Unterrichtsentwurf: Drehmomente

Dr.-Ing. Olivier Cleynen
Internationales Stiftungsgymnasium Magdeburg
Physik 7. Klasse, 09.06.2023
Klasse 7xx, 90 Minuten (10:15-11:45)

Inhalt

1. Einschätzung der Lerngruppe 2
2. Einordnung in die Rahmenrichtlinien und Sequenzplan 3
3. Sachanalyse 4
4. Unterrichtsziele 5
5. Verlaufsplan 6
6. Didaktisch-methodische Konzeption 9
Einstieg 9
Sicherung 10
Erarbeitung und digitales Experiment 10
Literaturverzeichnis 14
Dokumente 15

1. Einschätzung der Lerngruppe

Die 7xx-Klasse 2022/2023 des Internationalen Stiftungsgymnasiums Magdeburg besteht aus 26 Schüler:innen, die jede Woche zwei Stunden Physik in einem Fachraum absolvieren. Ich hatte zu Beginn des Jahres ein schwieriges Verhältnis zu dieser Klasse. Meine Schwierigkeiten bestanden insbesondere darin, während der Gruppenarbeit ein gutes (kooperatives, selbstbewusstes) Verhalten innerhalb von Gruppen zu erreichen (siehe auch unten) und die Aufmerksamkeit der Schüler:innen während der Frontalphasen aufrechtzuerhalten. Ich bin damit umgegangen, indem ich meine Erwartungen deutlicher gemacht habe und die Schüler:innen gezielt lobe, wenn sie diese befolgen (dem Rat von Jones [3] und Wong & Wong [4] folgend). Ein Wendepunkt wurde im Februar erreicht, als ich nach einigen enttäuschenden Sitzungen aufhörte, die Schüler sitzen zu lassen, wo sie wollten, und einen Sitzplan einführte. Mithilfe von Namenskarten ordne ich seitdem 10 bestimmten Schüler:innen feste Positionen im Raum zu und verteile die übrigen Schüler:innen in jeder Stunde nach dem Zufallsprinzip auf die verbleibenden Plätze. Im Moment (Juni 2023) finde ich, dass die Klasse sehr gut funktioniert. Sie ist lob- und kritikfähig und funktioniert in den Gruppenarbeitsphasen sehr gut. Die Notenverteilung spiegelt dies wider.

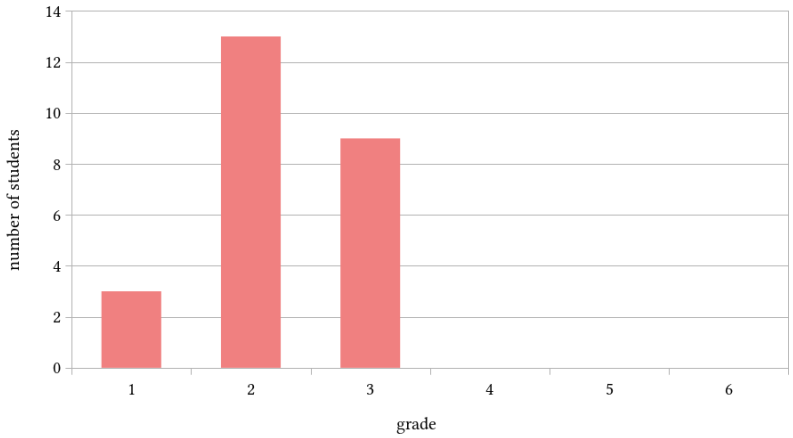


Abb. 1: Notenverteilung der Klasse

Eine kommentierte Auswahl von Schüler:innen des Jahrgangs lautet wie folgt:
[*NB: Namen wurden vor der Veröffentlichung anonymisiert.*]

- **Arda** ist, wenn er neben einem Freund sitzt, in ständiger Interaktion und in einem permanenten Zustand der Ablenkung. Wenn er isoliert ist, entwickelt er sich zu einem herausragenden Teilnehmer des Unterrichts und scheut sich nicht, Fragen zu beantworten, selbst wenn er sich der Antwort nicht sicher ist.
- **Sofia & Emilia** sind unzertrennliche Freundinnen. Nachdem ich zu viele Schwierigkeiten mit ihnen hatte, habe ich beschlossen, sie getrennt voneinander zu platzieren – das hat Wunder gewirkt.
- **Ben** ist einer der schwächsten Schüler im Physikunterricht. Es fällt ihm schwer, sich beim Schreiben von Antworten und Berechnungen zu konzentrieren, aber seine Noten bedeuten ihm sehr viel.
- **Zoey** ist eine ausgezeichnete Schülerin, erwartet jedoch viel Bestätigung vom Lehrer, da sie sich ständig Sorgen macht, dass sie etwas nicht richtig versteht. Ich muss darauf ach-

ten, dass sie nicht zu viel von meiner Aufmerksamkeit in Anspruch nimmt, denn andere Schüler:innen brauchen sie (viel) mehr.

- **Mila** bringt gute Leistungen und ist eine aufmerksame, ruhige Schülerin. Leider sucht sie immer ausschließlich Hilfe bei ihren Freunden, so dass es für mich oft schwierig ist, zu erkennen, wenn sie etwas nicht versteht (Neles erste Frage an mich erfolgte im März).
- **Dilara** ist eine sehr leistungsstarke Schülerin und eine tolle Klassenkameradin. Sie ist eigensinnig und einflussreich, deshalb achte ich darauf, sie auf meiner Seite zu haben.
- **Tim** hat sowohl mit Physik als auch mit der Konzentration im Unterricht Schwierigkeiten und hat Verhaltensauffälligkeiten außerhalb des Physikunterrichts gezeigt. Für mich war er der schwierigste Schüler in der Klasse, bis wir eine schwierige Episode hatten. Seitdem kommuniziert er viel besser mit mir. Solange er jetzt von seinen Freunden isoliert ist, nimmt er gut am Unterricht teil.

2. Einordnung in die Rahmenrichtlinien und Sequenzplan

Dieses Unterricht ist Teil des Kompetenzschwerpunkts „Kräfte und ihre Wirkungen“, wie im Fachlehrplan Physik Gymnasium, Schuljahrgänge 7/8 (Stand: 01.08.2022) beschrieben.

Der Unterrichtssequenz ist wie folgt:

1	Vorstellung von Kraft (mit YouTube Video https://www.youtube.com/watch?v=xwsAyQGo9dQ)
2	Erste Hälfte von Kapitel 1 (Kräfte) (verschiedene Beispiele für Kräfte)
3	Gruppenarbeit (physikalisches Experiment): „Macht eure eigene Feder“ (Kraftmessungen mit Federn)
4	Zweite Hälfte von Kapitel 1 (Kräfte) (Formeln für Gewicht und Federkraft)
5	Kapitel 2 (Summe von Kräften) Arbeitsblatt in Partnerarbeit: Gewicht berechnen & Kräfte addieren
6	Kapitel 3 (Arbeit) Arbeitsblatt in Partnerarbeit: Berechnung der Arbeit in Flaschenzügen
7	Kapitel 4 (Drehmomente) (mit YouTube Video https://www.youtube.com/watch?v=WA0ry1H4LZ4) Gruppenarbeit (digitales Experiment): Waagen ausbalancieren, Drehmomente berechnen

3. Sachanalyse

Drehmomente sind eine wichtige Größe in der Mechanik. Auch wenn die Details der Definition nicht entscheidend sind, ist es wichtig, dass die Schüler:innen verstehen, dass wir das Ausmaß der „Drehkraft“ quantifizieren wollen und dass sich diese von der Kraft selbst unterscheidet.

Auf der Ebene dieser Klasse werden Drehmomente als skalare Größe M definiert, das Produkt aus Kraft F und Abstand R:

$$M = F \cdot R$$

In der 7. Klasse sollen die Schüler:innen ein Gespür dafür entwickeln, was einen Drehmoment groß oder klein macht, verstehen, dass die Einheit Nm (newtonmeter) ist, und in der Lage sein, ihre Größe zu quantifizieren.

Im Allgemeinen sind Drehmomente ein Schlüsselbegriff, um das Gleichgewicht zu verstehen. Da die meisten Siebtklässler bereits eine Vorstellung davon haben, wie mit einer Waage ein zweidimensionales Gleichgewicht erreicht wird, ist es möglich, mit der Idee des Gleichgewichts zu beginnen, um den Begriff des Drehmoments einzuführen.

In Fällen, in denen mehr als zwei Kräfte vorhanden sind oder nicht alle Kräfte nach unten zeigen, muss die mathematische Definition des Drehmoments erweitert werden. Daher werden sich die Schüler:innen im späteren Studium immer komplexer mit dem Konzept befassen:

- Der Abstand R und damit das Drehmoment M können negative Werte aufweisen (z. B. negativ im Uhrzeigersinn, positiv gegen den Uhrzeigersinn), sodass das Gleichgewicht in einer Ebene auch bei nach oben gerichteten Kräften quantifiziert werden kann. Auf diese Weise kann beispielsweise der *Trim* (Gleichgewicht) eines Flugzeugs im Flug quantifiziert werden.[8]

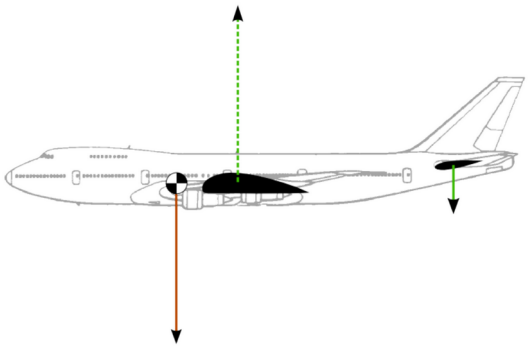


Abb. 2: Längsgleichgewicht (Trim) eines Flugzeugs unter Verwendung von Momenten entgegengesetzter Größe [8]

- Der Abstand R und die Kraft F stehen nicht mehr unbedingt senkrecht zueinander. In diesem Fall wird die Definition überarbeitet, um eine Art geometrische Projektion einzubeziehen: $M = F \cdot R \cdot \cos\theta$

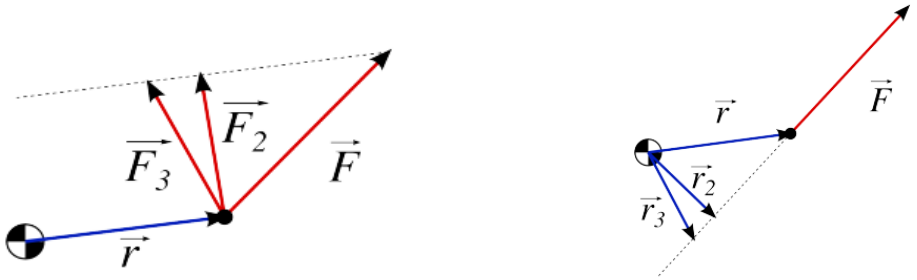


Abb. 3: Unterschiedliche Kräfte und unterschiedliche Radien führen alle zum gleichen Drehmoment [9]

- Die unterschiedlichen Abstände und Kräfte liegen nicht mehr in derselben Ebene. In diesem Fall muss das Drehoment als Vektor $\underline{M}$ (mit Betrag *und* Richtung) neu definiert werden, der als Kreuzprodukt der Abstands- und Kraftvektoren definiert ist: $\underline{M} = \underline{F} \times \underline{R}$. Zum Beispiel die Momentenbilanz an einem Flugzeug, das mit unwirksamem Triebwerk startet, lässt sich mithilfe von Vektoren in drei Dimensionen gut beschreiben. [9]

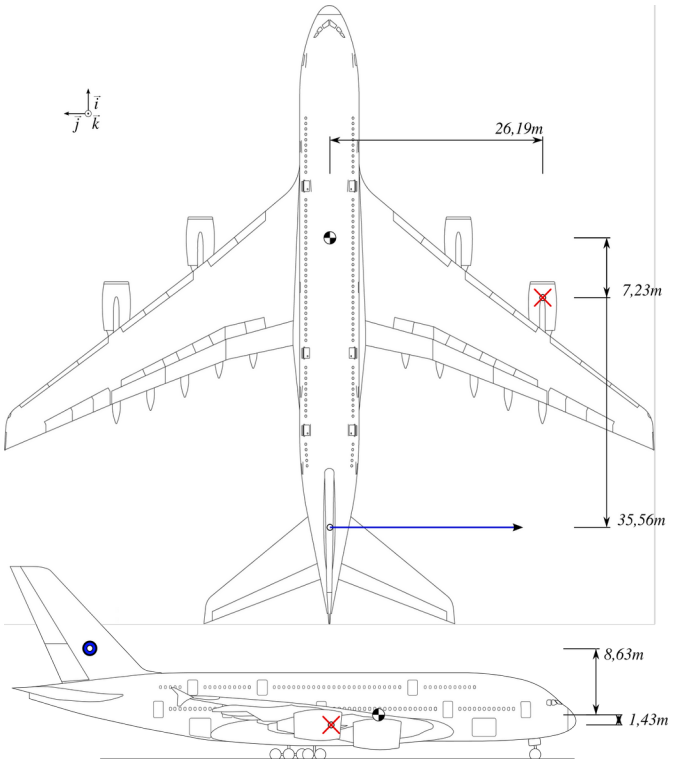


Abb. 4: Das Gleichgewicht während des Fluges in einem Verkehrsflugzeug mit ausgefallenem Triebwerk erfordert einen Momentenausgleich in drei Dimensionen unter Verwendung von Vektorkreuzprodukten [9]

In der Zwischenzeit werden die Schüler:innen das zweite Newtonsche Gesetz in rotierenden Systemen kennengelernt haben, in dem auch Drehmomente eine entscheidende Rolle spielen. Die Rolle von Drehmomenten in der Mechanik (Statik und Dynamik) ist z. B. in Meriam & Kraige [1, 2] ausführlich beschrieben.

4. Unterrichtsziele

Nach der gezeigten Unterrichtsstunde sind die Schüler:innen in der Lage:

- das Hebelgesetz auf einseitige und zweiseitige Hebel anzuwenden;
- Einfache Experimente zu planen, durchführen und auswerten, um eine Waage ins Gleichgewicht zu bringen oder in nicht trivialen Fällen das Gewicht unbekannter Objekte herauszufinden.

5. Verlaufsplan

09.06.2023
Physik 7. Klasse
Klasse 7xx, 90 Minuten (10:15-11:45)

Thema: Drehmomente in der Mechanik

Phase	Inhalt	Sozialform	Medien
Organisatorisches 5 min	Begrüßung Vorstellung des Gastes Timing & Organisation aktuelle + folgende Sitzung	Lehrervortrag	PowerPoint (vom Laptop)
Hinführung, Motivation, Einstieg 5 min	Kurze Erinnerung an die Sitzung der Vorwoche (Flaschenzug) – was war das Fazit (Vor- und Nachteile)? Erklärung, dass wir ein neues, verwandtes Konzept untersuchen werden: Drehmomente	Frontal, Lehrervortrag, interaktiv mit Schüler:innen	PowerPoint (vom Laptop) Interaktive Simulation im Webbwrowser des Whiteboards
Erarbeitung 10 min	Erklärung, dass für 10 Minuten harter Arbeit die volle Aufmerksamkeit der Klasse erforderlich ist. Einführung des Konzepts der Drehmomente implizit durch Zeichnungen von Waagen an der Tafel. Wohin soll das Gewicht gehen, damit die Waage im Gleichgewicht ist? Langsam durch vier immer schwieriger werdende Fälle vorankommen (Zeit wird genommen, auch weniger selbstbewusste Schüler:innen einzubeziehen). Sobald die Klasse eine intuitive Vorstellung davon hat, wie die Proble-	Gemeinsam Lehrer-Schüler:innen Unterrichtsgespräch, Lehrerdemonstration, interaktiv mit Schüler:innen	Whiteboard (live Zeichnungen)

	me gelöst werden können, werden die Schüler:innen gebeten, eine Formulierung für die vorliegende Regel vorzuschlagen: • erstmal auf Deutsch (“Der Abstand mal der Kraft auf der rechten Seite ist gleich dem Abstand mal der Kraft auf der linken Seite”) ; • dann als mathematischer Ausdruck ($R_1 \cdot F_1 = R_2 \cdot F_2$). Einführung des Wortes „Drehmoment“, um die Wirkung zu beschreiben, die Gewichte auf die Waage haben. Vorzeigen von Beispiele mit Schraubendreher und Ratschenschlüssel, die zum Lösen von Radmuttern an Autos verwendet werden: Die Idee ist, eine „Drehkraft“ zu erzeugen.		
Sicherung 15 min	Ansehung der 4,5-minütige YouTube-Video von “The Simple Engineers” an https://www.youtube.com/watch?v=WA0ry1H4LZ4 , das den Begriff des Augenblicks zusammenfasst (keine neuen Informationen). Die Schüler:innen schreiben die Definition des Drehmoments und die Gleichung, die benötigt wird, um Körper mit beliebigen Gewichten und Abständen auszubalancieren, auf den Unterrichtsvorlagenbögen auf, die zwei Wochen zuvor verteilt wurden (der Lehrer schreibt an die Tafel, die Schüler:innen schreiben auf ihr Blatt).	Unterrichtsgespräch	Video auf Whiteboard (vom Laptop) Ausgedruckte Kursnotizen zum Ausfüllen (Schüler:innen) Whiteboard PDF Editor (Lehrer)
Einführung in der 2. Erarbeitung 10 min	Erklärung, dass die Klasse auf Gruppenarbeit umstellt und die Ergebnisse benotet werden. Gemeinsame Wiederholung der Kriterien für die Benotung der Gruppenarbeit. Aufteilen der Klasse in 6 zufällig erstellte Gruppen, live vor der Klasse auf der „Team Picker Wheel“-Website (jede Gruppe besteht aus 4 bis 5	Unterrichtsgespräch	Website auf Whiteboard (vom Laptop)

	Schüler:innen): https://pickerwheel.com/tools/random-team-generator/ Die Schüler:innen ändern die Sitzkonfiguration und versammeln sich in Gruppen. Verteilung der Gruppenarbeitsaufgaben (1 Blatt pro Schüler:innen, obwohl nur 1 Blatt pro Gruppe zur Benotung gesammelt wird). Die Schüler:innen bekommen ein Zeitbudget, um die Aufgabe zu erarbeiten (Rest des Unterrichts — etwa 45 Minuten).		
Erarbeitung Digitales Experiment 45 min	Die Schüler:innen bearbeiten die Aufgaben in Gruppen und bearbeiten dabei die PhET-Simulation https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_all.html Typischerweise werden 2-3 Geräte pro Gruppe verwendet, die Ergebnisse werden von 1-2 Schüler:innen auf dem Blatt notiert. Der Lehrer geht zwischen den Gruppen hin und her und leistet bei Bedarf Hilfe. Der Lehrer bewertet das Verhalten von mindestens zwei Gruppen anhand der von der Klasse zu Beginn des Schuljahres erstellten Bewertungsvorlage für die Gruppenleistung. Am Ende der Sitzung reicht jede Gruppe einen Antwortbogen zur Bewertung ein.	Schüler:innenübung in Gruppenarbeit	Ausgedruckte Arbeitsblätter (Schüler:innen) Eigene Geräte (Schüler:innen)

6. Didaktisch-methodische Konzeption

Ich gestalte die Sitzung so, dass die Studenten verschiedene Möglichkeiten haben, zu arbeiten und zu lernen. Am besten lässt sich das vielleicht erklären, indem ich den Verlauf der Sitzung im Folgenden kommentiere.

Einstieg

Die 10-minütige frontale Erkundungssitzung ("Einstieg") ist so aufgebaut, dass die Schüler kurzzeitig an „Deep Thinking“ Physik teilnehmen. Oft werden die theoretischen Konzepte vor ihrer Anwendung vorgestellt, aber in diesem speziellen Fall ist es umgekehrt. Die Schritte sind wie folgt:

- Ich bitte die Schüler:innen in der Klasse, ihrer Intuition zu folgen, um mündlich einfache Waageprobleme zu lösen, die an der Tafel angezeigt werden.
- Ich lasse die Schüler:innen die zugrunde liegende Regel identifizieren und versuchen, sie als Satz auf Deutsch zu formulieren („Der Abstand multipliziert mit der Kraft auf der rechten Seite ist gleich dem Abstand multipliziert mit der Kraft auf der linken Seite“).
- Ich lasse die Schüler:innen den Satz in einen mathematischen Ausdruck „übersetzen“. ($R_1 \cdot F_1 = R_2 \cdot F_2$)
- Ich erkläre abschließend, dass das Produkt $R \cdot F$ in der Physik einen Namen hat: *Drehmoment.*

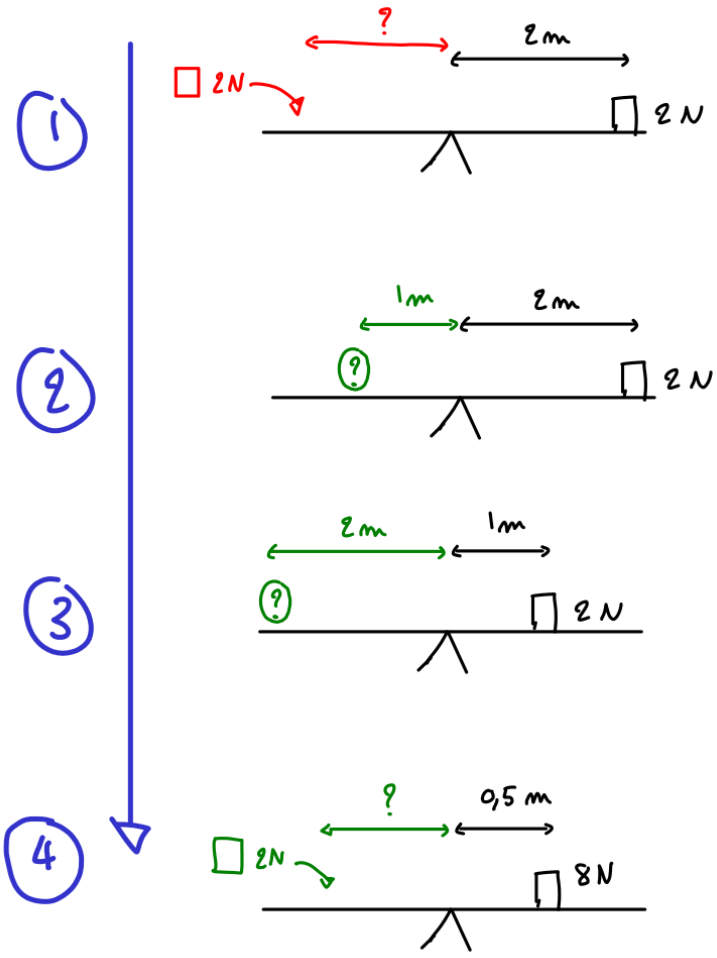


Abb. 5: Abfolge der Rätsel (von 1 bis 4), die live auf der Tafel gezeichnet werden

Auf diese Weise führe ich die Schüler:innen, auch wenn der Durchbruch gering ist, durch eine grundlegende Methode der Physik: Zuerst wird ein physikalisches Phänomen beobachtet und dann wird ein mathematisches Gesetz dafür abgeleitet.

In dieser Phase des Unterrichts besteht die Idee darin, die Schüler:innen zum Lösen von Rätseln aufzufordern. Deshalb konzentriere ich mich auf die Schüler:innen, die am wenigsten Selbstvertrauen haben: ich Ermutige die ruhigsten Schüler:innen zur Teilnahme und ignoriere die Stärksten (die zwangsläufig die Ersten sind, ihre Hand zu heben), wenn ich die Schüler:innen zum sprechen einlade.

Sobald das Wort „Drehmoment“ eingeführt wurde, untermauere ich die Vorstellung, dass wir den „Drehaufwand“ quantifizieren, indem ich einen Schraubenzieher aus meinem eigenen Werkzeugkasten zeige. Dann fordere ich die Klasse auf, zu beschreiben, wie ein Werkzeug aussieht, das ein viel stärkeres Drehmoment erzeugen kann, zum Beispiel zum Lösen einer Radmutter an einem Auto, bevor ich einen Ratschenschlüssel zeige. Das Sehen (und Hören, im Fall der Ratsche) realer Objekte hilft einem guten Teil der Schüler:innen, Vorstellungen in ihrem Gedächtnis zu verankern.

Sicherung

Die Konsolidierungsphase beginnt mit dem Ansehen eines 4,5-minütigen Videos vom YouTube-Kanal „The Simple Engineers“: https://www.youtube.com/watch?v=WA0ry1H4LZ4. Es ist wichtig zu erwähnen, dass das Video keine wichtigen neuen Informationen enthält. Stattdessen werden kurz zuvor aufgedeckte Ideen einfach in einem anderen Kontext wiederholt. Ich habe festgestellt, dass Videos von „The Simple Engineers“ und ihrem Zwilling „The Simple Physics“ bei Siebtklässlern sehr gut funktionieren: Sie sind kurz, klar und etwas frech.

Abb. 6: Screenshot aus dem YouTube-Video von „The Simple Engineers“

Anschließend lasse ich die Klasse die wichtigsten Informationen aufschreiben. Dazu nutze ich ausgedruckte Vorlagen, in die die Schüler:innen die wichtigsten Ideen, Symbole und Einheiten schreiben und zeichnen. (Leider führt dies zu einem hohen Druckaufwand für das Gymnasium, und ich muss meinen Arbeitsablauf nächstes Jahr anpassen.) Ich rufe eine PDF-Version der Vorlage auf dem Whiteboard auf und lasse die Schüler:innen gemeinsam mit mir schreiben. Da ich selbst nicht sehr gut darin bin, mit der Hand zu schreiben, versuche ich, den Schreibaufwand für die Schüler:innen zu minimieren und mich auf die wichtigsten Sätze, Gleichungen und Zeichnungen zu konzentrieren.

Erarbeitung und digitales Experiment

Diese Phase greift viele Aspekte meines Physikunterricht auf, die ich gesondert kommentieren möchte.

Benotete Arbeit in zufälligen Gruppen – In mehr als der Hälfte meiner Physikunterrichten teile ich die Schüler:innen in zufällig zusammengestellte Gruppen von 4 oder 5 auf, um an Aufgaben zu arbeiten, die ich dann benote (die Gruppen werden jedes Mal zufällig ausgewählt). Dies hat mehrere Vorteile, darunter:

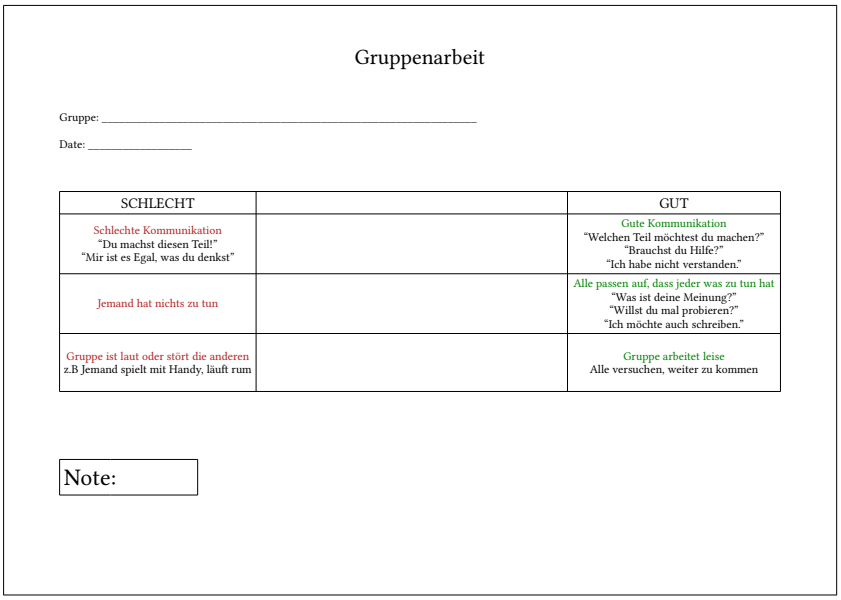
- Starke und schwache Schüler:innen werden effektiv gemischt;
- Die Schüler:innen lernen, mit Partnern außerhalb ihres direkten Freundeskreises zusammenzuarbeiten (meiner Meinung nach eine Fähigkeit, die in der Physik weitaus wichtiger ist als die Fähigkeit, Drehomente zu berechnen);

- Da der Arbeitsaufwand für die Benotung bei mir geringer ist, kann ich Arbeiten häufiger benoten und so „normale“, alltägliche Arbeiten mit Noten belohnen, sodass der Fokus nicht nur auf großen Tests liegt.

Dabei folge ich weitgehend der Arbeit von Peter Liljedahl (*Building Thinking Classrooms in Mathematics* [11]), der seine Arbeit selbst auf umfangreiche, von Experten begutachtete Forschung stützt. Wie Liljedahl anmerkt, ist es entscheidend, dass die Randomisierung der Gruppen vor den Augen der Schüler:innen erfolgt, sonst kann man die nicht überzeugen, dass die Gruppen wirklich zufällig sind.

Ich nutze die Website *Team Picker Wheel* um https://pickerwheel.com/tools/random-team-generator/ zum Aufbau der Gruppen und finde, dass ihre visuellen und akustischen Effekte (Spannung aufbauen und dann Emotionen freisetzen) bei Siebtklässlern sehr gut funktionieren. Beschwerden darüber, wie die Gruppen eingeteilt werden, bestehen nicht über die erste Schulwoche hinaus. Gelegentlich lasse ich die Schüler:innen ihre Gruppen selbst auswählen, nur um ihnen im Nachhinein zu zeigen, dass die resultierenden Noten tatsächlich schlechter ausfallen.

Benotung der Gruppenleistung – Neben der rein technischen Arbeit der Gruppen bewerte ich auch deren soziale Kompetenz. Auch hier stütze ich mich weitgehend auf Liljedahl 2020 [11] und seine begleitende Forschungsarbeit. Am Anfang des Jahres bespreche ich mit der Klasse, welche Eigenschaften Arbeitsgruppen haben sollten, und wir erstellen gemeinsam eine Bewertungsvorlage an der Tafel. Dort notieren wir Zitate für erwünschtes und unerwünschtes Verhalten, die die Schüler vorschlagen. Das Ergebnis ist eine Benotungstabelle, die ich während der Arbeitssitzungen verwenden kann.



Gruppenarbeit

Gruppe: _____

Date: _____

SCHLECHT		GUT
Schlechte Kommunikation “Du machst diesen Teil!” “Mir ist es Egal, was du denkst”		Gute Kommunikation “Welchen Teil möchtest du machen?” “Brauchst du Hilfe?” “Ich habe nicht verstanden.”
Jemand hat nichts zu tun		Alle passen auf, dass jeder was zu tun hat “Was ist deine Meinung?” “Willst du mal probieren?” “Ich möchte auch schreiben.”
Gruppe ist laut oder stört die anderen z.B Jemand spielt mit Handy, läuft rum		Gruppe arbeitet leise Alle versuchen, weiter zu kommen

Note:

Abb. 7: Bewertungsvorlage für das Sozialverhalten von Gruppen. Der Wortlaut wird von den Schüler:innen zu Beginn des Schuljahres selbst vorgeschlagen.

Es gibt zwei wichtige Nachteile dieses Systems:

- Die Experimente/Arbeitsblätter müssen bereits so gut laufen, dass es dem Lehrer genügend Zeit und Denkraum bleibt, um die sozialen Kompetenzen der Gruppen zu bewerten, während die Schüler:innen arbeiten;

- Es dauert in der Regel lange, bis die Schüler:innen akzeptieren, dass die *Gruppe* dafür verantwortlich ist, zusammenzuhalten und sich selbst zu korrigieren, wenn sich ein Einzelner schlecht verhaltet. Daher sind mindestens drei bis vier Sitzungen erforderlich, um den gewünschten Effekt zu erzielen.

Sobald diese beiden Hindernisse jedoch überwunden sind, ist die Gruppenbewertungsvorlage ein hervorragendes Werkzeug. In der Praxis kündige ich zu Beginn der Experiment an, dass ich die soziale Leistung von mindestens zwei Gruppen bewerten werde, wobei ich mich auf die Gruppen konzentriere, die jeweils am besten und am schlechtesten funktionieren. Wenn ich eine Gruppe erkenne, die nicht gut funktioniert, lasse ich meine Vorlage vorsichtig auf den Tisch fallen und erzähle die Schüler:innen, wie sie im Moment steht und was ich stattdessen gerne sehen und hören würde. Da dies normalerweise zu sofortigen Verbesserungen führt und Gruppen belohnt, die sich ihres Verhaltens bewusst sind, halte ich es für ein äußerst nützliches Werkzeug im Physikunterricht.

Problemorientiertes Arbeitsblatt – Ich komme aus der Luft- und Raumfahrttechnik und löse gerne Probleme. Ich versuche, die klassische Formulierung für experimentelle Arbeiten im Gymnasium zu vermeiden („Machen Sie X, dann machen Sie Y: Was beobachten Sie? Zu welchem Schluss kommen Sie?"). Stattdessen, wie ich in andere Arbeite gemacht habe [8, 9, 12] konzentriere ich mich auf problemorientierte Formulierungen, zum Beispiel:

- „Könnt ihr den Stromkreis so verändern, dass *entweder* die rote *oder* die grüne LED aufleuchtet, aber nicht beide gleichzeitig?"
- „Schafft ihr, eine Feder zu bauen, die eine nicht konstante Steifigkeit aufweist? Wenn ja, beweist es mit einer Messung!"

In dieser Sitzung bietet das digitale Experiment viele Möglichkeiten dafür, indem es die „Geschenkboxen" (deren Masse unbekannt ist) auf der Waage verwendet.

Verwendung von PhET-Simulationen – Diese digitalen Simulationen, die von der University of Colorado veröffentlicht wurden, wurden von Physikern, Pädagogen und Programmierern speziell für Kinder und Jugendliche entwickelt [5, 6, 7]. Sie integrieren häufig spielerische Elemente und bieten eine hervorragende Visualisierung physikalischer Phänomene. Darüber hinaus sind sie technisch robust und laufen reibungslos und zuverlässig auf jedem Gerät mit einem modernen Webbrowser.

In dieser Vorlesung bearbeiten die Schüler:innen die Simulation mit dem Titel „Balancing Act", um https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_all.html

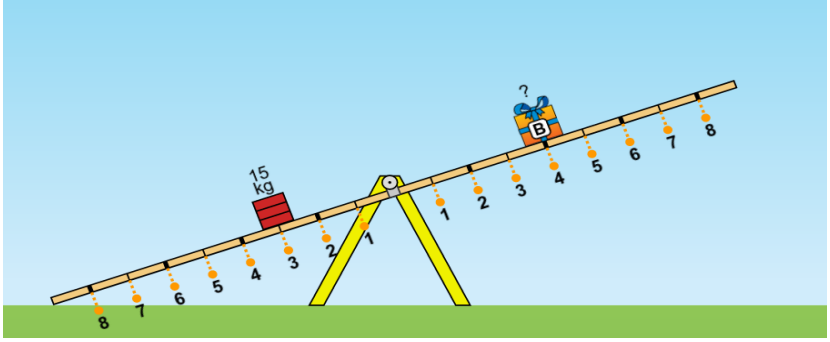


Abb. 8: Screenshot der im Unterricht verwendeten PhET-Simulation

Es gibt drei Phasen:

1. Die Schüler:innen spielen die Spiele, machen sich mit der allgemeinen Mechanik der Simulation vertraut und versuchen vorherzusagen, in welche Richtung sich das Gleichgewicht verändern wird. Diese Probleme können alle mit impliziten Berechnungen gelöst werden (z. B. „Der Stein ist halb so schwer, also muss er doppelt so weit sein“) und dienen dazu, die Intuition für solche Probleme zu stärken und zu üben.
   Die Leistungen der Schüler:innen bei den Spielen werden nicht erfasst und fließen nicht in die Note der Gruppenarbeit ein. Die Anzahl der erhaltenen Sterne, Smileys, Geräusche usw. dienen stattdessen dazu, das Verlangen der Schüler nach Belohnung zu stillen (wie sehr gut in Armstrong [10] beschrieben) und helfen dabei, dass die Aktivität Spaß macht.

2. Die Schüler:innen öffnen die “Lab” Aktivität und versuchen, die Masse der acht „Geschenkboxen“ herauszufinden, indem sie sie mit Referenzobjekten bekannter Masse vergleichen. Mit genügend Aufwand ist es möglich, die Masse der ersten vier Kisten ohne Berechnung zu ermitteln (z. B. kann man eine Masse von 20 kg verwenden, um herauszufinden, dass B eine Masse von 20 kg hat). Allerdings sind die letzten vier Boxen schwieriger: Box E hat beispielsweise eine Masse von 3 kg, aber die leichteste verfügbare Referenzmasse beträgt 5 kg. Daher *müssen* die Schüler:innen die im ersten Teil des Unterrichts abgeleitete mathematische Beziehung verwenden, wenn sie das Problem lösen wollen.

3. Schließlich müssen die Gruppen im letzten Abschnitt die Drehmomente quantifizieren, die von zwei Objekten ausgeübt werden, die sie ausbalancieren. Dies erfordert, dass sie auf das in früheren Unterrichten erworbene Wissen zurückgreifen, um das Gewicht (in N) bei gegebener Masse (in kg) zu quantifizieren und das Ergebnis (ein Drehmoment in Nm) dann in der richtigen Einheit auszudrücken. Das allerletzte Problem ist komplexer und dient dazu, Gruppen herauszufordern, die während der Sitzung am weitesten gekommen sind.

Literaturverzeichnis

[1] James L Meriam und L Glenn Kraige. *Engineering Mechanics. Statics (SI version)*. Englisch. 4. Aufl. John Wiley & Sons, 1998. ISBN: 9780471241645.

[2] James L Meriam und L Glenn Kraige. *Engineering Mechanics. Dynamics (SI version)*. Englisch. 4. Aufl. John Wiley & Sons, 1998. ISBN: 9780471241676.

[3] Fred Jones. *Tools for Teaching*. Englisch. 1. Aufl. Frederic H. Jones & Associates, Inc., 2000. ISBN: 0965026302.

[4] Harry K Wong und Rosemary Tripi Wong. *The First Days of School. How to be an effective teacher*. Englisch. Harry K. Wong Publications, 2005. ISBN: 9780962936067.

[5] Katherine Perkins, Wendy Adams, Michael Dubson, Noah Finkelstein, Sam Reid, Carl Wieman und Ron LeMaster. „PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics“. In: *The Physics Teacher* 44.1 (2006), S. 18–23. DOI: 10.1119/1.2150754.

[6] Carl E Wieman, Wendy K Adams und Katherine K Perkins. „PhET: Simulations that enhance learning“. In: *Science* 322.5902 (2008), S. 682–683. DOI: 10.1126/science.1161948.

[7] Carl E Wieman, Wendy K Adams, Patricia Loeblein und Katherine K Perkins. „Teaching physics using PhET simulations“. In: *The Physics Teacher* 48.4 (2010), S. 225–227. DOI: 10.1119/1.3361987.

[8] Olivier Cleynen. *Aspects of Aircraft Design and Control. A series of eight university projects on selected aspects of aeronautical engineering*. Englisch. Under CC-by-sa license. 2013. DOI: 10.5281/zenodo.15059071. URL: https://ariadacapo.net/lecture-notes/aspects_aircraft_design/ .

[9] Olivier Cleynen. *Introduction à la mécanique. Série de six bureaux d'études pour étudiants ingénieurs.* Französisch. Under CC-by-sa license. 2013. DOI: 10.5281/zenodo.15068861. URL: https://ariadacapo.net/lecture-notes/introm%C3%A9ca/ .

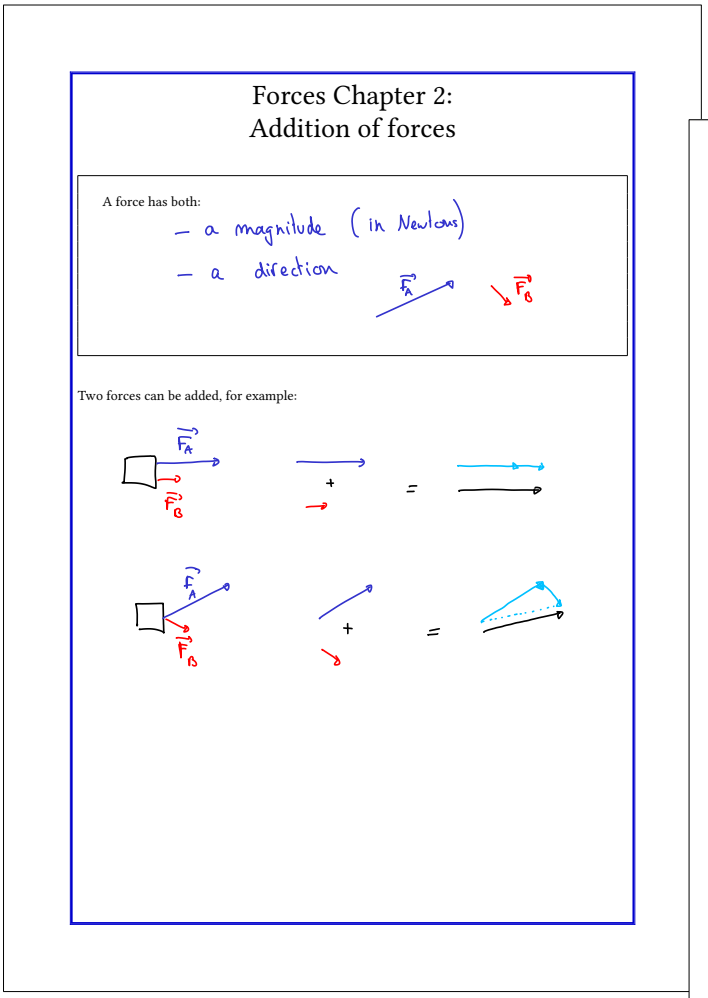
[10] Thomas Armstrong. *The Power of the Adolescent Brain. Strategies for teaching middle and high school students.* Englisch. ASCD, 2016. ISBN: 9781416621874.

[11] Peter Liljedahl. *Building Thinking Classrooms in Mathematics. Grades K-12: 14 teaching practices for enhancing learning*. Englisch. Corwin press, 2020. ISBN: 9781544374833.

[12] Olivier Cleynen. *Thermodynamique de l'ingénieur.* Französisch. 3. Aufl. Thermodynamique.fr (O. Cleynen), 2021. ISBN: 9781794848207. URL: https://thermodynamique.fr/.

Dokumente

Theorieseiten, wie sie von den Schüler:innen ausgefüllt werden:



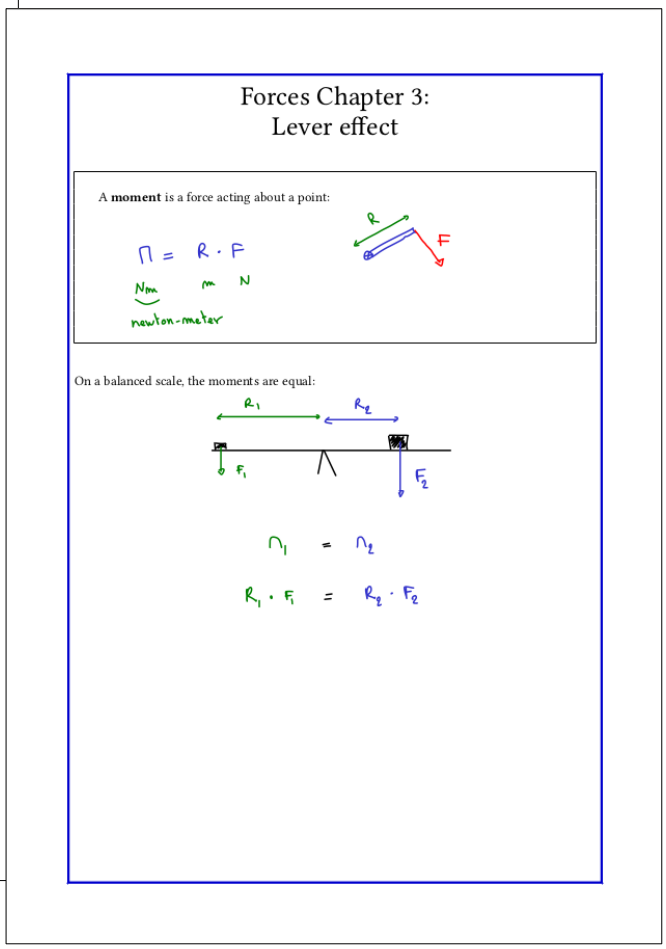
Forces Chapter 2:
Addition of forces

A force has both:

- a magnitude (in Newtons)
- a direction

$\vec{F_A}$ $\vec{F_B}$

Two forces can be added, for example:



Forces Chapter 3:
Lever effect

A **moment** is a force acting about a point:

$\Pi = R \cdot F$

Nm (newton-meter) m N

R F

On a balanced scale, the moments are equal:

R_1 R_2 F_1 F_2

$\Pi_1 = \Pi_2$

$R_1 \cdot F_1 = R_2 \cdot F_2$

Arbeitsblatt für Gruppenprojekte:

Forces: Experiment #2
Balancing moments

Group number:	Names:

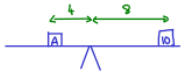
Getting started

Load the simulation at https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_all.html
or
https://s.42l.fr/moment

You can start with **playing the game** if you want!

How heavy are the gift boxes?

Load up the *Balance Lab*. For each of the boxes, find the mass (in kg), like so:

Gift box	How did you balance it?	Calculation	Result
A		$4 \cdot A = 8 \cdot 10$ $A = \frac{8 \cdot 10}{4} = 20$	20 kg
B			
C			
E			
D			
F			
G			
H			

What is the moment?

Balance out the physics teacher against the child with the yellow shirt.
Which **moment** do they create about the center point?

Object/person	Mass	Weight	Distance to center	Moment
Physics teacher				
Child with yellow shirt				

And now, try balancing the physics teacher with two blocks of 20 kg!
Which **moment** do they create about the center point?

Object/person	Mass	Weight	Distance to center	Moment
Physics teacher				
20 kg first block				
20 kg second block				