac{F}{mr\omega^2}$ = konst.	$F = m \cdot r \cdot \omega^2$
$F = \frac{m \cdot v^2}{r}$	$F = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$
$F = m \cdot a$	$v = r \cdot \omega$
$\omega = \frac{2\pi}{T}$	$a = r \cdot \omega^2$