

# **Wissenschaftliche Hausarbeit**

im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das  
Lehramt an Gymnasien im Fach Physik,  
eingereicht dem Amt für Lehrerbildung

- Prüfungsstelle Gießen -

**Thema:**

Wiederholungs- und Übungsbox Kräfte:  
Entwicklung und Evaluation von Wiederholungs-  
und Übungsaufgaben zum Themenfeld Kräfte

**Verfasser:**

Christopher Achenbach  
Am Bewegungsbad 5  
35080 Bad Endbach

**Gutachterin:**

Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Planungsmodell	2
2.1 Was ist ein Planungsmodell?	2
2.2 Vorstellung verschiedener Planungsmodelle	2
2.3 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion	7
3 Entwicklung der Aktionsbox	11
3.1 Fachliche Klärung zum Thema Kräfte	11
3.2 Schülervorstellungen zum Thema Kräfte	18
3.3 Zielsetzung und Struktur der Aktionsbox zum Thema Kräfte	24
3.4 Entwicklung der Aktionsbox	28
3.4.1 Bearbeitungsgebiet 1: Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome	31
3.4.2 Bearbeitungsgebiet 2: Reibungskräfte	38
3.4.3 Bearbeitungsgebiet 3: Ergänzende Aufgaben	42
3.4.4 Infokarten	44
4 Fragestellungen der Arbeit	45
5 Datenerhebung und methodisches Vorgehen	47

6	Auswertung	50
6.1	Allgemeine Beobachtungen während der Erprobung	50
6.2	Auswertung des Bearbeitungsgebiets 1: Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome	51
6.3	Auswertung des Bearbeitungsgebiets 2: Reibungskräfte	57
6.4	Auswertung des Bearbeitungsgebiets 3: Ergänzende Aufgaben	59
6.5	Auswertung des Fragebogens	60
6.6	Antworten auf die Fragestellungen aus Kapitel 4	61
7	Möglichkeiten zur Verbesserung der Aktionsbox	64
7.1	Möglichkeiten zur allgemeinen Verbesserung der Aktionsbox	64
7.2	Möglichkeiten zur Verbesserung im Bearbeitungsgebiet 1: Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome	66
7.3	Möglichkeiten zur Verbesserung im Bearbeitungsgebiet 2: Reibungskräfte und im Bearbeitungsgebiet 3: Ergänzende Aufgaben	69
8	Résumé	70
9	Literaturverzeichnis	72
10	Bildquellenverzeichnis	73

Anhang:

Anhang A1: Wiederholungs- und Übungsbox zum Thema KRÄFTE

Anhang A2: Lösungskarten

Anhang A3: Bilder der Versuchsmaterialien

Anhang A4: Fragebogen zur Auswertung der Erfahrungen der SuS mit der Aktionsbox

Anhang A5: Auswertung des Fragebogens in den Grundkursen der Jahrgangsstufe 12

Anhang A6: Auswertung des Fragebogens im Leistungskurs der Jahrgangsstufe 13

# 1 Einleitung

Das Thema „Kräfte“ stellt für Schülerinnen und Schüler (im Folgenden mit SuS bezeichnet) immer wieder eine schwere Hürde auf dem Weg zum Abitur dar. Dabei spielen oft Alltagsvorstellungen eine große Rolle, da sie den Gesetzen der Physik häufig zu widersprechen scheinen und deshalb das Verständnis der SuS für diesen Themenbereich der Physik behindern.

Im Rahmen dieser Arbeit habe ich eine Wiederholungs- und Übungsbox zum Thema Kräfte (im Folgenden mit „Aktionsbox“ oder „Box“ bezeichnet) entwickelt. Das Ziel der Box ist es, die SuS in selbständiger Arbeit mit den aus ihrem Alltag entstandenen Vorstellungen zu konfrontieren und diese Vorstellungen nach Möglichkeit zu korrigieren. Dabei muss ein ausgewogenes Mittelmaß aus der Menge des zu behandelnden Stoffes und der Ausführlichkeit, mit der dieser Stoff behandelt wird, gefunden werden. Gelingt dies nicht, so kann es passieren, dass die Box entweder zu leicht und somit möglicherweise langweilig, oder aber zu schwer und damit demotivierend für die SuS wird. Beide Varianten sollen möglichst vermieden werden.

Es ist mir bewusst, dass im Rahmen einer solchen Arbeit keine in allen Belangen perfekte Box entwickelt werden kann. Dennoch ist es mein Vorhaben, die Box den Vorgaben entsprechend zu entwickeln und später auch die wichtigsten Verbesserungs-Möglichkeiten herauszuarbeiten.

In Kapitel 2 der Arbeit werden zunächst allgemeine theoretische Grundlagen zum Entwickeln von Lerneinheiten betrachtet. Anschließend werden im 3. Kapitel die fachlichen Hintergründe zum Thema „Kräfte“ beleuchtet und die Entwicklung der Aktionsbox in detaillierten Erläuterungen dargestellt. Die Kapitel 4 und 5 stellen die Fragestellungen der Arbeit, die Datenerhebung und das methodische Vorgehen dar. Im Anschluss an die praktische Erprobung werden deren Ergebnisse in Kapitel 6 präsentiert und die Box selbst wird beurteilt. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Erprobung werden in Kapitel 7 Überlegungen für die Verbesserung der Einheit dargestellt. Die Arbeit wird durch ein allgemeines Résumé abgeschlossen.

## **2 Planungsmodell**

### **2.1 Was ist ein Planungsmodell?**

Zu Beginn einer jeden Unterrichtseinheit stellt sich für Lehrerinnen und Lehrer immer wieder die Frage, welche Inhalte in der kommenden Einheit behandelt werden sollen und vor allem, wie sie diese Inhalte den SuS am besten näherbringen können. Ein Planungsmodell ist in diesem Falle dazu da, um den Lehrerinnen und Lehrern diese Unterrichtsvorbereitung etwas zu erleichtern und um dafür zu sorgen, dass keine wichtigen Aspekte vergessen werden. Planungsmodelle sind also in gewisser Weise eine Art Checkliste, an der sich die Lehrerinnen und Lehrer orientieren können.

### **2.2 Vorstellung verschiedener Planungsmodelle**

Prinzipiell sind Planungsmodelle immer sehr ähnlich aufgebaut. Es gibt vier Aspekte, die in jedem Modell enthalten sind und um die herum das Modell aufgebaut wird. Diese Aspekte sind die Formulierung der Lernziele, der geplante Stundenverlauf sowie eine Analyse der fachlichen Zusammenhänge, die oft als „Sachanalyse“ bezeichnet wird. Außerdem beinhaltet jedes Modell noch die Klärung der Frage, was genau an die SuS vermittelt werden soll und warum. Dieser Aspekt wird häufig als „didaktische Analyse“ bezeichnet. Was unter der Formulierung der Lernziele und dem geplanten Stundenverlauf zu verstehen ist, ist leicht nachzuvollziehen. Die Inhalte der Sachanalyse und der didaktischen Analyse werden im Folgenden kurz erläutert.

Bei der Sachanalyse handelt es sich in erster Linie um eine Klärung der fachlichen Zusammenhänge. Je nach Planungsmodell spielen hier auch besondere fachliche Schwierigkeiten, vorhergehende und nachfolgende Inhalte sowie die Bedeutung des Themas in der Fachwissenschaft und seine möglichen Teilgebiete eine Rolle.

Im Gegensatz dazu beschäftigt sich die didaktische Analyse mit der Fragestellung, welche Inhalte wirklich an die SuS vermittelt werden sollen und warum. Hier sind unter anderem die fachlichen Voraussetzungen der SuS und ihre zu erwartenden fachspezifischen Lernschwierigkeiten (die nicht zwingend mit den fachlichen Schwierigkeiten in der Sachanalyse übereinstimmen müssen) von Bedeutung. Aber nicht nur die Schülerperspektive soll hier betrachtet werden, sondern beispielsweise auch die Eingliederung des Themas in den Lehrplan, die Möglichkeiten für fächerübergreifenden Unterricht und die Überprüfungsmöglichkeiten der gelernten Inhalte. Interessanterweise wird die Frage nach den Methoden, also danach, wie die Inhalte den SuS vermittelt werden sollen, in der Regel nicht in der didaktischen Analyse behandelt. Zu diesem Zweck existiert in den meisten Planungsmodellen noch ein eigener Abschnitt, der sich ausschließlich mit dieser Thematik befasst.

Die vier zuvor genannten Aspekte werden in der Regel von weiteren, unterschiedlichen Aspekten ergänzt. Dazu gehören häufig die Erläuterung der kompletten Unterrichtseinheit (wenn das Modell zur Planung einer einzelnen Stunde verwendet wird), die allgemeinen Voraussetzungen in der Lerngruppe (besondere, nicht fachspezifische Schwierigkeiten etc.), eine genaue Auflistung von verwendeten Arbeitsblättern, Folien oder Texten und, wie bereits erwähnt, ein Abschnitt über methodische Vorgehensweisen. Dieser Aspekt nimmt in einigen Planungsmodellen einen sehr großen Raum ein, in anderen wiederum ist er nur ein Teil-Abschnitt, der einem anderen Aspekt untergeordnet wird (beispielsweise der didaktischen Analyse). Um den Aufbau eines Planungsmodells zu verdeutlichen sind in den Abbildungen 2.1, 2.2 und 2.3 drei Beispiele dargestellt.

Sämtliche hier gemachten Erläuterungen sowie die gezeigten Beispiele für Planungsmodelle sind in den Ausführungen von Kretschmer und Stary (1998) zu finden und noch genauer nachzulesen.

- 1. Die Unterrichtseinheit**  
Zielgruppe (Schulart, Klassenstufe, Kursniveau) – Thema – Gliederung – Zielsetzung
- 2. Die Unterrichtsstunde**  
Stellung innerhalb der Unterrichtseinheit – Thema – Zielsetzung
- 3. Unmittelbare Unterrichtsvoraussetzungen**
  - Spezielle Merkmale der Zielgruppe
  - Vorwissen, Lernstand, Leistungsmöglichkeiten
  - Beherrschung von Sozialformen, Arbeitstechniken u. Ä.
  - Voraufgegangener Unterricht
- 4. Sachanalyse**
- 5. Didaktische Analyse**
- 6. Methodische Möglichkeiten**
  - Gliederung des Unterrichtsverlaufs mit Fein-/Teilzielen
    - Artikulation/Phasen/Stufung des Unterrichts (Hinführung – Präsentation/Darbietung – Reaktion – Erarbeitung – Vertiefung – Festigung – Übung – Weiterführung – Anwendung – Übertragung – Gestaltung)
    - Motivierung der Schüler und Einstieg
    - Modus der Darbietung von Text/Material/Medium
  - Medien (Bücher, Bilder, Arbeitsblätter, Tafelanschrift/-bild, OH-Folien, Tonträger, Videos, Filme u. ä.)
  - Zeitbedarf
  - Alternativen
  - Möglichkeiten innerer Differenzierung
  - Sozialformen/Handlungsmuster
  - Erfolgs-/Lernkontrolle
  - Hausaufgaben
- 7. Geplanter Unterrichtsverlauf**

Zeit/Phase	Vermutetes Schülerverhalten	Geplantes Lehrerverhalten	Didaktischer Kommentar
------------	-----------------------------	---------------------------	------------------------

Zeit/Phase	Lehrer-/Schüler Verhalten	Aktionsform/ Sozialform	Medien	Ziel
------------	---------------------------	-------------------------	--------	------

- 8. Tafelbilder, OH-Folien, Arbeitsblätter, Texte usw.**
- 9. Literaturangaben**

Abbildung 2.1: Planungsmodell nach Kretschmer und Stry (Kretschmer & Stry, 1998, S. 82)

1. **Bild der Lerngruppe**
    - Lernvoraussetzungen der SchülerInnen
    - Interessen der SchülerInnen
    - Interaktionsverhalten der SchülerInnen
  2. **Bisher erteilter Unterricht**
    - Einordnung der Stunde in die Unterrichtseinheit
    - Organisatorische Voraussetzungen
    - Ausblick auf die Fortsetzung der Unterrichtseinheit
  3. **Sachanalyse**
    - fachwissenschaftlicher Zusammenhang und Grundlagen
    - fachliche Struktur des Themas
  4. **Didaktische Analyse**
    - Richtlinienvorgaben
    - Bedeutung des Themas für die SchülerInnen
    - „Methodische Leitfrage“\*
    - Begründung der Inhaltsauswahl
    - Zur didaktischen Reduktion
  5. **Lernziele**
    - kognitive, affektive, psychomotorische Lernziele oder:
    - fachliche Lernziele
    - soziale Lernziele
  6. **Methodische Überlegungen**
    - Unterrichtsschritte und ihre didaktischen Funktionen
    - „Gelenkstellen“ zwischen den Unterrichtsschritten
    - Handlungsmuster
    - Sozialformen
    - Planungsalternativen
    - Medien
  7. **Geplanter Stundenverlauf**
    - Zeitplan, ...
    - Raster zum Stundenverlauf
  8. **Anhang**
    - Literaturverzeichnis
    - Sitzplan
    - Tafelbild
    - Arbeitsblatt
- \* Unter „methodischer Leitfrage“ wird die pädagogische Perspektive auf einen Gegenstand verstanden, die ihn erst zu einem Unterrichtsinhalt macht.

Abbildung 2.2: Planungsmodell nach Jank und Meyer (Jank & Meyer, 1991, S. 404, übernommen aus Kretschmer & Stary, 1998, S. 83)

Name:  
Anschrift:  
Telefon:

Datum:  
Schule:  
Anschrift:  
Schulleiter:  
Mentor:  
Klasse/Kurs:

### Entwurf einer Unterrichtsstunde im Fach Englisch zum Thema ...

1. **Bedingungsfeldanalyse**  
(alle für den EU relevanten Fakten)
2. **Begründung des Unterrichtsgegenstandes**  
(unter Bezugnahme auf den Lehrplan)
3. **Unterrichtszusammenhang**  
(Themen/Hauptlernziele der vorausgegangenen und nachfolgenden Stunden)
4. **Sachanalyse**  
(fachwissenschaftliche Analyse des Unterrichtsgegenstandes)
5. **Didaktische Analyse**  
(auf der Basis der Sachanalyse, geht vom unterrichtlichen Aspekt aus), umfasst:
  - Auswahl** (Welche Teilbereiche aus dem Gesamtkomplex werden ausgewählt?)
  - Abstufung** (In welchen Gruppen und in welcher Reihenfolge werden sie angeordnet?)
  - Darbietung** (methodische Entscheidungen für einzelne Unterrichtsabschnitte unter Berücksichtigung von Aktionsformen, Medien usw., jeweils bezogen auf die Phasen)  
**Sprachaufnahme – Sprachverarbeitung – Sprachanwendung**
6. **Lernziele**  
(ggf. aufgeteilt in Grob- und Feinziele, letztere möglichst operationalisiert)
7. **Literaturangaben**
8. **Verlaufsplanung**  
(möglichst in Tabellenform, muss mindestens enthalten:)

Zeit	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Didaktischer Kommentar
------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------

  
(alle Lehrer- und Schüleräußerungen in der Zielsprache ausformuliert)
9. **Anhang**  
(Tafelbilder, Folien, Texte, Arbeitsblätter)

Abbildung 2.3: Planungsmodell nach Mindt (Mindt, 1995, S. 118, übernommen aus Kretschmer & Stary, 1998, S. 84)

## 2.3 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Zur Entwicklung der Aktionsbox werde ich mich in erster Linie am Modell der Didaktischen Rekonstruktion von Kattmann (2007) orientieren. Dieses Planungsmodell wird im Folgenden zunächst etwas genauer erläutert.

Kattmann (2007) baut sein Modell auf drei zentralen Aufgaben auf. Diese bezeichnet er als die Fachliche Klärung, das Erfassen von Lernerperspektiven und die Didaktische Strukturierung. Diese drei Aufgaben sollen, bei der Entwicklung einer Unterrichtseinheit, nicht nacheinander abgearbeitet, sondern unter ständigem, gegenseitigem Bezug zueinander parallel betrachtet werden. Dieser gegenseitige Bezug zueinander ist auch in Abbildung 2.4 graphisch verdeutlicht.

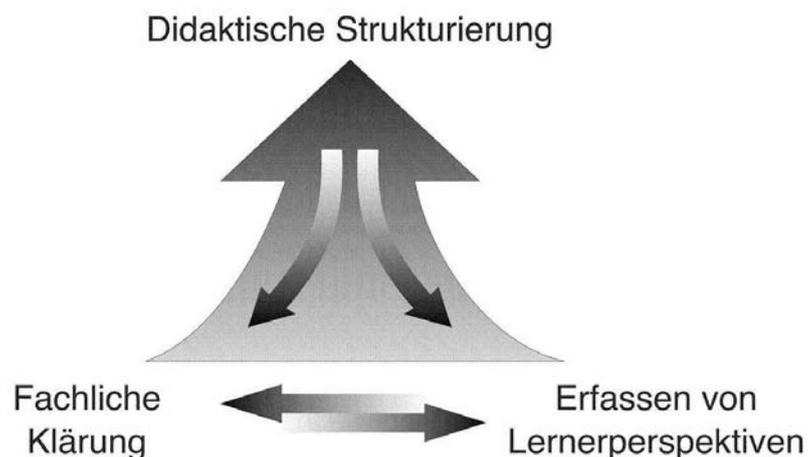


Abbildung 2.4: Schematische Darstellung von Kattmanns Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, 2007, S. 94)

### Fachliche Klärung

Wie der Ausdruck bereits andeutet, handelt es sich bei der Fachlichen Klärung zunächst um die Auflistung der fachlichen Zusammenhänge. Diese sollen allerdings bereits unter fachdidaktischen Gesichtspunkten betrachtet werden. Es soll also schon an dieser Stelle herausgearbeitet werden, welche fachlichen Aspekte den SuS nähergebracht werden sollen und auch wie das geschehen soll. Hier bezieht sich Kattmann (2007) aber eher auf die methodischen Möglichkeiten, wobei die zu erwartenden Schwierigkeiten mit bereits vorhandenen, fachlich unangemessenen Schülervorstellungen zunächst nicht

mit einbezogen werden. Dabei geht es auch um weiterführende Aspekte der fachlichen Zusammenhänge, beispielsweise Verknüpfungen mit anderen Themenbereichen oder mögliche Anwendungen der geplanten Inhalte in anderen, auch alltäglichen Bereichen. Die Fachliche Klärung bezieht sich also ausschließlich auf die zu vermittelnden Inhalte und die Möglichkeiten, wie diese den SuS nähergebracht werden können. Diese Überlegungen sind aber völlig unabhängig von der Lerngruppe, die man letztlich unterrichten muss.

### **Erfassen von Lernerperspektiven**

Beim Erfassen von Lernerperspektiven geht es darum, zum einen die Voraussetzungen und Erfahrungen der SuS im Bezug auf das Thema zu erörtern und zum andern die daraus resultierenden, zu erwartenden Schülervorstellungen und Schwierigkeiten herauszuarbeiten. Auch hier gibt es selbstverständlich typische (auch fachlich unangemessene) Schülervorstellungen, die sich auf die meisten Lerngruppen verallgemeinern lassen. Aber für jede Lerngruppe gibt es ebenso spezifische Schwierigkeiten, deren Auftreten mehr oder weniger wahrscheinlich ist. Damit der zu planende Unterricht für die jeweilige Lerngruppe angemessen ist, müssen eben diese spezifischen Schwierigkeiten herausgearbeitet und bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden. Kattmann (2007) bezieht sich in seinen Ausführungen zwar lediglich auf die allgemeinen Schülervorstellungen und Schwierigkeiten, dass diese aber auf die jeweilige Gruppe bezogen sein müssen, ist in meinen Augen selbstverständlich.

### **Didaktische Strukturierung**

Die Didaktische Strukturierung umfasst abschließend die eigentliche Planung des Unterrichts auf Grundlage der Ergebnisse der Fachlichen Klärung und des Erfassens von Lernerperspektiven. Aus den zuvor erarbeiteten Inhalten und methodischen Möglichkeiten sollen die letztendlich für den geplanten Unterricht relevanten Aspekte ausgewählt und zu einem kompletten Unterrichtsentwurf ausgearbeitet werden. Dabei spielt die begründete Auswahl einzelner, für den Unterricht relevanter und nutzbarer Alltagserfahrungen und zu erwartender Schülervorstellungen eine große Rolle. Diese sollen auch unter

dem Gesichtspunkt ausgewählt werden, welche Möglichkeiten sich für den Unterricht aus ihnen ergeben.

Wie in Abbildung 2.4 zu sehen ist, gibt es von der Didaktischen Strukturierung aus ebenfalls noch jeweils eine Verbindung zur Fachlichen Klärung und zum Erfassen von Lernerperspektiven. Das Modell umfasst also nicht nur die reine Entwicklung des Unterrichts, sondern auch die Evaluation des selbigen und mögliche, daraus resultierende Änderungen in den beiden anderen Bereichen. Wie die Evaluation im Detail durchzuführen ist, wird von Kattmann (2007) allerdings nicht näher erläutert.

Bei der Erarbeitung der Aktionsbox spielt der Aspekt der Evaluation natürlich eine immens wichtige Rolle, da anhand der späteren Auswertung der Box mögliche Ansätze für Verbesserungen gefunden werden sollen.

### **Eigenes Vorgehen**

Insgesamt orientiere ich mich zwar an Kattmanns Modell, betrachte die unterschiedlichen Aspekte allerdings ein wenig anders. In der Fachlichen Klärung werde ich mich auf eine reine Auflistung und Strukturierung der existierenden fachlichen Inhalte beschränken, ohne dabei bereits eine für die Box relevante Vorauswahl zu treffen. Auch über mögliche methodische Vorgehensweisen wird hier noch nicht nachgedacht. Beim Erfassen von Lernerperspektiven konzentriere ich mich dann ausschließlich auf die typischen Schülervorstellungen und Probleme zum Thema Kräfte. Dies kann in dieser Situation natürlich nur auf allgemeiner Basis geschehen, da die Box nicht für eine spezielle Lerngruppe entwickelt wird, sondern möglichst allgemein einsetzbar sein soll. Deshalb ist eine Erörterung von Schwierigkeiten, die sich auf eine spezielle Schülergruppe selbst beziehen, nicht möglich.

Die eigentliche Planung und Erstellung der Box findet dann während der Didaktischen Strukturierung statt, so wie von Kattmann (2007) angedacht. Hier werde ich auch all die Aspekte berücksichtigen, die in den Vorbereitungen, im Vergleich zu Kattmanns Modell, ausgelassen wurden. Dazu gehört die konkrete Auswahl an fachlichen Inhalten, allerdings bereits unter dem Aspekt, welche typischen Schwierigkeiten zu erwarten sind. Unter Berücksichtigung dieser zu erwartenden Probleme werden auch die methodischen Möglichkeiten

erst an dieser Stelle erörtert und nicht, wie bei Kattmann (2007), direkt während der Fachlichen Klärung. Die weiteren, von mir angedachten Schritte während der Didaktischen Strukturierung stimmen ansonsten mit den Darstellungen Kattmanns überein.

Die Auswertung und Evaluierung der Box spielt, wie bereits erwähnt, bei mir eine zentrale Rolle. Ein Großteil der Arbeit an der Box wird darin bestehen, die Ergebnisse der Bearbeitungen auszuwerten und mögliche Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden. Wie und unter welchen Gesichtspunkten die Auswertung der Aktionsbox erfolgen wird, ist in den Kapiteln 4 und 5 näher erläutert. Die daraus resultierenden Änderungsvorschläge für die Box finden sich in Kapitel 7.

### 3 Entwicklung der Aktionsbox

#### 3.1 Fachliche Klärung zum Thema Kräfte

In diesem Abschnitt werden die inhaltlichen Aspekte des Themas „Kräfte“ detailliert aufgeführt. Die Darstellung der inhaltlichen Aspekte erfolgt dabei nach Themenblöcken sortiert. Bei dieser Auflistung handelt es sich um eine allgemeine Sammlung der Inhalte zum Thema „Kräfte“ und nicht bereits um die geplanten Inhalte für die Aktionsbox. Es werden hier also auch Inhalte aufgeführt, die womöglich in der Box selbst nicht näher betrachtet werden.

Für die Formulierung der inhaltlichen Aspekte wurde sowohl auf Schulbücher zur Physik (Bader & Dorn, 1992; Bader, 2000; Bader & Oberholz, 2001; Boysen et al., 1991; Boysen et al., 1999; Grehn & Krause, 1998) als auch auf Fachbücher (Mosca & Tipler, 2004) zurückgegriffen.

<b>Kräfte als Ursache von Wirkungen</b>
Kräfte lassen sich an ihren Wirkungen erkennen, sie sind deren Ursache.
Kräfte ändern den Bewegungszustand eines Körpers oder verformen ihn.
Gleichheit von Kräften liegt vor, wenn sie einen Körper gleich stark verformen oder ihn am selben Ort in dieselbe Richtung gleich stark beschleunigen.

**Tabelle 3.1: Kräfte als Ursachen von Wirkungen**

<b>Definition einer Kraft</b>
Eine Kraft wird immer durch drei Eigenschaften bestimmt <ul style="list-style-type: none"><li>• Ihren Betrag (Ihre „Größe“)</li><li>• Ihre Richtung</li><li>• Ihren Angriffspunkt am Körper</li></ul>
Formal wird eine Kraft mit dem Buchstaben F (engl.: Force) bezeichnet; bezieht man die Richtung der Kraft mit ein, so schreibt man $\vec{F}$ .

Die Einheit der Kraft ist das Newton ( $1N = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ ).
1 Newton erhöht die Geschwindigkeit eines Körpers der Masse $m = 1kg$ in $t = 1s$ um $\Delta v = 1 \frac{m}{s}$ .
In Zeichnungen werden Kräfte als Pfeile dargestellt. Dabei zeigt der Pfeil in Richtung der Kraft, der Anfang des Pfeils befindet sich am Angriffspunkt der Kraft am Körper und die Länge des Pfeils ist ein Maß für die Größe der Kraft.

**Tabelle 3.2: Definition einer Kraft**

<b>Rechnen mit Kräften und resultierende Kräfte</b>
Greifen zwei oder mehr Kräfte mit derselben Richtung und demselben Angriffspunkt an einem Körper an, so werden ihre Beträge addiert.
Greifen zwei Kräfte mit entgegengesetzter Richtung und demselben Angriffspunkt an einem Körper an, so werden ihre Beträge subtrahiert.
Kräfte unterschiedlicher Richtungen müssen vektoriell berechnet werden (Kräfte-Parallelogramm).
Werden zwei oder mehrere Kräfte miteinander verrechnet, so können sie durch eine neue Kraft, die resultierende Kraft, ersetzt werden. Die resultierende Kraft ergibt sich aus der vektoriellen Addition der ursprünglichen Kräfte.
Werden zwei Kräfte addiert, so ist die resultierende Kraft die Diagonale des dabei entstehenden Kräfteparallelogramms.
Eine beliebige Kraft kann ebenso als resultierende Kraft betrachtet und so in zwei (oder mehr) Komponenten zerlegt werden (Kräfteparallelogramm). Diese Komponenten ergeben addiert wieder die ursprüngliche Kraft und können diese somit ersetzen.
Werden zwei Kräfte miteinander verrechnet, deren Richtungen senkrecht zueinander stehen, so gilt für den Betrag der resultierenden Kraft $F_{res}^2 = F_1^2 + F_2^2$ (Satz des Pythagoras).

**Tabelle 3.3: Rechnen mit Kräften und resultierende Kräfte**

<b>Kräfte im Gleichgewicht</b>
Zwei Kräfte befinden sich im Gleichgewicht, wenn ihre Beträge gleich und ihre Richtungen entgegengesetzt sind.
Kräfte im Gleichgewicht greifen an ein und dem selben Körper an.
Mehrere Kräfte befinden sich im Gleichgewicht, wenn ihre resultierende Kraft gleich Null ist.
Kräfte im Gleichgewicht bewirken keine Änderung der Bewegung eines Körpers. Sie können aber durch mögliche Verformungen oder Drehungen des Körpers sichtbar werden.

**Tabelle 3.4: Kräfte im Gleichgewicht**

<b>Die Newtonschen Axiome</b>
<u>1. Newtonsches Axiom:</u> Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmig geradlinigen Bewegung, solange keine äußeren Kräfte auf ihn wirken (Trägheitsgesetz).
Ein Bezugssystem, in dem das 1. Newtonsche Axiom gilt, bezeichnet man als Inertialsystem.
Die Trägheit eines Körpers hängt von seiner Masse ab.
Körper mit einer größeren Masse können nur mit einer größeren Kraft genauso stark beschleunigt werden wie Körper mit kleineren Massen.
Die Trägheit ist eine Eigenschaft eines Körpers, genau wie die Masse. Sie hängt also nicht vom Ort ab, an dem sich der Körper befindet.
<u>2. Newtonsches Axiom:</u> Die Änderung der Bewegung einer Masse (die Beschleunigung) ist der Größe der wirkenden Kraft proportional und erfolgt in dieselbe Richtung, in die auch diese Kraft wirkt.
Die Kraft $F$ ist am selben Ort proportional zur Masse des Körpers ( $F \sim m$ ).
Die Beschleunigung $a$ ist proportional zur Kraft $F$ ( $a \sim F$ ), d.h. wenn auf einen Körper eine konstante Kraft wirkt, dann erfährt er eine konstante Beschleunigung in Richtung dieser Kraft.
Aus dem 2. Newtonschen Axiom folgt die Grundgleichung der Mechanik: $F = m \cdot a$ bzw. $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

<p><u>3. Newtonsches Axiom:</u> Übt der Körper A durch irgendeine Wechselwirkung eine Kraft auf den Körper B aus, so übt auch B auf A eine Wechselwirkungskraft aus, die entgegengesetzt gleich der ersten Kraft von A auf B ist (actio = reactio).</p>
<p>Kraft und Wechselwirkungskraft greifen immer an zwei unterschiedlichen Körpern an.</p>
<p>Erst durch die Wechselwirkungskräfte können sich z.B. Autos fortbewegen (der Boden wirkt eine Kraft auf die Reifen aus, wodurch diese in Bewegung versetzt werden). Auch Flugzeuge werden durch die Wechselwirkungskraft der Luft auf die Flügel nach oben gedrückt (Auftrieb).</p>

**Tabelle 3.5: Die Newtonschen Axiome**

<p><b>Die Gravitationskraft</b></p>
<p>Alle Körper ziehen sich gegenseitig an.</p>
<p>Die Kraft, mit der sich zwei Körper anziehen, ist proportional zu ihren Massen und antiproportional zum Abstand der beiden Körper.</p>
<p>Es gilt <math>F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G = Gravitationskonstante</li> <li>• M = Masse des (schwereren) Körpers</li> <li>• m = Masse des (leichteren) Körpers</li> <li>• r = Abstand der beiden Körper</li> </ul>

**Tabelle 3.6: Die Gravitationskraft**

<p><b>Gewichtskraft und Masse</b></p>
<p>Die Kraft, durch die ein Körper auf die Erde fällt, wird als Gewichtskraft bezeichnet. Dabei handelt es sich also eigentlich um die Gravitationskraft, die die Erde auf den Körper ausübt.</p>
<p>Die Gewichtskraft ist keine Eigenschaft eines Körpers (im Gegensatz zur Masse), er erfährt sie immer nur durch andere Körper (die Erde).</p>
<p>Die Masse ist eine feste Eigenschaft eines Körpers, ihre Einheit ist das Gramm.</p>

Der Betrag und die Richtung der Gewichtskraft eines Körpers hängen immer von dem Ort ab, an dem sich der Körper gerade befindet.
Ein Körper der Masse $m = 1\text{kg}$ erfährt in Mitteleuropa eine Gewichtskraft von $F = 9,81\text{N}$ .
Die Masse eines Körpers ist unabhängig vom Ort, sie ist überall gleich.
Die Gewichtskraft mehrerer Körper am selben Ort ist ein Maß für die Masse dieser Körper. Ist die Gewichtskraft eines Körpers größer als die eines anderen Körpers, so ist auch seine Masse größer.
An einem bestimmten Ort sind der Betrag der Gewichtskraft, die auf einen Körper wirkt, und seine Masse proportional zueinander ( $F_G \sim m$ ).
Gemäß dem 2. Newtonschen Axiom gilt für den Betrag der Gewichtskraft $F = m \cdot a$ , also $a = \frac{F}{m} = 9,81 \frac{m}{s^2}$ . Diese Beschleunigung wird als der Ortsfaktor $g$ bezeichnet. auf der Erde schwankt sein Wert zwischen $9,77 \frac{m}{s^2}$ und $9,87 \frac{m}{s^2}$ . An einem bestimmten Ort ist der Ortsfaktor $g$ aber für alle Massen gleich.
Der Ortsfaktor $g$ beschreibt die Beschleunigung, mit der ein fallender Körper auf die Erde beschleunigt wird. $g$ wird deshalb oft auch als Erdbeschleunigung bezeichnet.
Es gilt $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$ .

**Tabelle 3.7: Gewichtskraft und Masse**

<b>Weitere, besondere Kräfte</b>
<b>Die Hangabtriebskraft</b>
Auf einer schiefen Ebene wirkt die Hangabtriebskraft $\vec{F}_H$ auf einen Körper parallel zur Oberfläche. Sie ist die Komponente der Gewichtskraft $\vec{F}_G$ dieses Körpers in Richtung der Ebene.
Wenn $\varphi$ der Winkel zwischen der schiefen Ebene und der Waagerechten ist, so gilt für den Betrag der Hangabtriebskraft: $F_H = F_G \cdot \sin \varphi$ .

<b>Die Normalkraft</b>
Die Normalkraft $\vec{F}_N$ ist immer die Kraft, die ein Körper senkrecht auf die Oberfläche ausübt, auf der er sich befindet.
Auf einer waagerechten Oberfläche ist die Normalkraft $F_N$ gleich der Gewichtskraft $F_G$ .
Auf einer schiefen Ebene, die mit der Waagerechten den Winkel $\varphi$ einschließt, gilt für den Betrag der Normalkraft: $F_N = F_G \cdot \cos \varphi$ .
Bei einer schiefen Ebene kann man sich die Normalkraft als die Kraft vorstellen, die z.B. die Reifen auf die Oberfläche ausüben.
<b>Reibungskräfte</b>
Wenn sich ein Körper auf einer Oberfläche bewegt (oder allgemeiner: Wenn sich zwei Körper aneinander entlang bewegen) oder durch eine angreifende Kraft beschleunigt werden soll, dann wirkt eine Kraft, die der Bewegungsrichtung oder der angreifenden Kraft entgegengesetzt gerichtet ist. Diese Kraft nennt man Reibungskraft.
Es gibt drei typische Arten von Reibungskräften: Haftreibung, Gleitreibung und Rollreibung.
Die Haftreibung wirkt, so lange ein Körper sich nicht in Bewegung befindet. Die maximale Haftkraft ist die Kraft, mit der man noch gerade so ziehen kann, ohne dass der Körper sich bewegt.
Die Gleitreibung bremst einen Körper, der auf einer Oberfläche entlang gleitet (nicht rollt!). Ihre Größe hängt von der Beschaffenheit der beiden Oberflächen und von der Kraft, mit der die Oberflächen aneinander gedrückt werden, ab.
Die Rollreibung ist sehr klein und bremst nur minimal. Sie wirkt dann, wenn ein Körper über eine Oberfläche rollt (Bsp.: Autoreifen).
Allgemein gilt immer: Haftreibung > Gleitreibung > Rollreibung.
Alle drei Reibungskräfte sind direkt proportional zur Normalkraft, also zu der Kraft, mit der der Körper senkrecht auf die Oberfläche drückt. Es gilt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_{haft} = f_{haft} \cdot F_N</math></li> <li>• <math>F_{gleit} = f_{gleit} \cdot F_N</math></li> <li>• <math>F_{roll} = f_{roll} \cdot F_N</math></li> </ul>
$f_{haft}$ , $f_{gleit}$ und $f_{roll}$ sind die so genannten Reibungskoeffizienten.

Eine weitere Art von Reibungskraft ist die Luftreibung. Sie hängt unter anderem von der Geschwindigkeit ab, mit der sich der Körper bewegt.

**Tabelle 3.8: Weitere, besondere Kräfte**

### **Das Hookesche Gesetz**

Wenn auf eine Feder eine Kraft einwirkt, so dehnt sich die Feder aus. Die Auslenkung ist dabei proportional zur einwirkenden Kraft ( $s \sim F$ ).

Die Federkonstante  $D$  einer Feder ist definiert durch  $D = \frac{F}{s} = const.$

Formal besagt das Hookesche Gesetz:  $F = D \cdot s$  bzw.  $\vec{F} = D \cdot \vec{s}$ .

**Tabelle 3.9: Das Hookesche Gesetz**

### **Messen von Kräften**

Beim Herstellen eines Messinstruments für Kräfte (oder anderer messbarer Größen) sind folgende Schritte nötig:

- Man muss festlegen, wann zwei Kräfte gleich groß sind.
- Man muss sich auf eine Einheit festlegen.
- Man muss die Vielfachen der Einheit festlegen, da die später gemessenen Kräfte als Vielfache der Einheit angegeben werden sollen.

Kräfte werden mit so genannten Kraftmessern gemessen; diese bestehen aus einer Feder mit bekannter Federkonstante  $D$ , die sich bei Einwirkung unterschiedlicher Kräfte unterschiedlich ausdehnt.

Je nach der Größe der Federkonstanten ist es möglich, die Sensibilität der Kraftmesser zu variieren.

Kräfte werden in der Regel nicht direkt gemessen, sondern über die Kräfte, durch die sie kompensiert werden (ein Kraftmesser misst die Kraft, die auf die Feder wirkt und nicht direkt die Gewichtskraft).

**Tabelle 3.10: Messen von Kräften**

### **Kräfte bei der Kreisbewegung**

Wenn sich ein Körper auf einer Kreisbahn gleichförmig bewegt, so ändert sich der Betrag seiner Geschwindigkeit nicht. Allerdings ändert sich die Richtung der Geschwindigkeit.

Da Richtungsänderungen nur von Kräften verursacht werden können, muss eine Kraft auf den Körper einwirken. Ohne diese Kraft würde er auf Grund der Trägheit eine gleichförmige geradlinige Bewegung ausführen.
Die Kraft, die den Körper auf der Kreisbahn hält, wird als Zentripetalkraft $\vec{F}_Z$ bezeichnet. Sie steht immer senkrecht auf dem Geschwindigkeitsvektor des Körpers und zeigt immer zum Mittelpunkt des Kreises.
Für den Betrag der Zentripetalkraft gilt $F_Z = m \cdot \frac{v^2}{r}$ .
Bewegt man sich selbst mit einem Auto auf einer Kreisbahn, so hat man ständig das Gefühl, dass man von einer Kraft nach außen gedrückt wird. Diese so genannte Zentrifugalkraft ist eine Scheinkraft, die man nur spürt, weil man im Auto selbst mitbeschleunigt wird. Ein außenstehender Beobachter realisiert diese Kraft nicht.

**Tabelle 3.11: Kräfte bei der Kreisbewegung**

### 3.2 Schülervorstellungen zum Thema Kräfte

Die Analyse von Schülervorstellungen zum Themenfeld Kräfte hat inzwischen eine Reihe von Befunden hervorgebracht, die im Rahmen dieser Arbeit genutzt werden. Im Folgenden werden einige typische Schülervorstellungen zum Thema Kräfte aufgeführt, die aber allesamt als fachlich unangemessen angesehen werden müssen. Dabei wird immer wieder Bezug auf die Inhalte der Fachlichen Klärung genommen.

#### **Kraft als Eigenschaft lebender Körper**

Eine schwere Verständnishürde ergibt sich für die SuS gleich bei der Einführung des Begriffes Kraft, da sie aus dem Alltag die Kraft als eine Eigenschaft einer Person, oder allgemeiner eines belebten, aktiven Körpers, kennen. Typisches Beispiel dafür ist die Muskelkraft (Wiesner, 1994a). Damit zusammen hängt auch die Vorstellung, dass die Einwirkung von Kraft nur von diesen Körpern ausgehen kann; dass eine Wand oder der Boden ebenfalls Kraft ausüben können, ist für die SuS nur schwer vorstellbar. Diese Vorstellungen sind vermutlich aus dem alltäglichen Gebrauch des Kraft-Begriffs, der eher mit

dem physikalischen Begriff der Energie gleichzusetzen ist, entstanden. Die Tatsache, dass Kraft im physikalischen Sinn immer nur als Wechselwirkung auftritt und auch von unbelebten, passiven Körpern ausgeübt werden kann, ist für die SuS oft schwer nachvollziehbar (Nachtigall, 1986).

### **Das 1. Newtonsche Axiom**

Weitere, immer wieder auftretende Schwierigkeiten ergeben sich bei der Betrachtung des 1. Newtonschen Axioms. Aus dem Alltag gewinnen die SuS die Vorstellung, dass ein Körper (beispielsweise eine Auto), der sich mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt, durch eine äußere Kraft (den Motor) ständig angeschoben wird (man muss ständig Gas geben, damit das Auto weiterfährt). Da die SuS vor der Behandlung des Themas „Kräfte“ in der Regel noch nichts (Fachliches) von Reibungskräften wissen, assoziieren sie auf Grund ihrer alltäglichen Erfahrungen, dass eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit eine (konstante) Kraft erfordert. Damit verknüpft ist die Vorstellung, dass sich ein Körper, auf den keine Kraft wirkt, im Ruhezustand befindet (Wiesner, 1994a).

Bei dem Verständnis des 1. Newtonschen Axioms spielt auch oftmals die fachlich unangemessene Vorstellung der Trägheit eine Rolle. Viele SuS sehen die Trägheit als eine *Kraft* an, die einer auf einen Körper einwirkenden Kraft entgegenwirkt. Erst wenn die einwirkende Kraft größer als die Trägheitskraft ist, beginnt sich der Körper zu bewegen. Sobald der Körper in Bewegung ist, nimmt die Trägheitskraft ab, weswegen es leichter wird, den Körper zu beschleunigen. Bestes Beispiel dafür ist ein Auto, das sich zunächst nur schwer anschieben lässt. Ist es aber erst einmal in Bewegung versetzt, so ist es vergleichsweise leicht, das Auto weiter zu beschleunigen. Die Trägheit wird also fälschlicherweise als eine Kraft angesehen, die immer nur dann wirkt, wenn sich ein Körper in Ruhe befindet und bewegt werden soll (Wiesner, 1994a).

Im Rahmen der Behandlung der Kräfte in der Jahrgangsstufe 11 (G9-Lehrplan) lernen die SuS Reibungskräfte kennen, die immer der Richtung einer Bewegung entgegenwirken. Ein sich bewegender Körper wird also durch Reibungskräfte abgebremst. Durch die zuvor angesprochene Vorstellung, dass ein Körper, auf den keine Kräfte wirken, sich in Ruhe befindet, entsteht bei den

SuS die Vorstellung, dass die antreibende Kraft (der Motor beim Auto) größer sein muss als die Reibungskraft. Erst dann kann sich der Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegen. Wären die Kräfte genau gleich groß, so würden sie sich gegenseitig kompensieren, es gäbe also keine wirkende Kraft und somit nichts mehr, was den Körper weiter antreibt (Wiesner, 1994a).

### **Das 2. Newtonsche Axiom**

Die Vorstellung der SuS, dass sich ein Körper im Kräftegleichgewicht automatisch in Ruhe befinden muss, wirkt sich noch weiter aus. In diesem Zusammenhang stellen sich die SuS oft eine Proportionalität von Kraft und Geschwindigkeit zueinander vor. Je größer die wirkende Kraft ist, umso größer ist auch die Geschwindigkeit. Das bezieht sich nicht nur auf die Größe der Geschwindigkeit und der Kraft, sondern auch auf deren Richtung. Für die SuS ergibt sich folgende, fachlich unangemessene Vorstellung: Eine Geschwindigkeit ist immer gleichbedeutend mit einer Kraft, die in Richtung der Geschwindigkeit wirkt. Im Umkehrschluss bewegt sich ein Körper auch immer in die Richtung, in die eine Kraft auf ihn wirkt (Wiesner, 1994a).

### **Das 3. Newtonsche Axiom**

Auch beim Verständnis des 3. Newtonschen Axioms haben die SuS immer wieder Schwierigkeiten. Dabei spielt erneut die Vorstellung, dass ein nicht belebter Körper, beispielsweise eine Wand, keine Kraft ausüben kann, eine große Rolle. Da die Kraft und die dazugehörige Gegenkraft immer denselben Betrag und entgegengesetzte Richtungen haben sollen, verwechseln die SuS diese Wechselwirkungskräfte oft mit Kräften im Gleichgewicht. Es überwiegt die Vorstellung, dass die Kraft, die man auf einen zu bewegenden Körper ausübt, größer sein muss als die Kraft, die dieser Körper auf einen selbst ausübt, damit er sich bewegt. Wenn die beiden Kräfte aber immer denselben Betrag und genau entgegengesetzte Richtungen haben, dann ist es nicht möglich einen Körper zu bewegen. Es wird dabei von den SuS nicht erfasst, dass Kräfte, die sich im Gleichgewicht befinden, am *selben* Körper und die Wechselwirkungskräfte gemäß dem 3. Newtonschen Axiom an *verschiedenen* Körpern angreifen müssen (Wiesner, 1994a).

## **Kräfte bei der Kreisbewegung**

Im Bezug auf die fachlich unangemessenen Schülervorstellungen beim Thema Kräfte spielt eine weitere Fehlvorstellung eine Rolle. Diese Vorstellung bezieht sich auf die Geschwindigkeit. Viele SuS assoziieren mit der Geschwindigkeit das, was man im Alltag auch unter Tempo versteht. Dabei handelt es sich lediglich um den Betrag der Geschwindigkeit. Dass die Geschwindigkeit auch durch ihre Richtung charakterisiert wird, ist vielen SuS nicht klar (Wiesner, 1994a). Darin ist höchstwahrscheinlich auch die Vorstellung begründet, dass eine Beschleunigung eines Körpers immer eine Änderung des Tempos, also des Betrags der Geschwindigkeit bedeutet. In der Physik zählt aber auch die Änderung der Richtung einer Geschwindigkeit als Beschleunigung, für die eine Kraft notwendig ist.

Ein damit eng verknüpftes Problem ist die Vorstellung der Kräfte bei einer gleichmäßigen Kreisbewegung. Die SuS lernen, dass ein Körper, auf den keine resultierende Kraft einwirkt, eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit ausführt, was gemäß dem 1. Newtonschen Axiom vollkommen korrekt ist. Demzufolge schließen sie, dass auf einen sich auf einer Kreisbahn gleichmäßig bewegendem Körper keine resultierende Kraft wirkt, da sich ja der Betrag der Geschwindigkeit, also das Tempo, nicht ändert. Hier gibt es zwar keine fachlich unangemessene Vorstellung hinsichtlich der Kraft, aber eben in Bezug auf die Geschwindigkeit, wodurch auch die Kraft-Einwirkung nicht korrekt betrachtet wird. Die SuS verbinden mit dem Begriff der Geschwindigkeit lediglich den Betrag der Geschwindigkeit, im physikalischen Sinn. Die Richtung spielt für sie überhaupt keine Rolle. Deswegen ist eine Bewegung, bei der sich die Richtung der Geschwindigkeit ändert, ihr Betrag aber gleich bleibt, aus der Perspektive der SuS keine beschleunigte Bewegung (Wiesner, 1994a). Demnach ist auch die gleichmäßige Bewegung auf einer Kreisbahn keine beschleunigte Bewegung und somit wirkt keine resultierende Kraft auf den Körper.

Eine weitere, immer wieder auftauchende Vorstellung ist, vor allem im Bezug auf Kreisbewegungen, das vorübergehende Beibehalten einer Bewegung, wenn die antreibende Kraft verschwindet. Nach Ansicht der SuS „gewöhnt“ sich ein Körper an seinen Bewegungszustand und behält diesen noch eine Zeit lang bei, wenn die zuvor einwirkende Kraft verschwindet. Interessanterweise steht diese

Vorstellung in direkter Konkurrenz mit der Vorstellung, dass eine Bewegung immer eine wirkende Kraft voraussetzt. Dieser Widerspruch scheint die SuS aber nicht zu stören. Betrachtet man nun beispielsweise einen Körper, der an einem Faden befestigt ist und an diesem im Kreis herumgeschleudert wird. Wenn nun der Faden reißt, so bewegt sich der Körper nach den Vorstellungen einiger SuS zunächst weiter auf seiner Kreisbahn (Nachtigall, 1986). Diese Idee ist umso verwunderlicher, wenn man bedenkt, dass ein solches Phänomen vermutlich von den SuS noch nie genau beobachtet wurde.

### **Die Statik als Grund für fachlich unangemessene Schülervorstellungen**

Einen weiteren interessanten Aspekt im Bezug auf Lernprobleme von SuS beim Thema Kräfte liefert Wiesner (1994b). Er vertritt die These, dass die Einführung in die Mechanik über den statischen Kraftbegriff das Schülerverständnis eindeutig behindert. Man sollte den Einstieg lieber über den dynamischen Kraftbegriff machen und den statischen Kraftbegriff als einen Sonderfall behandeln. Die Probleme der Einführung über den statischen Kraftbegriff stellt Wiesner wie folgt dar:

In der Statik geht es in erster Linie immer darum, „zu einer Kraft eine Gegenkraft zu suchen, die am gleichen Körper angreift und die die bewegungsändernde Wirkung des angreifenden Kraft möglichst kompensiert.“ (Wiesner, 1994b, S. 16). Man sucht also nach Möglichkeit immer nach Kräften, die sich im Gleichgewicht befinden. Da die Körper sich in der Statik zudem in Ruhe befinden, assoziieren die SuS das Kräftegleichgewicht automatisch mit dem Ruhezustand. Dadurch wird in der Dynamik die Vorstellung begünstigt, dass für eine gleichförmige Bewegung immer eine resultierende antreibende Kraft nötig ist.

Auch das Fehl-Verständnis der Trägheit und des 3. Newtonschen Axioms lässt sich teilweise durch die statische Denkweise begründen. Die Trägheit wird allgemein als das beschrieben, was ein Körper einer Bewegungsänderung entgegensetzt (Wiesner, 1994b). Für die SuS handelt es sich dabei fast automatisch um die gesuchte *Gegenkraft*, die die angreifende Kraft kompensiert. Damit verbunden ist auch die Vorstellung, dass die Trägheit keine Eigenschaft eines Körpers ist, sondern eine von ihm verrichtete Kraft, was den Charakter der Gegenkraft noch unterstützt. Ebenso wird die

Wechselwirkungskraft aus dem 3. Newtonschen Axiom als diese Gegenkraft angesehen. Das zuvor erwähnte Problem, dass die SuS diese Wechselwirkungskraft oft als eine Kraft ansehen, die am gleichen Körper angreift, wird unter anderem durch diese Herangehensweise an die Thematik hervorgerufen (Wiesner, 1994b).

### **Die Gravitationskraft**

Nachtigall (1986) betrachtet, zusätzlich zu einigen bereits genannten Aspekten, auch die typischen Schülervorstellungen bezüglich der Gravitationskraft. Dabei sind auch immer wieder Verknüpfungen mit den bereits genannten Aspekten zu finden. Beispielsweise kommt bei einigen SuS die Vorstellung zustande, dass die Gravitationskraft mit steigender Höhe zunimmt. Diese Tatsache begründen sie folgendermaßen: Je größer die Höhe ist, aus der ein Körper auf die Erde fällt, desto größer ist auch die Geschwindigkeit mit der er auf die Erde aufprallt. Eine größere Geschwindigkeit ist für die SuS gleichbedeutend mit einer größeren Kraft und deswegen muss die Gravitationskraft mit steigender Höhe zunehmen. Interessanterweise begründen einige andere SuS mit demselben Argument die gegenteilige Behauptung, also dass die Gravitationskraft nahe der Erdoberfläche am größten ist. Die Begründung dafür lautet, dass ein fallender Körper immer kurz vor dem Aufprall auf die Erdoberfläche seine größte Geschwindigkeit erreicht, egal, aus welcher Höhe er herunterfällt (Nachtigall, 1986). Da für die SuS wiederum Kraft und Geschwindigkeit miteinander einhergehen, muss die Kraft direkt über der Erdoberfläche am größten sein. Hier sorgt also die allgemeine Fehlvorstellung, dass Kraft und Geschwindigkeit proportional zueinander sind, für eine gravierende Fehlvorstellung im Bezug auf die Gravitationskraft.

Viele SuS sehen die Gravitation als ein Phänomen an, das es ausschließlich auf der Erde gibt. Dem zu Grunde liegt augenscheinlich die alltägliche Bezeichnung der Gravitationskraft als Erdanziehungskraft. Für die SuS ist es dann nahe liegend, dass es beispielsweise auf dem Mars keine *Erdanziehungskraft* geben kann. Zusätzlich wird die Gravitationskraft als eine Kraft angesehen, die auch nur in unmittelbarer Nähe zur Erdoberfläche wirkt. Unmittelbare Nähe *zur* Erdoberfläche ist für die SuS aber nicht gleichbedeutend mit *auf* der Erdoberfläche. So stellen sie sich vor, die

Gravitation wirke ausschließlich auf Körper, die sich in der Luft befinden. Sobald ein Körper festen Boden und somit direkt oder indirekt die Erdoberfläche berührt, wirkt auf ihn keine Gravitationskraft mehr. Ebenso wirkt die Gravitationskraft nur in der Erdatmosphäre. Körper, die diese verlassen, werden von der Erde nicht mehr angezogen und sind „schwerelos“ (Nachtigall, 1986). Diese Vorstellung könnte unter anderem durch die alltäglichen Bilder von Astronauten, die sich „schwerelos“ in ihren Spaceshuttles bewegen, erzeugt werden.

Viele SuS betrachten die Gravitationskraft auch nicht als richtige Kraft, sondern eher als eine von der Natur gegebene Tatsache. Deswegen kann die Gravitation auch nicht wirken, so lange noch andere, „richtige“ Kräfte im Spiel sind und mit ihr konkurrieren. Dabei beziehen sich die SuS vor allem auf einen nach oben geworfenen Körper, der zunächst nach oben fliegt. Erst wenn die nach oben gerichtete Kraft „aufgebraucht“ ist, kann die Gravitation anfangen zu wirken und zieht den Ball wieder nach unten. Hierbei spielt eine weitere, von Nachtigall (1986) beobachtete Schülervorstellung eine Rolle, nämlich dass Kräfte als etwas angesehen werden, das einem angeschobenen Körper „mitgegeben“ wird und das nach und nach „verbraucht“ wird. Erst wenn das geschehen ist, kann die „schwächere“ Gravitationskraft etwas bewirken.

Die hier aufgeführten (fachlich unangemessenen) Schülervorstellungen zum Thema Kräfte stellen selbstverständlich nur eine begrenzte Auswahl dar. Sowohl Wiesner (1994a) als auch Nachtigall (1986) betrachten in ihren Ausführungen noch weitere Aspekte, die aber hier nicht näher betrachtet wurden, da sie für die möglichen Inhalte der Aktionsbox nicht relevant sind.

### **3.3 Zielsetzung und Struktur der Aktionsbox zum Thema Kräfte**

#### **Ziele der Aktionsbox**

Bei der Erstellung der Aktionsbox habe ich spezifische Ziele, die ich mit den darin enthaltenen Aufgaben erreichen möchte.

Zunächst soll die Aktionsbox so aufgebaut sein, dass die SuS sie selbständig durcharbeiten können. Im Idealfall wird der Aufgabensatz zusammen mit den

benötigten Experimentiermaterialien am Anfang der Stunde ausgeteilt und die SuS beginnen sofort damit, die Aufgaben ohne weitere Anweisungen zu bearbeiten. Am Ende der vorgesehenen Zeit sollen die SuS möglichst alle Aufgaben bearbeitet und ihre Lösungen mit zum Teil angegebenen Musterlösungen verglichen haben. Die Aktionsbox sollte möglichst so strukturiert sein, dass während der gesamten Bearbeitungsphase keine Lehrperson benötigt wird. Es sollten also keinerlei Verständnisfragen seitens der SuS aufkommen. Damit das möglich ist, wird es immer wieder etwas längere Textpassagen geben, die die SuS zum Verständnis lesen müssen. Auf Grund der angestrebten selbständigen Bearbeitung der Aktionsbox ist das nicht anders möglich.

Ein weiteres Ziel der Aktionsbox, das bei der Entwicklung der Aufgaben berücksichtigt werden muss, ist, dass so viele (fachlich unangemessene) Schülervorstellungen wie möglich aufgegriffen und im Idealfall korrigiert werden können. Ich bin mir bewusst, dass eine einzelne Aktionsbox nicht ausreicht, um alle in Kapitel 3.2 angesprochenen Schülervorstellungen zu thematisieren, geschweige denn zu korrigieren. Dazu wäre vermutlich zu jedem Teilgebiet aus der Fachlichen Klärung eine separate Aktionsbox notwendig. Damit dennoch eine Reihe von Schülervorstellungen zu einem Thema angesprochen werden können, wird sich der Umfang der Box auf einige wenige Themengebiete aus der Fachlichen Klärung in Kapitel 3.1 beschränken. Dabei bleiben zwar einige interessante Aspekte von anderen Themengebieten unbetrachtet, allerdings ist das zu akzeptieren, wenn dadurch die Probleme der in der Box betrachteten Themengebiete umso intensiver untersucht werden können.

Selbstverständlich soll die Bearbeitung der Aktionsbox den SuS, wie (eigentlich) normaler Unterricht auch, Spaß machen. Dieses Ziel scheint sich auf den ersten Blick selbst zu erklären, spielt aber in diesem Fall eine besondere Rolle. Im normalen Unterricht ist es die Lehrkraft, die die SuS immer wieder neu motivieren kann, wenn die Lust oder die Konzentration nachlässt. Da die Aktionsbox aber von den SuS komplett selbständig bearbeitet werden soll, ohne Beeinflussung durch die Lehrkraft, muss die Box die Aufgabe der Motivation mit übernehmen. Damit das möglich ist, muss die Box so aufgebaut sein, dass die SuS schlichtweg Lust bekommen, sie weiter zu

bearbeiten. Dieser Effekt kann auf unterschiedlichste Arten erreicht werden. Dazu gehören unter anderem die Platzierung von interessanten, die Neugier der SuS weckenden Beispielen, die richtige Anordnung von (leichten und schweren) Aufgaben oder auch einfach das Einfügen von einigen farbigen Bildern und Abbildungen, die die gegenwärtige Fragestellung oder Aufgabe noch einmal optisch verdeutlichen. Damit vor allem der letztgenannte Aspekt seine Wirkung entfalten kann, wäre es von großem Vorteil, wenn die Box den SuS in Farbe und nicht nur in schwarz-weiß zur Bearbeitung gegeben werden würde, sofern das machbar ist.

Die weiteren Ziele der Aktionsbox beziehen sich auf die fachlichen Inhalte, die in der Box betrachtet werden. Bei diesen Zielen handelt es sich um die typischen Lernziele, die man bei einer Stunden-Planung zu den jeweiligen Themen angeben würde. Die SuS sollen die Inhalte der betrachteten Themen fachlich angemessen wiedergeben und nach Möglichkeit auch sachlich richtig erklären können. Außerdem sollen die SuS in der Lage sein, die gelernten Inhalte auf passende Aufgaben und Situationen, die auch weiterführend sein können, anzuwenden. Die speziellen, fachbezogenen Lernziele werden bei der Entwicklung der Aktionsbox noch einmal explizit betrachtet.

### **Struktureller Aufbau der Aktionsbox**

Damit die SuS in der Lage sind, die Aktionsbox selbständig zu bearbeiten, muss diese auch dementsprechend aufgebaut sein. Hier ist es notwendig, dass die SuS sehr kleinschrittig an die Inhalte und Aufgaben der Box herangeführt werden und ihnen auch klar wird, warum die einzelnen Inhalte betrachtet werden. Hierzu ist eine Vielzahl von Beispielen von Nöten, die den SuS verdeutlichen, in welchem Zusammenhang die angesprochenen Inhalte eine Rolle spielen.

Bei den Aufgaben zu den einzelnen Inhalten der Box kommt es darauf an, die SuS nicht gleich zu Beginn vor unüberwindbare Hürden zu stellen. Es müssen also zunächst, nach der Betrachtung eines speziellen Themas, passende, vergleichsweise einfache Aufgaben zu diesem Thema gestellt werden, durch die die SuS schrittweise den sicheren Umgang mit dem neu „Gelernten“ bzw. Erinnerten üben können. Dabei ist es wichtig, dass die SuS im Nachhinein die richtige Lösung der Aufgabe kontrollieren können. Das hat zwei Vorteile:

- Zum einen wird verhindert, dass die SuS mit einer fehlerhaften Vorstellung zu dem bearbeiteten Thema die weiteren Aufgaben der Box bearbeiten. Da die anschließend betrachteten Themen in der Regel immer die zuvor betrachteten Inhalte voraussetzen, würde eine nicht korrigierte, fehlerhafte Vorstellung der SuS zu einem einzelnen Thema die korrekte Bearbeitung der folgenden Themen behindern oder sogar verhindern. Im Extremfall könnte eine Art Kettenreaktion ausgelöst werden, so dass durch eine einzige fehlerhaft gelöste Aufgabe die restliche, korrekte Bearbeitung der Box unmöglich wird. Deswegen ist es unverzichtbar, dass die SuS, speziell zu den ersten, einführenden Aufgaben der Aktionsbox, Lösungen erhalten.
- Der zweite Vorteil von Zwischenlösungen zu den jeweiligen Aufgaben besteht darin, dass die SuS für die weitere Bearbeitung der Box motiviert werden, sofern sie die Aufgaben korrekt bearbeitet haben. Dazu sollten vor allem die ersten Aufgaben auch vergleichsweise einfach und dementsprechend gut lösbar sein, damit der Motivations-Effekt eintritt. Selbstverständlich birgt die Bereitstellung von Zwischenlösungen auch die Gefahr, dass SuS, die die Aufgaben nicht vollkommen korrekt oder sogar falsch beantwortet haben, demotiviert werden und auf die weitere Bearbeitung der Box keine Lust mehr haben. Es besteht aber ebenso die Möglichkeit, dass die SuS durch ihre fehlerhafte Bearbeitung und die anschließende Korrektur durch die Zwischenlösungen einen enormen „Aha-Effekt“ erleben, wodurch das Interesse für das Thema umso mehr geweckt werden könnte. Die Zwischenlösungen bringen also ein gewisses Risiko der Demotivation mit sich. Allerdings überwiegen die möglichen, positiven Motivations-Aspekte dieses Risiko deutlich.

Nachdem sich die SuS mit den Inhalten der Aktionsbox möglichst kleinschrittig auseinandergesetzt haben und nach jedem neuen Aspekt zunächst einige leichtere Aufgaben bearbeitet haben, um im Umgang mit diesem Aspekt ein wenig Sicherheit zu gewinnen, sollen am Ende jedes Themenbereichs einige anspruchsvollere Aufgaben gestellt werden. Dabei sollte sich der Fokus

auf den Inhalten des gerade bearbeiteten Themengebiets befinden, die möglichst kombiniert und vertiefend angewendet werden sollen. Aber auch die Inhalte von zuvor bearbeiteten Themenbereichen sollten hier als Grundlage vorausgesetzt werden. Diese Aufgaben-Struktur soll sich durch die gesamte Aktionsbox ziehen, so dass am Ende des letzten Themengebiets Aufgaben zu bearbeiten sind, die noch einmal alle in der Box behandelten Aspekte in sich vereinen.

Möglich wäre hier auch, dass die Aufgaben nach dem letzten Themenbereich ihren Fokus noch einmal speziell auf die Inhalte eben dieses letzten Themenbereichs setzen. Für die SuS, die die Aktionsbox vollständig durchgearbeitet haben, gäbe es im Anschluss einen zusätzlichen Aufgabensatz. Die darin enthaltenen Aufgaben würden dann sämtliche Inhalte der Box noch einmal gleichgewichtet, also ohne besonderen Fokus auf ein einzelnes Thema, betrachten. Zu diesen abschließenden Aufgaben sollte es ebenfalls Lösungen geben, die den SuS nach der Bearbeitungszeit ausgehändigt werden. So haben diese die Möglichkeit, die Aufgaben zu einem späteren Zeitpunkt gegebenenfalls fertig zu bearbeiten und zu kontrollieren.

### **3.4 Entwicklung der Aktionsbox**

Die „Wiederholungs- und Übungsbox zum Thema Kräfte“ (Anhang A1) ist in zwei große Bearbeitungsgebiete aufgeteilt. Dabei handelt es sich zum einen um „Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome“ und zum andern um „Reibungskräfte“. Speziell bei der Betrachtung des erstgenannten Themenbereichs stellt man fest, dass sich dieser über mehrere Themenfelder aus der Fachlichen Klärung in Kapitel 3.1 erstreckt. Dabei handelt es sich um „Definition einer Kraft“, „Messen von Kräften“, „Rechnen mit Kräften und resultierende Kräfte“, „Kräfte im Gleichgewicht“, „Gewichtskraft und Masse“ sowie „Die Newtonschen Axiome“. Beim zweiten Themenbereich geht es, wie der Titel bereits aussagt, speziell um die „Reibungskräfte“. Da manche Themenfelder, wie beispielsweise „Die Gravitationskraft“ oder „Die Normalkraft“, nicht berücksichtigt werden, können auch nicht alle Aspekte der anderen, betrachteten Themenfelder behandelt werden, da manches auf die

nicht betrachteten Themenfelder aufbaut. Es musste hier eine Auswahl getroffen werden, die logisch aufeinander aufbaut und in sich geschlossen ist, also für das Verständnis keine weiteren Inhalte voraussetzt oder benötigt.

Im ersten Bearbeitungsgebiet werden die Grundlagen der Newtonschen Mechanik betrachtet, die absolut unverzichtbar sind, wenn man weitere Themen behandeln will. Reibungskräfte stellen ein Themengebiet dar, das, wie gewünscht, kein weiteres Vorwissen voraussetzt. Außerdem handelt es sich bei Reibungskräften um einen Aspekt im Bereich der Mechanik, der viele Sachverhalte erklärt, speziell in Bezug auf den Alltag der SuS. Ein Beispiel hierfür ist das 1. Newtonsche Axiom, das bei den SuS oft für Verwirrung sorgt, da sie es aus dem Alltag anders kennen (vergleiche Kapitel 3.2). Die Frage, warum man in der Praxis eine Kraft aufbringen muss, damit sich ein Körper gleichförmig geradlinig bewegt, lässt sich mit Hilfe von Reibungskräften direkt beantworten.

Zur Bearbeitung der Aktionsbox und speziell zur Durchführung der darin beschriebenen Versuche benötigt jede SuS-Gruppe folgendes Material<sup>1</sup>:

- Einen Holzklotz mit angebrachtem Haken, um daran ziehen zu können (Masse: 150g)
- Einen Rollwagen mit angebrachtem Haken, um daran ziehen zu können (Masse: 50g)
- Zwei Massestücke (Masse pro Stück: 100g)
- Ein Stück Teppichboden
- Eine Billardkugel
- Einen Kraftmesser mit 2N oder 2,5N
- Einen Kraftmesser mit 5N
- Zwei Kraftmesser mit 10N (oder mehr)

Die Aktionsbox (Anhang A1) ist in insgesamt 52 Karten aufgeteilt, die von 1 bis 48 durchnummeriert sind, da vier Karten aus der Nummerierung herausfallen. Auf den Karten befinden sich Hinweise, erklärende Texte und Aufgaben, die die SuS in der angegebenen Reihenfolge bearbeiten sollen. Mit

---

<sup>1</sup> Bilder vom Versuchsmaterial finden sich im Anhang A3.

Hilfe der Nummerierung wird im späteren Verlauf immer wieder auf vorherige Karten verwiesen, die die SuS zur Erinnerung erneut betrachten können.

Zu den Aufgaben, deren Inhalte für die weitere Bearbeitung der Box unverzichtbar sind und von den SuS unbedingt verstanden werden müssen, werden Zwischenlösungen angeboten, wie in Abschnitt 3.3 bereits angesprochen. Diese befinden sich auf speziellen Lösungskarten, die ebenfalls durchnummeriert sind (Anhang A2). Die Lösungen zu einzelnen Aufgaben sind in der Aktionsbox an den jeweiligen Stellen (direkt nach den Aufgaben oder einem Aufgaben-Block) vermerkt. Die SuS bekommen einen Hinweis, auf welcher Lösungskarte sich die Lösungen der Aufgaben befinden. Die Lösungskarten selbst werden am Lehrerpult ausgelegt und können von den SuS eingesehen und kurzzeitig mit zu ihrem Arbeitsplatz genommen werden. Die Lösungen wurden bewusst nicht in die Aktionsbox selbst mit eingebaut, damit die SuS die Aufgaben wirklich zunächst bearbeiten bevor sie sich die Lösungen anschauen. Bei einer direkt auf die Aufgabe folgenden Lösung würden die SuS vermutlich zu sehr in Versuchung geführt werden, sich diese vor Bearbeitung der Aufgabe anzusehen, was keinen Lerneffekt hätte.

Im Folgenden wird der explizite Aufbau der Aktionsbox mit sämtlichen Inhalten und Aufgaben dargestellt und mit den in Kapitel 3.1 und 3.2 angeführten fachlichen Inhalten und Schülervorstellungen begründet.

### **Einstieg**

Die Aktionsbox beginnt mit allgemeinen Informationen für die SuS. Die Box soll in Zweier- oder Dreier-Gruppen bearbeitet werden, wobei Zweier-Gruppen am besten geeignet sind, da die SuS diskutieren sollen und so jeder Teilnehmer einer Gruppe gezwungen ist, sich einzubringen. Außerdem können an der Durchführung der Versuche immer höchstens zwei SuS aktiv teilnehmen, so dass bei einer Dreier-Gruppe zwangsläufig jemand nicht mitexperimentieren kann. Die Bearbeitungszeit der Box ist auf eine Doppelstunde, also 90 Minuten, ausgelegt. Außerdem sind auf Karte 2 noch kurze Anweisungen darüber, wie die SuS die Aufgaben bearbeiten sollen und die Massen der für die Versuche verwendeten Gegenstände angegeben.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Die Massen-Angaben beziehen sich auf das Versuchsmaterial, das ich zur Verfügung hatte und müssen bei anderen Materialien dementsprechend angepasst werden.

### **3.4.1 Bearbeitungsgebiet 1: Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome**

#### **Eigenschaften einer physikalischen Kraft**

Auf Karte 4 (Anhang A1) befindet sich die erste, einführende Aufgabe 1.1. Hier soll es lediglich darum gehen, dass die SuS zunächst versuchen sich zu erinnern, was eine physikalische Kraft ausmacht und wie man sie von alltäglichen, nicht-physikalischen Kräften unterscheiden kann. Hier soll den SuS vor allem noch einmal die unterschiedliche Verwendung des Begriffes „Kraft“ vor Augen geführt werden. Eine Lösung zu dieser Aufgabe ist nicht angegeben, da eine solche Lösung an dieser Stelle der Box noch nicht fachlich begründet werden könnte. Die SuS haben noch nicht wiederholt, wodurch eine physikalische Kraft charakterisiert wird und man sollte nicht voraussetzen, dass sie das noch wissen. Demnach könnte man die Lösung zwar angeben, aber noch nicht begründen, was keinen besonderen Lern-Effekt hätte, da die Frage, warum eine mögliche Antwort der SuS falsch ist, nicht beantwortet werden würde.

Auf den Karten 5 bis 10 wird noch einmal definiert, was eine physikalische Kraft ausmacht. Hier geht es also um die Inhalte des Themenfeldes „Definition einer Kraft“ aus der Fachlichen Klärung. Die SuS sollen, teilweise durch Experimentieren (Aufgabe 1.2), teilweise durch Gedanken-Experimente (Aufgaben 1.3 und 1.4), noch einmal selbst herausfinden, welche Aspekte bei einer physikalischen Kraft ausschlaggebend sind und welche Auswirkungen eine Veränderung dieser Aspekte hat. Ergänzend zu den Erkenntnissen der SuS durch die Aufgaben gibt es noch einzelne Leseabschnitte, in denen bestimmte Begriffe und Einheiten eingeführt werden. In Aufgabe 1.5 wird dann noch einmal das Verständnis aller Eigenschaften einer Kraft im physikalischen Sinn überprüft. In diesem Teil der Aktionsbox wird immer wieder auf drei typische Beispiele zurückgegriffen, an denen die Eigenschaften einer physikalischen Kraft deutlich werden. Diese Beispiele werden auch im weiteren Verlauf der Aktionsbox immer wieder verwendet, wenn es um die Eigenschaften von Kräften geht.

Nach Bearbeitung dieses Abschnitts sollen die SuS das beherrschen, was in Aufgabe 1.5 verlangt wurde. Sie sollen eine Kraft anhand ihrer Eigenschaften

beschreiben und gegebenenfalls, mit Hilfe der vektoriellen Darstellung, in eine Zeichnung eintragen können. Außerdem sollen die SuS nach dementsprechenden Überlegungen in der Lage sein, eine physikalische Kraft von einer Kraft zu unterscheiden, die sie nur aus dem Alltag kennen.

### **Wenn mehrere Kräfte wirken...**

Ab Karte 11 wird die vektorielle Darstellung von Kräften noch einmal genauer betrachtet. Hierbei geht es um die Inhalte der Themenfelder „Rechnen mit Kräften und resultierende Kräfte“ sowie „Kräfte im Gleichgewicht“. Auch hier wird zur Verdeutlichung immer wieder dasselbe Beispiel eines Flugzeugs verwendet, an dem sich die SuS die wirkenden Kräfte vorstellen sollen. Den SuS wird zunächst gezeigt, wie sie mit Hilfe eines Kräfteparallelogramms die resultierende Kraft von zwei wirkenden Kräften bestimmen können. Das soll dann in Aufgabe 1.6 noch einmal, unter engem Bezug zum vorherigen Beispiel, vertieft werden. Da die SuS diese Vorgehensweise unbedingt verstanden haben müssen, bevor sie sich mit mehr als zwei angreifenden Kräften auseinandersetzen können, ist an dieser Stelle eine kurze Zwischenlösung angegeben, die sich die SuS am Lehrerpult holen können.

Im nächsten Schritt wird den SuS wieder am Beispiel „Flugzeug“ gezeigt, wie sie die resultierende Kraft von drei oder mehr Kräften zeichnerisch ermitteln können, da das auf direktem Weg mit einem Kräfteparallelogramm nicht möglich ist. Im Beispiel wird die Vorgehensweise zur Bestimmung der resultierenden Kraft sehr kleinschrittig gezeigt, damit die SuS diese gut nachvollziehen können. Die darauf folgende Aufgabe 1.7 verfolgt anschließend zwei Ziele. Zum einen sollen die SuS selbst noch einmal üben, wie drei Kräfte zeichnerisch addiert werden. Die Aufgabe ist sehr nah am vorhergehenden Beispiel gehalten, damit sich die SuS immer wieder an diesem orientieren können. Gleichzeitig wird durch Aufgabe 1.7 auch verdeutlicht, dass die Reihenfolge, in der man die Kräfte addiert, keine Rolle für die resultierende Kraft spielt. Diesen Sachverhalt können die SuS hier selbst überprüfen. Da auf Karte 14 bereits ausgesagt wird, dass die Reihenfolge keine Rolle spielt und die SuS das nur noch einmal für sich selbst nachvollziehen sollen, ist die Lösung dieser Aufgabe (der resultierende Kraftpfeil) bereits bekannt, weswegen keine explizite Zwischenlösung angegeben wird.

Auf Karte 16 wird den SuS noch einmal gezeigt, was es bedeutet, wenn sich Kräfte im Gleichgewicht befinden. Dazu wird die zuvor behandelte Addition von Kräften herangezogen, diesmal allerdings ohne unterstützende Beispiele, da diese in den folgenden Aufgaben betrachtet werden. Der hervorgehobene Merksatz am Ende der Karte ist eine wichtige Voraussetzung, um später die Situationen, in denen die Newtonschen Axiome betrachtet werden, richtig zu beurteilen. Da der Inhalt an dieser Stelle aber nicht zwingend für die folgenden Aufgaben erforderlich ist, wird hier zunächst nicht näher darauf eingegangen. Das geschieht im weiteren Verlauf der Box, wenn die Newtonschen Axiome behandelt werden.

Die folgenden drei Aufgaben thematisieren noch einmal kombiniert die zuvor behandelten Inhalte, speziell die Addition von mehr als zwei Kräften (also ohne Kräfteparallelogramm) und die Kräfte im Gleichgewicht, da zu diesen Themen noch keine Aufgaben gestellt wurden, in denen die SuS den Umgang damit üben konnten. Da die Inhalte dieser Aufgaben sehr wichtig für die weitere Bearbeitung der Box sind, wird am Ende der Bearbeitung aller drei Aufgaben eine umfassende Zwischenlösung angeboten.

Nachdem sich die SuS mit diesem Teil der Box auseinandergesetzt haben, sollen sie in der Lage sein, beliebig viele Kräfte, die an einem Körper angreifen, zeichnerisch zu addieren. Außerdem sollen die SuS überprüfen können, ob die an einem Körper angreifenden Kräfte im Gleichgewicht sind oder nicht.

Bis zu diesem Abschnitt ist es noch nicht möglich, auf spezielle Vorstellungen der SuS in Bezug auf Kräfte einzugehen. Zu Beginn der Box müssen zunächst noch einmal die Grundlagen gelegt werden, auf denen die weiteren Inhalte aufbauen. Explizite Betrachtungen von einigen der in Kapitel 3.2 vorgestellten Schülervorstellungen erfolgen deshalb erst ab dem kommenden Abschnitt.

### **Die Newtonschen Axiome**

Ab Karte 19 wird eines der zentralen Themen der Physik betrachtet: Die Newtonschen Axiome. Diese werden zunächst den SuS vorgestellt, bevor durch verschiedene Versuche und Aufgaben die Inhalte der Axiome nachvollzogen werden sollen.

Zunächst wird auf den scheinbaren Widerspruch zu den Alltagserfahrungen der SuS eingegangen, der im 1. Newtonschen Axiom zu finden ist, nämlich dass ein Körper, auf den keine äußeren Kräfte wirken, eine gleichförmig geradlinige Bewegung durchführt. Da die SuS es aus dem Alltag anders kennen (wenn man bei einem Fahrrad nicht mehr in die Pedale tritt, bleibt es irgendwann stehen, genauso wie ein Auto, wenn man kein Gas mehr gibt), muss auf diesen Aspekt genauer eingegangen werden. Ansonsten manifestiert sich hier sehr leicht die fehlerhafte Vorstellung, dass mit einer Geschwindigkeit auch gleichzeitig eine Kraft, die in Richtung der Geschwindigkeit wirkt, einhergeht (siehe Kapitel 3.2). Im Rahmen der Aktionsbox und mit den Versuchs-Materialien, die die SuS zur Verfügung haben, ist es leider nicht möglich, diese Vorstellung eindeutig als falsch zu entlarven. Wie bereits dargestellt, verknüpfen die SuS eine Geschwindigkeit gleichzeitig mit einer in Richtung der Geschwindigkeit wirkenden Kraft. Mit dem in Aufgabe 1.11 erläuterten Versuch kann das leider nicht widerlegt werden, da die wirkende Reibungskraft nicht direkt gemessen werden kann. An dieser Stelle müssen sich die SuS zunächst mit der Erklärung auf Karte 21 zufrieden geben.

Mit Hilfe von Aufgabe 1.11 sollen die SuS also zunächst ihre Alltagsvorstellungen noch einmal überprüfen, bevor sie auf der nächsten Karte die Lösung präsentiert bekommen. An dieser Stelle tritt, wie oben schon angedeutet, das Problem auf, dass zur Aufklärung des scheinbaren Widerspruchs zwischen den Alltagserfahrungen der SuS und dem 1. Newtonschen Axiom die Kenntnis von Reibungskräften benötigt wird. Diese wurden zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht behandelt und sollen auch jetzt noch nicht behandelt werden. Aus diesem Grund wird hier so verfahren, dass die SuS die Lösung für den scheinbaren Widerspruch zwischen dem 1. Newtonschen Axiom und ihren Alltagserfahrungen in einem erklärenden Text erläutert bekommen, bei dem lediglich auf die Existenz, nicht aber auf die genauen Eigenschaften von Reibungskräften eingegangen wird. Es wird davon ausgegangen, dass das für das Verständnis an dieser Stelle völlig ausreicht.

Auf Karte 22 wird das 2. Newtonsche Axiom näher betrachtet. Hier wird insbesondere versucht, die Vorstellung vieler SuS, dass sich ein Körper immer in Richtung der wirkenden Kraft bewegt, zu korrigieren. Dazu wird zunächst auf die exakte Formulierung im 2. Newtonschen Axiom hingewiesen. Damit

den SuS verdeutlicht wird, dass es sich dabei wirklich nur um die *Änderung* der Bewegung handelt, soll der Versuch aus Aufgabe 1.12 durchgeführt werden. Dabei sollen die SuS eine Billard-Kugel über den Tisch rollen lassen und diese dann senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung anstoßen. Im Idealfall rollt die Kugel diagonal weiter<sup>3</sup>, also weder in Richtung der ursprünglichen Bewegung, noch in Kraftrichtung.

In der anschließend angebotenen Lösung, die die SuS unbedingt einsehen sollen (wird explizit auf der Karte gefordert), wird der Ausgang des Versuchs noch einmal genau beschrieben und die SuS werden darauf hingewiesen, den Versuch erneut durchzuführen, falls sie nicht den geschilderten Versuchsausgang beobachten konnten. Damit der Versuch letztlich auch das zeigt, was er zeigen soll, ist auf der Lösungskarte noch ein Hinweis zu finden, wie die SuS den Versuch genau durchführen sollen. An dieser Stelle wird den SuS bewusst vorgeschrieben, dass sie sich die Lösung anschauen sollen, da es hier absolut unverzichtbar ist. Die Korrektur der möglichen Schülervorstellung, dass die wirkende Kraft und die Bewegung immer in dieselbe Richtung zeigen müssen, ist eines der fachlichen Hauptziele dieser Aktionsbox.

Auch das 3. Newtonsche Axiom wird noch einmal explizit betrachtet. Dazu werden die zu Beginn der Box bereits gezeigten Beispiele noch einmal herangezogen, da die SuS die „aktiven“ Kräfte hier bereits kennengelernt haben. Die SuS sollen sich hier vor allem Gedanken über die Wechselwirkungskräfte machen und darüber diskutieren.

Nachdem die Newtonschen Axiome vorgestellt und etwas näher untersucht wurden, sollen die SuS bei Aufgabe 1.14 das bisher Gelernte noch einmal kombiniert anwenden, um die richtigen Zuordnungen zu finden. Auch hier liegt der Fokus in erster Linie auf der Diskussion zwischen den SuS, da zu einigen Aussagen nicht immer eine eindeutige Zuordnung gegeben ist. Die Lösung wird hier zwar angeboten, ist aber an dieser Stelle eher zweitrangig.

Als Abschluss der Behandlung der Newtonschen Axiome sollen ab Karte 25 noch typische Probleme im Umgang mit den Axiomen betrachtet werden. Dabei steht zunächst das in Kapitel 3.2 angesprochene Problem, dass SuS immer wieder Schwierigkeiten bei der Anwendung des 3. Newtonschen

---

<sup>3</sup> Hier wurde die ursprüngliche Richtung der Kugel als Waagerechte angenommen.

Axioms haben, im Vordergrund. Speziell die typische Verwechslung von Kräften gemäß dem 3. Newtonschen Axiom und Kräften im Gleichgewicht soll in Aufgabe 1.15 behandelt werden. Die SuS werden zunächst noch einmal daran erinnert, worin der zentrale Unterschied zwischen den beiden Kräftepaaren liegt, bevor sie diese den gegebenen Situationen in der Aufgabe zuordnen sollen. Da die korrekte Unterscheidung zwischen den Wechselwirkungskräften gemäß dem 3. Newtonschen Axiom und dem Kräftepaar im Gleichgewicht sehr wichtig für das Verständnis der Newtonschen Mechanik ist, wird auch zu dieser Aufgabe eine Lösung angeboten, die die SuS zur Sicherheit einsehen können.

Anschließend wird noch einmal einer der wichtigsten Aspekte in der gesamten Aktionsbox betrachtet: Die Grundgleichung der Mechanik. Da die SuS die Bedeutung dieser Gleichung unbedingt nachvollziehen müssen, gibt es in diesem Teil der Box immer wieder kurze Zwischenlösungen, so dass sich die SuS immer wieder selbst kontrollieren können, bevor sie den nächsten (Denk-) Schritt machen. Zunächst sollen die SuS allgemein überlegen, was die Grundgleichung der Mechanik aussagt. Dazu werden ihnen Hilfsfragen gestellt, über die sie zu diesem Zweck diskutieren können. Anschließend sollen sie am bereits bekannten Beispiel der Billard-Kugel noch einmal explizit zeigen, welchen Einfluss eine Änderung der einwirkenden Kraft auf die Beschleunigung und auf die resultierende Bewegung hat.

In Aufgabe 1.17 wird abschließend noch einmal das 3. Newtonsche Axiom betrachtet, allerdings müssen die SuS in diesem Fall selbst darauf kommen. Mit Aufgabe 1.15 wurde hier aber gezielt vorbereitet, dass die SuS selbständig unterscheiden können, ob es sich hierbei um Wechselwirkungskräfte gemäß dem 3. Newtonschen Axiom oder aber, so wie es im Text fälschlicherweise beschrieben ist, ein Kräftepaar im Gleichgewicht.

Nach Bearbeitung dieses Teilabschnitts der Aktionsbox, sollen die SuS in der Lage sein, die Newtonschen Axiome inhaltlich wiederzugeben und diese Inhalte anhand von Beispielen zu erläutern. Zusätzlich sollen die SuS die Aussagen der Newtonschen Axiome auf neue, vertiefende Aufgaben und Situationen anwenden können.

In Bezug auf Kapitel 3.2 gibt es in diesem Abschnitt mehrere Schülervorstellungen, die thematisiert werden. Eine davon ist die Vorstellung,

dass die Kraft eine Eigenschaft eines Körpers ist und auch nur von belebten Körpern ausgeübt werden kann. Mit Hilfe der expliziten Betrachtung des 3. Newtonschen Axioms (Aufgaben 1.13, 1.15 und 1.17) soll der Wechselwirkungs-Charakter der Kraft verdeutlicht werden und die Vorstellung, dass die Kraft eine Eigenschaft eines Körpers ist, revidiert werden.

Eine weitere Schülervorstellung, die in diesem Bereich thematisiert wird, betrifft das 1. Newtonsche Axiom. Viele SuS glauben, dass ein Körper, der sich im Kräftegleichgewicht befindet, auch gleichzeitig in Ruhe sein muss. Dieser Vorstellung wird hier zunächst nur mit Gegen-Aussagen begegnet (Karte 20 und 21). Eine genauere Untersuchung erfolgt im Bearbeitungsgebiet 2 nach der Betrachtung der Reibungskräfte.

Die dritte Schülervorstellung, die in diesem Bereich behandelt wird, ist die, dass sich ein Körper immer in die Richtung bewegt, in die eine Kraft auf ihn wirkt. Analog dazu gehört die Vorstellung, dass eine konstante Geschwindigkeit eine Kraft benötigt, die *in Richtung der Geschwindigkeit* wirkt. Dieser Vorstellung soll vor allem mit den Aufgaben 1.12 und 1.16 entgegengewirkt werden, da dort das genaue Gegenteil beschrieben wird und beobachtet werden kann. Zusätzlich gibt es immer wieder explizite Hinweise darauf, dass eine Kraft immer nur eine *Änderung* einer Bewegung hervorruft (Karte 22), so wie es im 2. Newtonschen Axiom beschrieben ist. Auch auf Karte 26 wird in den unterstützenden Fragen immer wieder auf die Beschleunigung eingegangen, so dass die SuS das Einwirken einer Kraft mehr und mehr mit einer Beschleunigung und nicht mit einer Geschwindigkeit in Verbindung bringen. Gleichzeitig werden auf Karte 26 auch die Bedeutungen der Grundgleichung der Mechanik diskutiert.

Zu Beginn dieses Kapitels wurde darauf hingewiesen, dass nicht alle Aspekte der in der Aktionsbox behandelten Themengebiete aus der Fachlichen Klärung auch betrachtet werden können. Dabei handelt es sich in erster Linie um die Inhalte, die Kenntnisse aus anderen, nicht behandelten Themenfeldern vorausgesetzt hätten.

Zwei dieser Aspekte sind die Gewichtskraft und die Masse. Beides wurde in der Box erwähnt, da es unverzichtbar ist. Bei einer gründlicheren Betrachtung

wären wiederum Kenntnisse über die Gravitationskraft von Nöten gewesen, da sich die Ortsabhängigkeit der Gewichtskraft ansonsten nicht erklären lässt. Da die expliziten Eigenschaften und Unterschiede von Masse und Gewichtskraft zur Bearbeitung und zum Verständnis der Inhalte der Aktionsbox nicht zwingend notwendig sind, konnte und wurde hier auf eine weiterführende Betrachtung verzichtet.

Ähnlich verhält es sich mit den Inhalten des Themenfeldes „Messen von Kräften“. In diesem Zusammenhang bin ich einfach davon ausgegangen, dass die SuS den Umgang mit Kraftmessern aus dem bisherigen Unterricht kennen und gelernt haben. Eine detaillierte Erklärung und Einführung des Kraftmessers hätte wiederum Kenntnisse über das Hookesche Gesetz vorausgesetzt, da sich damit die unterschiedliche Eichung von Kraftmessern erklären lässt. Zur Bearbeitung der Aktionsbox ist die Kenntnis darüber *wie* ein Kraftmesser funktioniert aber nicht notwendig. Es genügt, wenn die SuS wissen, wie er zu bedienen ist. Aus diesem Grund wurde auf die explizite Betrachtung des Kraftmessers verzichtet.

### **3.4.2 Bearbeitungsgebiet 2: Reibungskräfte**

Nach einer kurzen Pause, die sich die SuS nach der Bearbeitung des ersten Themenbereichs genommen haben, wird nun im zweiten Themenbereich das Thema Reibungskräfte untersucht.

Im Bearbeitungsgebiet 1 wurden die SuS bereits mit Reibungskräften konfrontiert (Karte 21), als versucht wurde, die Aussagen des 1. Newtonschen Axioms nachzuvollziehen. Dabei wurde aber lediglich die Existenz von Reibungskräften erwähnt und wie sie wirken. Im Bearbeitungsgebiet 2 soll nun näher auf die verschiedenen Arten von Reibungskräften eingegangen werden und wovon sie abhängen.

#### **Verschiedene Arten von Reibungskräften**

Zunächst sollen die SuS selbst überlegen, in welchen Situationen Reibungskräfte wirken. Da die bisherigen Erfahrungen bei der Bearbeitung der Box, aber auch im Alltag der SuS, eher andeuten, dass Reibungskräfte das Leben erschweren, sollen die SuS sich zunächst nur auf solche Situationen

beziehen. Erst im nächsten (Denk-) Schritt soll angedeutet werden, dass Reibungskräfte auch positive Effekte haben.

Im nächsten Schritt werden die SuS mit den verschiedenen Reibungsarten konfrontiert und erfahren, unter welchen Bedingungen welche Reibungskraft wirkt. Um eine Verknüpfung zu den zuvor gemachten Überlegungen zu schaffen, sollen die SuS zunächst überlegen, welche Reibungskräfte in ihren zuvor gewählten Beispielen wirken. Anschließend soll Aufgabe 2.1 bearbeitet werden, in der diese Überlegungen auf andere, allgemeine Beispiele anzuwenden sind. Im Idealfall finden die SuS einige ihrer Beispiele in den dargestellten Situationen wieder.

Nachdem sich die SuS klarmachen konnten, in welchen Situationen welche Reibungskräfte wirken, soll jetzt die Frage geklärt werden, worin sich diese Arten von Reibungskräften unterscheiden. Dazu wird zunächst ein alltägliches Beispiel herangezogen, zu dem sich die SuS gemäß ihren Alltagserfahrungen Gedanken machen sollen. Im anschließenden Versuch in Aufgabe 2.2 können diese Überlegungen schließlich überprüft werden. An dieser Stelle kommt es in erster Linie darauf an, dass die SuS erkennen, dass ihre Erfahrungen aus dem Alltag in diesem Fall mit den Gesetzen der Physik übereinstimmen. Die richtige Anordnung der Reibungsarten erfolgt dann eigentlich automatisch und spielt hier auch nur eine untergeordnete Rolle. Trotzdem wird zu dieser und auch der vorherigen Aufgabe eine Lösung angeboten, damit sich die SuS, die noch unsicher sind, weil beispielsweise im Versuch etwas nicht so zu sehen war wie es eigentlich sein soll, Gewissheit verschaffen können.

Nachdem die SuS diesen Teil der Box bearbeitet haben, sollten sie in der Lage sein, wie in Aufgabe 2.1, verschiedenen Situationen die jeweils wirkende Reibungskraft zuzuordnen. Damit zusammen hängt die Voraussetzung, dass die SuS erklären können, worin sich die Reibungsarten unterscheiden und wie man erkennen kann, welche Reibungsart wirkt.

Bezüglich der Schülervorstellungen aus Kapitel 3.2 betrifft dieser Abschnitt und auch der noch folgende Teil dieses Bearbeitungsgebiets vor allem die Vorstellung, dass sich ein Körper an seinen Bewegungszustand „gewöhnt“. Da die SuS in diesem Abschnitt wiederholen, dass es bei jeder Bewegung eine Kraft gibt, die dieser Bewegung entgegenwirkt, ist zu erwarten, dass diese

Vorstellung, zumindest in Bezug auf geradlinige Bewegungen, korrigiert werden kann.

### **Abhängigkeit der Größe von Reibungskräften**

Den SuS wurde bisher gezeigt, dass die Größe einer Reibungskraft von der Art der Reibungskraft abhängt, die wirkt. Als nächstes sollen die SuS weitere Faktoren untersuchen, die die Größe von Reibungskräften beeinflussen. Dazu werden auf den Karten 36 bis 39 zwei Eigenschaften untersucht, nämlich die Masse des Körpers und die Oberflächenbeschaffenheit der reibenden Körper. In beiden Fällen wird den SuS zunächst ein alltägliches Beispiel präsentiert, das jeweils nahe legt, dass die betrachtete Eigenschaft (Masse oder Oberflächenbeschaffenheit) die Größe der Reibungskraft beeinflusst. In anschließenden Versuchen sollen die SuS dies wiederum selbst untersuchen. Auch hier wird ihnen eine kurze Lösung angeboten, wobei diese sich lediglich auf die Konsequenzen aus den Versuchen bezieht. Da die SuS die Versuchsdurchführungen weitestgehend selbst bestimmen können (Größe der Massen etc.), ist hier eine quantitative Lösung nicht möglich und auch nicht nötig, da es nur um die qualitativen Zusammenhänge geht.

Am Ende dieses Abschnitts sollen die SuS erklären können, auf welche Weise die Größe einer Reibungskraft von den Faktoren Masse und Oberflächenbeschaffenheit abhängt. Das beinhaltet auch die Antwort auf die Frage, wie man Reibungskräfte im Alltag möglichst minimieren kann.

### **Abschließende Aufgabe**

Bis zu dieser Stelle haben die SuS die grundlegenden Eigenschaften von Reibungskräften kennengelernt. Auf Karte 40 wird dazu eine kurze Zusammenfassung gegeben, damit die SuS das bisher Gelernte noch einmal auf einen Blick betrachten können. Im Anschluss wird ihnen eine abschließende Aufgabe gestellt, die sämtliche Inhalte der Aktionsbox voraussetzt und miteinander kombiniert. Diese Aufgabe ist (bewusst) die schwierigste der gesamten Box, da die SuS zum Abschluss noch einmal überprüfen sollen, ob sie die behandelten Inhalte verstanden haben. Damit die SuS sich auch selbst kontrollieren können, wird zur Aufgabe eine ausführliche, erklärende Lösung

angeboten, die die zeichnerischen Ergebnisse enthält und auch die Begründungen für diese Ergebnisse liefert.

Durch diese Aufgabe werden die Schülervorstellungen, die vor allem das 1. Newtonsche Axiom betreffen, noch einmal aufgegriffen. Die SuS sollen in der Aufgabe selbst herausfinden, dass sich die auf den Körper wirkenden Kräfte bei einer gleichförmig geradlinigen Bewegung im Gleichgewicht befinden müssen. Das widerspricht der Schülervorstellung, dass sich ein Körper, der sich im Kräfte-Gleichgewicht befindet, auch gleichzeitig in Ruhe befinden muss. Diese Vorstellung konnte im Bearbeitungsgebiet 1 in diesem Maße nicht behandelt werden, da man annehmen muss, dass die SuS noch nicht über die nötigen Kenntnisse über Reibungskräfte verfügten. Deswegen wird dieser Aspekt an dieser Stelle der Box noch einmal aufgegriffen.

Speziell im Bearbeitungsgebiet 2 der Aktionsbox fällt auf, dass sich die behandelten Themen auf die qualitativen Inhalte beschränken. Es wird bewusst, aber auch gezwungenermaßen, auf formale Schreibweisen und Erklärungen verzichtet. Gezwungenermaßen deshalb, weil die Voraussetzungen dafür durch das Bearbeitungsgebiet 1 nicht vollständig gegeben sind.

In der Fachlichen Klärung in Abschnitt 3.1 ist die Abhängigkeit der Reibungskräfte von der Masse und der Oberflächenbeschaffenheit auch formal festgehalten, durch die Reibungskoeffizienten und die Normalkraft (bzw. Gewichtskraft in der waagerechten Ebene). Auf diese formale Abhängigkeit wurde in der Aktionsbox verzichtet. Das hat zwei Gründe:

- Die SuS besitzen nicht die fachlichen Voraussetzungen, da diese in der Box nicht behandelt wurden. Die Normalkraft wird überhaupt nicht betrachtet, die Gewichtskraft wird nur zu Beginn der Box erwähnt, aber nicht näher untersucht. Für das Verständnis der formalen Schreibweise wäre also im Vorfeld die Betrachtung einiger weiterer Themen notwendig gewesen, die wiederum andere, nicht behandelte Themen voraussetzen.

- Es liefert keine neuen Erkenntnisse und ist für die Bearbeitung der Box irrelevant. In allen Aufgaben zu diesem Themengebiet liegt der Fokus auf den phänomenologischen Ergebnissen. Es gibt keine konkreten Zahlenbeispiele, sondern immer nur vergleichende Betrachtungen („Muss die Kraft größer, kleiner oder gleich sein?“).

Leider musste auch auf die Betrachtung der Luftreibung verzichtet werden, da diese sich von ihren Eigenschaften her zu sehr von den anderen Reibungskräften unterscheidet und deshalb eine eigene, vollständige Betrachtung benötigt hätte, was den Rahmen der Aktionsbox gesprengt hätte. Außerdem lassen sich mit den Versuchsmaterialien und -voraussetzungen keine Versuche durchführen, mit denen man die Eigenschaften der Luftreibung hätte nachvollziehen können. In diesem Fall hätte man den SuS alles Wissenswerte über die Luftreibung als Information geben müssen, was vermeintlich nicht sehr effektiv gewesen wäre.

### **3.4.3 Bearbeitungsgebiet 3: Ergänzende Aufgaben**

In Bezug auf die in Kapitel 3.3 angesprochene Ergänzung am Ende der Aktionsbox habe ich mich für zusätzliche, weiterführende Aufgaben entschieden. Diese Aufgaben sollen sich über alle Themengebiete der Aktionsbox erstrecken und das bisher Gelernte noch einmal aufgreifen und stellenweise vertiefen.

Bei Aufgabe 3.1 sollen die SuS noch einmal Kräfte zeichnerisch addieren, diesmal mit Hilfe des Kräfteparallelogramms. Im Unterschied zu allen bisherigen Aufgaben ist diese Aufgabe die erste, in der wirklich quantitative Angaben gemacht sind und in der die SuS auch ein quantitatives Ergebnis bestimmen sollen. Dadurch soll die Bedeutung der Länge des Kraftpfeils, die stellvertretend für die Größe der Kraft ist, noch einmal hervorgehoben werden.

In Aufgabe 3.2 wird noch einmal das bereits zuvor betrachtete Beispiel des Flugzeugs aufgegriffen, bei dem die Kräfte im Gleichgewicht sind. Dieses Beispiel wurde auf Karte 18 in Aufgabe 1.10 betrachtet. Zu diesem Zeitpunkt waren die Newtonschen Axiome noch nicht behandelt worden, weswegen es möglicherweise zu Überlegungen seitens der SuS gekommen ist, die der

gemachten Aussage in Aufgabe 3.2 entsprechen. Jetzt, mit der Kenntnis speziell des 1. Newtonschen Axioms, sollen die SuS dieses Problem noch einmal betrachten und mit den bisher erlernten Kenntnissen lösen.

Aufgabe 3.3 betrachtet noch einmal im Speziellen mehrere Kräfte im Gleichgewicht und gleichzeitig die Bestimmung der resultierenden Kraft mehrerer wirkender Kräfte. Hier geht es vor allem darum, dass die SuS aus dem Kontext die richtigen Schlüsse ziehen und die Aufgabe dementsprechend bearbeiten.

Bei der Bearbeitung von Aufgabe 3.4 werden die SuS noch einmal mit dem Auto aus Aufgabe 2.5 konfrontiert. Während zuvor die Gewichtskraft noch vernachlässigt wurde, soll sich dies nun im einfachsten der zuvor betrachteten Beispiele (das Auto steht, ohne dass Kräfte wirken) ändern. Die Gewichtskraft ist hier, vor allem was ihre Richtung betrifft, vorgegeben, weswegen es kein Problem darstellt, dass sie zuvor nicht näher untersucht wurde. Hier sollen die SuS vor allem das 3. Newtonsche Axiom, im Vergleich zu den bisherigen Aufgaben, noch einmal in anspruchsvoller Art und Weise anwenden. Da dieses aber zuvor bereits intensiv betrachtet wurde und bereits ähnliche Aufgaben bearbeitet wurden (Aufgabe 1.17), sollte das für die SuS möglich sein.

Zum Thema Reibungskräfte wurden hier keine weiteren Aufgaben gestellt, weil alle Aufgaben, die lediglich die Kenntnisse die man in der Box gewinnt, voraussetzen, im Prinzip wie Aufgabe 2.5 aufgebaut sind. Lediglich der Kontext, in den die Aufgabe eingebettet ist, ändert sich. Hier wären also keine vertiefenden Aufgaben sinnvoll gewesen.

Zu den gegebenen Aufgaben erhalten die SuS natürlich eine Lösung, die sie auch behalten können. Falls sie in der Bearbeitungszeit nicht fertig geworden sind, können die SuS so die Aufgaben zu Hause vollständig bearbeiten und anschließend kontrollieren.

In diesem Abschnitt der Box wurden bewusst keine Aufgaben gestellt, die weitere, noch nicht behandelte Schülervorstellungen thematisieren. Die SuS sollen das bisher Gelernte festigen und dabei auch ihre hoffentlich korrigierten Vorstellungen noch einmal bestätigen können. Der Versuch der Korrektur weiterer, fachlich unangemessener Schülervorstellungen an dieser Stelle würde vermutlich nur für Verwirrung bei den SuS sorgen.

#### **3.4.4 Infokarten**

In der Aktionsbox sind an zwei Stellen (nach Karte 28 und nach Karte 39) Infokarten zu finden, die sich mit der Gewichtskraft und mit den Vorteilen von Reibungskräften befassen. Auf diese Infokarten wird in der Box an den entsprechenden Stellen hingewiesen. Diese Infokarten stellen lediglich eine Ergänzung zu den behandelten Inhalten dar. Den SuS steht es absolut frei, ob sie die Karten lesen oder nicht. Die Inhalte der Infokarten werden an keiner Stelle der Box vorausgesetzt oder gar vertieft. Es soll lediglich den SuS die Möglichkeit gegeben werden, sich selbst zu informieren, wenn sie sich für das Thema interessieren.

Hätte man die Gewichtskraft und die Vorteile von Reibungskräften in der Box behandeln wollen, hätte das eine intensive und auch langwierige Erarbeitung gefordert. Da das auf Grund des Umfangs der Box nicht möglich war, die Themen aber zu wichtig sind um völlig außer Acht gelassen zu werden, wurde dieser Kompromiss gewählt.

Da die Infokarten für die Aktionsbox selbst keine Relevanz haben, wurden sie auch in den Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2 nicht betrachtet.

## 4 Fragestellungen der Arbeit

Im Folgenden werden die Leitfragen aufgeführt, auf die ich mir durch die Erprobung der Aktionsbox konstruktive Antworten erhoffe. Diese Fragen orientieren sich in erster Linie an den in Kapitel 3.3 aufgeführten Zielen der Box.

### **Frage 1: Ist die Aktionsbox so konstruiert, dass die SuS in der Lage sind, diese komplett selbständig zu bearbeiten?**

Das lässt sich zum einen an möglichen Verständnisfragen festmachen, die während der Bearbeitung aufkommen, zum andern aber auch an der Bearbeitung der Box selbst. Wenn die SuS die Aufgaben nicht richtig lösen können oder sogar einige Aufgaben auslassen, kann dies unter anderem daran liegen, dass die Box an einigen Stellen nicht eindeutig ist und deshalb eine selbständige Bearbeitung erschwert wird.

### **Frage 2: Ist die Kombination aus Schwierigkeitsgrad und Umfang der Aktionsbox angemessen?**

Dabei geht es darum, dass die SuS die Box in der vorgesehenen Zeit von einer Doppelstunde bearbeiten können. Wenn die SuS bereits nach einer Stunde fertig sind oder, was vielleicht eher zu erwarten ist, noch nicht einmal die Hälfte der Aufgaben schaffen, muss dringend an dieser Kombination gearbeitet werden.

Wenn es bei der Bearbeitung enorme zeitliche Probleme geben sollte, gilt noch herauszufinden, ob das eher am Schwierigkeitsgrad oder am Umfang der Aktionsbox liegt. Die Angemessenheit des Schwierigkeitsgrades lässt sich unter Umständen bestimmen, indem die Ergebnisse der einzelnen Aufgaben ausgewertet werden, was auch eines der Hauptanliegen der Erprobung ist. Dabei muss aber auch wieder darauf geachtet werden, ob die Aufgaben wirklich zu schwer waren oder ob sie durch die vorangehenden Aufgaben und Erläuterungen nicht gut genug vorbereitet wurden.

**Frage 3: Ist es mit einer solchen Aktionsbox überhaupt möglich, fachlich unangemessene Schülervorstellungen zu korrigieren?**

Dies ist eine Frage, die sicherlich nicht leicht zu beantworten ist. Dabei ist es interessant zu erfahren, ob es wirklich möglich ist, fachlich unangemessene Schülervorstellungen durch selbständige Schülerarbeit zu korrigieren. Dass das nicht mit allen Schülervorstellungen funktioniert, liegt auf der Hand, aber es wäre bereits ein Erfolg, wenn einige wenige Vorstellungen, zumindest während der Bearbeitungsphase, berichtigt werden könnten.

**Frage 4: Haben die SuS Spaß bei der Bearbeitung der Aktionsbox?**

Wie bereits in Kapitel 3.3 deutlich gemacht wurde, geht es bei der Aktionsbox auch darum, dass die SuS Spaß bei der Bearbeitung haben. Ein weiteres Ziel der Auswertung muss also sein, herauszufinden ob dem so ist und wenn nicht, woran es liegt. Auch wenn das auf den ersten Blick zweitrangig erscheint, so messe ich diesem Aspekt mindestens so viel Bedeutung bei, wie allen anderen Aspekten auch.

**Frage 5: Haben die SuS durch die Bearbeitung der Aktionsbox etwas gelernt?**

Selbstverständlich soll auch diese Frage nach Möglichkeit beantwortet werden. Wenn das nicht gegeben ist, werden alle anderen Aspekte uninteressant, da es sich dabei letztlich um das Hauptziel der Aktionsbox oder von Unterricht allgemein handelt: Die SuS sollen etwas lernen.

## 5 Datenerhebung und methodisches Vorgehen

Bei der Frage, wie die Aktionsbox erprobt werden soll, gab es zunächst ein Problem zu lösen. Von der Ausrichtung her soll die Box in erster Linie verwendet werden, um die darin enthaltenen Inhalte zu wiederholen und zu festigen. Das würde sich zum Beispiel vor einer Klausur zum Thema Kräfte in der Jahrgangsstufe 11 (G9-Lehrplan) anbieten. Eine Erprobung mit einer 11. Klasse war aber leider nicht möglich, da die Box zu Beginn des Schuljahres entwickelt und erprobt wurde und das Thema Kräfte in der Regel erst im 2. Halbjahr der Jahrgangsstufe 11 behandelt wird. Bei der Erprobung musste also auf SuS der 12. und 13. Jahrgangsstufe ausgewichen werden, da diese das Thema bereits behandelt hatten, auch wenn das schon einige Zeit her war.

Insgesamt wurde die Bearbeitung der Aktionsbox mit drei Schülergruppen durchgeführt. Dabei handelte es sich um zwei Grundkurse der Jahrgangsstufe 12 und um einen Leistungskurs der Jahrgangsstufe 13. In den beiden Grundkursen befanden sich insgesamt 45 und im Leistungskurs 15 SuS. Die Auswertung konzentriert sich in erster Linie auf die beiden Grundkurse, da diese am ehesten die Zielgruppe der Box repräsentieren. Der Leistungskurs stellt lediglich eine Ergänzung dar, die bei besonders auffälligen Ergebnissen als Vergleich herangezogen werden kann.

Bei der Erprobung an sich wurden insgesamt neun Materialsätze (vergleiche Kapitel 3.4) und neun Aufgabensätze je Kurs zur Verfügung gestellt, so dass jeweils neun Zweier- und Dreier-Gruppen gebildet werden konnten. Mehr waren auf Grund der begrenzten, identischen Materialien in der Schule leider nicht möglich. Die Aufgabensätze wurden, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, in Farbe ausgegeben und konnten von den SuS beschriftet werden, so dass die Antworten direkt auf den Karten der Box festgehalten wurden. Vor Beginn der Bearbeitung wurden den SuS noch weitere Hinweise zur Verfahrensweise gegeben. Dabei ging es auch um zusätzliche kleinere Aufträge, die für die spätere Auswertung eine Rolle spielen und die die SuS erfüllen sollten. Diese Aufträge werden im Folgenden erläutert.

Um für die spätere Auswertung noch mehr verwertbares Material zu haben als die reinen Ergebnisse der Box, wurden noch zwei zusätzliche Maßnahmen

getroffen. Zum einen wurden die SuS in regelmäßigen Abständen gebeten, die aktuelle Uhrzeit auf die Karte zu schreiben, an der sie gerade arbeiten. Damit man die Zeiten gut vergleichen kann, wurde die Uhrzeit alle 15 bis 20 Minuten von mir angesagt, so dass es eine einheitliche zeitliche Einteilung gab. Mit Hilfe dieser Zeiten auf den Karten soll überprüft werden, ob es spezielle „Problem-Karten“ gibt, an denen die SuS auffallend lange gearbeitet haben. Außerdem hilft die Zeitaufteilung, in Kombination mit der fachlich richtigen oder falschen Bearbeitung der Box, zu kontrollieren, inwiefern die in Kapitel 4 angesprochene Kombination aus Schwierigkeitsgrad und Umfang der Box bereits angemessen ist.

Die zweite Maßnahme zur besseren Auswertung ist ein Fragebogen zum Erleben des Bearbeitungsprozesses<sup>4</sup> (Anhang A4), den die SuS in den letzten 5 Minuten der Bearbeitungszeit ausfüllen sollten. Dabei ging es um die Beurteilung der Box seitens der SuS. In erster Linie sollten die SuS die vorgegebenen Fragen auf dem Fragebogen ankreuzen, sie wurden aber auch dazu aufgefordert zusätzliche, konstruktive Kommentare abzugeben. Die Items des Fragebogens beziehen sich vor allem auf die Frage, ob den SuS die Bearbeitung der Aktionsbox Spaß gemacht hat und ob sie selbst das Gefühl haben, etwas dabei gelernt zu haben.

Bei der Auswertung des Fragebogens wurden die Häufigkeiten der Antworten zu jeder Frage ermittelt und festgehalten. Dabei wurden die beiden Grundkurse gemeinsam ausgewertet. Die dazugehörigen Häufigkeiten der Antworten sind in Anhang A5 zu finden. Der Leistungskurs wurde separat ausgewertet und wird auch, wie bereits erwähnt, nur in Ausnahmefällen berücksichtigt. Die Ergebnisse der Befragung des Leistungskurses befinden sich im Anhang A6.

Da es auch ein Ziel der Box ist, dass die SuS die Aufgaben nach Betrachtung der jeweils nötigen Informationen korrekt beantworten können, wurden die Lösungen der Aufgaben bei der Auswertung lediglich in zwei Kategorien aufgeteilt. Diese Kategorien könnte man am einfachsten als „richtig“ und „falsch“ bezeichnen. Es wurde also lediglich berücksichtigt, ob die SuS eine Aufgabe komplett richtig gelöst oder ob sie einen oder mehrere Fehler gemacht haben. Sollten sich bei einer Aufgabe bestimmte Fehler wiederholt haben, so

---

<sup>4</sup> Entwickelt vom Institut für Didaktik der Physik an der Justus-Liebig-Universität Gießen.

wurde das separat vermerkt. In Kapitel 6 wird später darauf gesondert eingegangen. Alle Angaben, die in der Auswertung die Anzahl der richtigen oder falschen Lösungen betreffen, beziehen sich aber auf die Unterteilung in die angesprochenen beiden Kategorien.

Wie in Kapitel 3.4 bereits gesagt, ist die Aktionsbox auf eine Bearbeitungszeit von einer Doppelstunde ausgelegt. Auf Grund der vor Beginn der Bearbeitung ergänzenden Hinweise für die Auswertung und des abschließenden Ausfüllens des Fragebogens ging ein Teil dieser Zeit verloren, so dass sich die reine Bearbeitungszeit, die die SuS zur Verfügung hatten, auf lediglich 70 bis 75 Minuten beschränkte. Speziell bei der Beurteilung des Umfangs der Box muss diese den SuS fehlende Zeit berücksichtigt werden.

Bei der Auswertung werden also sowohl die Bearbeitungen der Aktionsbox an sich herangezogen als auch die Ergebnisse des Fragebogens und die angesprochenen zeitlichen Aufteilungen. Anschließend wird versucht die in Kapitel 4 thematisierten Fragen zu beantworten und auf Grund dieser Antworten mögliche Verbesserungen für die Aktionsbox zu beschreiben.

## **6 Auswertung**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung betrachtet. Dabei werden zunächst allgemeine Beobachtungen dokumentiert, die während der Bearbeitung gemacht wurden. Anschließend werden die Bearbeitungen der Boxen in Zusammenhang mit den Bearbeitungszeiten, die die SuS auf den Karten notiert haben, herangezogen. Dabei werden die drei Teilbereiche der Box wie auch in Kapitel 3.4 separat betrachtet. Abschließend werden die Ergebnisse des Fragebogens untersucht. Sämtliche Auswertungen beziehen sich generell auf die beiden Grundkurse der Jahrgangsstufe 12. Aus diesen beiden Grundkursen gab es insgesamt 17 Bearbeitungen, aus dem Leistungskurs waren es 7. Wenn Daten des Leistungskurses aus der Jahrgangsstufe 13 herangezogen werden, wird darauf explizit hingewiesen.

### **6.1 Allgemeine Beobachtungen während der Erprobung**

Während der Erprobung der Aktionsbox konnte ich zwei sehr interessante und aufschlussreiche Beobachtungen bezüglich des Aufbaus der Box machen.

Zum einen musste ich bei zwei Erprobungen insgesamt nur fünf Fragen von SuS beantworten, die eine Aufgabe oder ähnliches nicht verstanden hatten. Dabei ging es in vier von fünf Fragen darum, wie die SuS die Box bearbeiten sollen. Diese Fragen wurden speziell zu Beginn der Bearbeitungszeit gestellt, also in der Zeit, in der die SuS sich zunächst mit der Aktionsbox vertraut machen mussten. Die restliche Zeit konnte ich die SuS in aller Ruhe beobachten, ohne noch einmal erklärend eingreifen zu müssen. Die Möglichkeit zur selbständigen Bearbeitung scheint also durch den Aufbau der Aktionsbox durchaus gegeben zu sein, wobei speziell zu Beginn der Box noch ein paar ergänzende Anweisungen gegeben werden könnten, wie die SuS die Box bearbeiten sollen.

Des Weiteren war sehr auffällig, dass die zur Verfügung gestellten Lösungskarten am Lehrerpult von den SuS kaum genutzt wurden, obwohl in der Aktionsbox immer wieder darauf verwiesen wird und den SuS an einigen

Stellen sogar dringend empfohlen wird, sich die jeweilige Lösungskarte anzuschauen. Bei den ersten beiden Erprobungen (unter Einbezug des Leistungskurses aus der Jahrgangsstufe 13) musste ich während der Bearbeitung der Box erneut auf die Nutzung der Lösungskarten hinweisen, bevor diese zumindest von einigen Gruppen genutzt wurden. Bei der dritten Erprobung, die etwas später stattfand, wies ich die SuS bereits vor der Bearbeitung noch einmal eindringlich auf die Lösungskarten hin. Das hatte ich bei den anderen Erprobungen zwar ebenfalls getan, allerdings nicht in dieser Deutlichkeit. Daraufhin wurden die Karten zwar mehr genutzt als zuvor, aber immer noch weniger als ich im Vorhinein erwartet hatte.

Anhand von einzelnen Kommentaren bei manchen Aufgaben („Ist doch klar!“, „Trivial!“, „Logisch!“) ist zu vermuten, dass sich die SuS sicher waren, dass ihre Lösungen zu den Aufgaben korrekt sind. Deswegen waren viele von ihnen vermutlich der Ansicht, dass sie die Lösungskarten nicht benötigen. Da ich aber keine Daten darüber gesammelt habe, wie oft welche Lösungskarte benutzt wurde, lässt sich die Frage, warum die SuS die Karten nicht in Anspruch genommen haben, nicht beantworten. Bei einer weiteren Erprobung wäre das ein Aspekt, der näher betrachtet werden könnte.

Zusätzlich sollte noch erwähnt werden, dass die SuS die Versuche sehr gewissenhaft und mit größtmöglicher Sorgfalt durchgeführt haben. Außerdem konnte ich zum Teil beobachten, dass die Diskussionen innerhalb der SuS-Gruppen sehr lebhaft waren.

## **6.2 Auswertung des Bearbeitungsgebiets 1: Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome**

### **Eigenschaften einer physikalischen Kraft**

Gleich zu Beginn der Auswertung kam es zu unerwarteten Ergebnissen. Speziell Aufgabe 1.1 wurde nicht so gelöst, wie ich das im Vorhinein erwartet hatte. Hier gab es in erster Linie bei den Begriffen „Motorkraft“ und „Schusskraft“ immer wieder unterschiedliche Antworten. Allerdings wurden beide Begriffe immer in dieselbe Kategorie eingeordnet. Entweder wurden beide Antworten als alltägliche Kräfte bezeichnet oder aber beide Kräfte

wurden als physikalische Kräfte angesehen. Eine Mischung aus beidem war nicht vorhanden. Ein weiterer Begriff, der von den SuS nicht eindeutig zugeordnet werden konnte, war die „Muskelkraft“. Bei diesem Begriff waren die Unterschiede zwar nicht mehr so extrem wie bei den beiden anderen Begriffen, aber trotzdem noch vorhanden.

Bei den Antworten zu Aufgabe 1.1 lassen sich zwei durchaus legitime Denk-Schemata bei den SuS erkennen. Das eine Schema argumentiert über den physikalischen *Fachbegriff*. Schusskraft, Motorkraft und Muskelkraft sind keine *Kraftbegriffe* aus der Physik und müssen deshalb alltägliche Kräfte sein. Das andere Denk-Schema bezieht sich auf die wirklichen Eigenschaften einer physikalischen Kraft, also Angriffspunkt, Richtung und Größe. All diese Aspekte lassen sich bei den drei Kräften größtenteils wiederfinden, so dass sie durchaus als physikalische Kräfte bezeichnet werden können. Da die Aufgabe vergleichsweise offen formuliert ist, lässt sich hier schwer über „richtig“ und „falsch“ urteilen, auch weil physikalische Kräfte an dieser Stelle noch nicht behandelt wurden.

Die weitere Bearbeitung der ersten Aufgaben verlief recht problemlos. Aufgabe 1.2 stellte überhaupt kein Problem dar und wurde ausnahmslos korrekt bearbeitet, bei den Aufgaben 1.3 bis 1.5 sind zumindest die Lösungen bei fast allen Bearbeitungen korrekt. Hier gab es lediglich bei der Vorgehensweise einige, nicht gewollte Unterschiede. Da die SuS das Thema bereits behandelt hatten, erinnerten sich einige von ihnen sofort wieder an die Pfeil-Darstellung von Kräften und wendeten diese an. Die Richtungen und Angriffspunkte der Kräfte wurden deshalb nicht, wie gewünscht, beschrieben, sondern direkt mit Hilfe von Pfeilen eingezeichnet. Dabei gab es auch fast ausschließlich korrekte Antworten. Lediglich in einem Fall wurde der Angriffspunkt nicht korrekt erfasst.

In Bezug auf die Pfeil-Darstellung ist es zwar erfreulich, dass die SuS sich noch daran erinnern, allerdings wird dadurch das Ziel der Aufgaben, nämlich die *Beschreibung* der Richtungen und Angriffspunkte der Kräfte mit eigenen Worten, leider nicht erreicht.

### **Wenn mehrere Kräfte wirken...**

Die Betrachtung der zeichnerischen Addition von Kräften verlief ebenfalls zunächst reibungslos. Aufgabe 1.6 wurde ausnahmslos korrekt bearbeitet und auch bei Aufgabe 1.7 kamen die SuS auf die richtige Schlussfolgerung im Bezug auf die Reihenfolge der Pfeile. Hier hatten aber einige SuS offenbar Verständnisprobleme mit der Aufgabenstellung oder hatten das Prinzip der vektoriellen Kräfte-Addition nicht richtig verstanden, da bei einigen Lösungen die Reihenfolge der Kräfte wie bei dem vorherigen Beispiel auf Karte 14 übernommen wurde. Interessanterweise kamen alle Gruppen zu dem Ergebnis, dass die Reihenfolge der Addition keine Rolle spielt, obwohl einige von ihnen die Reihenfolge im Vergleich zum vorherigen Beispiel überhaupt nicht verändert hatten. Dadurch wurde das, was eigentlich beobachtet werden sollte, nämlich dass die unterschiedlichen Reihenfolgen, in denen die Kräfte addiert werden, keine Rolle spielen, für die SuS vermutlich gar nicht erkennbar.

Karte 14 ist gleichzeitig auch die Karte, bei der sich die SuS im Durchschnitt nach 20 Minuten Bearbeitungszeit befanden. Das Spektrum reicht hier von Karte 10 bis Karte 17, ein Unterschied zwischen Zweier- und Dreiergruppen ist bei der Geschwindigkeit der Bearbeitung nicht zu erkennen.

Aufgabe 1.8 war eine der ersten Aufgaben, bei der ungefähr ein Viertel der Lösungen nicht korrekt war. Einige fehlerhafte Lösungen entstanden dabei durch ungenaues Übernehmen der Kraftpfeile (falsche Richtung oder Länge), wobei das nicht zu den falschen Lösungen dazugezählt wurde, da das Prinzip der Kräfte-Addition verstanden wurde. Vor allem gab es bei der Anordnung der Pfeile immer wieder falsche Lösungen, da manche Pfeile falsch miteinander verknüpft wurden (Pfeilspitze an Pfeilspitze bzw. Pfeilanfang an Pfeilanfang). Einige Gruppen gelangten hier auch mit Hilfe von Kräfteparallelogrammen zu einer korrekten Lösung, obwohl das wesentlich komplizierter ist und deswegen auf den Karten 11 und 12 auch nur bei zwei angreifenden Kräften betrachtet wurde. Dennoch beherrschten einige SuS diese Methode noch und wendeten sie auch korrekt an.

Aufgabe 1.9 und, zu meiner Überraschung, auch Aufgabe 1.10 wurden wiederum fast ausnahmslos korrekt gelöst. Lediglich bei Aufgabe 1.10 gab es drei Lösungen, die nicht als korrekt angesehen werden konnten. Interessanterweise traten die Fehler, wenn überhaupt, bei Aufgabe 1.10 b und

nicht, wie eher von mir erwartet, bei Aufgabe 1.10 a auf, obwohl diese eher den alltäglichen Vorstellungen (vor Behandlung des 1. Newtonschen Axioms) widerspricht („Ein Flugzeug, auf das keine resultierende Kraft wirkt, stürzt ab“). Offensichtlich haben sich die SuS hier völlig auf das Gleichgewicht der Kräfte konzentriert, was bei Aufgabe 1.10 a deutlich erkennbar ist, bei Aufgabe 1.10 b hingegen nicht sofort. Der Kontext, in dem die Kräfte angreifen, war hier für die SuS anscheinend völlig nebensächlich.

### **Die Newtonschen Axiome**

Bei der Bearbeitung der Newtonschen Axiome gibt es zwei Aufgaben, deren Bearbeitungen überwiegend falsche Ergebnisse geliefert haben. Dabei handelt es sich um Aufgabe 1.15 und vor allem Aufgabe 1.17.

Bei Aufgabe 1.15 gab es immer wieder unpassende Überlegungen bei der korrekten Zuordnung der letzten drei Situationen. Speziell die vierte Zuordnung, die im bisherigen Verlauf der Box bereits behandelt wurde und eines der typischsten Beispiele für Kräfte im Gleichgewicht darstellt, wurde in fast einem Drittel der Bearbeitungen mit dem 3. Newtonschen Axiom in Verbindung gebracht. Hier ist zu vermuten, dass dieses Beispiel generell mit den Newtonschen Axiomen verknüpft wird und sich deswegen viele SuS für diese Lösung entschieden haben, ohne zu bedenken, dass diese Situation mit einem anderen Axiom, nämlich dem Ersten, assoziiert wird. Aber auch die dritte und die fünfte Zuordnung wurden häufig nicht richtig beantwortet. Insgesamt waren hier sieben von 16 Lösungen nicht korrekt, beinhalteten also mindestens eine falsche Zuordnung. Eine Gruppe hat es aus Zeitgründen nicht bis zur Bearbeitung dieser Aufgabe geschafft. Hier sollte noch erwähnt werden, dass diese Aufgabe im Vergleich auch im Leistungskurs nicht den Erwartungen gemäß bearbeitet wurde. Während dort die übrigen Aufgaben fast ausnahmslos richtig beantwortet wurden, gab es bei dieser Aufgabe immerhin zwei nicht korrekte Lösungen, was bei 7 Bearbeitungen insgesamt verhältnismäßig viel ist.

Bei Aufgabe 1.17 traten die Schwierigkeiten der SuS noch deutlicher zutage als bei Aufgabe 1.15. In den Fällen, in denen die SuS ihre Lösung zu dieser Aufgabe schriftlich festgehalten haben (was leider nicht explizit gefordert wurde und deshalb auch nicht von allen Gruppen gemacht wurde), gab es keine

einzigste korrekte Antwort. Dieses Ergebnis war sowohl in den Grund- als auch im Leistungskurs zu beobachten. Viele SuS versuchten die vorgestellte Bemerkung zu rechtfertigen, indem sie argumentierten, dass nur etwas vergessen wurde. Drei Beispiel-Antworten sind im Folgenden aufgeführt:

- „Die Wechselwirkungskraft muss vom Menschen umgesetzt werden. Der Mensch muss Reibungskraft aufwenden, damit er sich nicht selbst von seiner Position wegdrückt.“
- „Die Gegenkraft zur Kraft des Schülers übt der Boden, auf dem er steht, aus.“
- „Er wirkt die Kraft auf den Boden aus, um den Schrank zu bewegen.“

An diesen Aussagen erkennt man, dass die SuS Reibungskräfte noch nicht in den richtigen Zusammenhang bringen können und dass sie sich der eigentlichen Problematik der Situation nicht bewusst sind. Dass in der vorgestellten Bemerkung ein eindeutiger Fehler vorhanden ist, der im Vorfeld (Aufgabe 1.15) bereits thematisiert wurde, wurde von keiner Gruppe erkannt. Hier war die bereits fehlerhafte Bearbeitung von Aufgabe 1.15 ein großes Problem, das die Bearbeitung zusätzlich erschwerte. Im Vorfeld wurde davon ausgegangen, dass die Problematik der typischen Verwechslung von Kräften im Gleichgewicht mit der Wechselwirkungskraft gemäß dem 3. Newtonschen Axiom durch die Bearbeitung und Kontrolle von Aufgabe 1.15 beseitigt wurde. Da es aber bereits bei Aufgabe 1.15 eine nicht zu erwartende Anzahl an falschen Lösungen gab, waren die Voraussetzungen für die korrekte Bearbeitung von Aufgabe 1.17 nicht mehr gegeben. Allerdings muss hier auch über den Schwierigkeitsgrad von Aufgabe 1.17 nachgedacht werden, da auch Gruppen, die Aufgabe 1.15 korrekt bearbeitet haben, bei Aufgabe 1.17 zu keiner angemessenen Lösung gekommen sind. Da die Aufgabe an sich keine große Relevanz für die weitere Bearbeitung der Box hat, gab es hierzu leider auch keine Musterlösung, so dass bei vielen SuS die falsch entwickelten Vorstellungen zu dieser Aufgabe nicht korrigiert wurden.

Bei der Bearbeitung von Aufgabe 1.12 kam es ebenfalls zu fachlich nicht angemessenen Vorstellungen, allerdings nicht in dem Maße wie bei den beiden zuvor erwähnten Aufgaben. Die falschen Lösungen zu dieser Aufgabe erstrecken sich aber ebenfalls über die Grund- und den Leistungskurs. Hier gab es zwei auffällige Fehlerquellen. Zwei Gruppen hatten offensichtlich Schwierigkeiten mit dem Begriff „senkrecht“, da einige Aussagen darauf schließen lassen, dass der Kraftstoß genau entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung angesetzt wurde (Antwort: „Die Bewegung wird langsamer.“). Die zweite Fehlerquelle bezieht sich auf die bereits in Kapitel 3.2 angesprochene Schülervorstellung, dass eine Geschwindigkeit auch immer gleichbedeutend mit einer Kraft ist. In vier weiteren Gruppen wurde mit der Kraft argumentiert. Allerdings wurde hier die ursprüngliche Bewegung mit einer Kraft gleichgesetzt, so dass Antworten der Form „Die beiden Kräfte überlagern sich und es entsteht eine resultierende Kraft, die diagonal verläuft.“ gegeben wurden. Daran erkennt man sehr deutlich, dass die SuS hier nicht explizit zwischen Geschwindigkeit und Kraft unterscheiden konnten.

Da mir hier im Vorfeld bewusst war, dass bei der Durchführung des Versuchs durchaus etwas anderes zu sehen sein könnte als das, was damit beabsichtigt wird, wurde gezielt auf die Überprüfung mit der angegebenen Lösungskarte gedrängt, im Gegensatz zu anderen Aufgaben, bei denen die Lösungen nur zur Kontrolle angeboten werden. Da die SuS aber, wie in Abschnitt 6.1 bereits beschrieben, die Lösungskarten kaum nutzten, wurden die eben angesprochenen Vorstellungen leider nicht immer korrigiert. Es ist also davon auszugehen, dass einige SuS die weiteren Aufgaben mit einer unangemessenen Vorstellung im Bezug auf das 2. Newtonsche Axiom bearbeitet haben.

Bei den weiteren Aufgaben zu den Newtonschen Axiomen gab es ansonsten keine nennenswerten Auffälligkeiten. An einigen Stellen konnte man erkennen, dass viele SuS sich noch an einzelne Inhalte aus der Jahrgangsstufe 11 erinnerten, da des Öfteren bereits vor der eigentlichen Bearbeitung die Lösungen notiert wurden. Ein gutes Beispiel hierfür ist Karte 26, auf der die Vektoren-Schreibweise der Grundgleichung der Mechanik angesprochen, aber noch nicht näher betrachtet wird. Etwa die Hälfte aller Gruppen konnte direkt angeben, dass es sich bei den Pfeilen um Vektor-Pfeile handelt und dass durch sie die Richtung der Kraft in der Gleichung mit berücksichtigt wird.

Überrascht war ich von der überwiegend korrekten Bearbeitung von Aufgabe 1.16, die trotz des Schwierigkeitsgrades und der eigentlich nicht geglückten Vorarbeit (Aufgabe 1.12) erzielt wurde. Auch von der Bearbeitung von Aufgabe 1.14 war ich beeindruckt, da hier ausschließlich korrekte Lösungen abgegeben wurden.

Bei der Betrachtung der zeitlichen Aufteilung stellt man eindeutig fest, dass dieser Abschnitt der Box am meisten Zeit beansprucht, wie es im Vorhinein auch gedacht war. Nach 40 Minuten befanden sich die SuS im Mittel bei den Karten 21 und 22, wobei es hier eine Streuung von Karte 17 bis Karte 27 gibt. Diese Streuung war natürlich zu erwarten und bleibt auch bei der weiteren Bearbeitung der Box erhalten. Nach 55 Minuten reicht sie von Karte 23 bis Karte 33, wobei der Mittelwert in etwa bei Karte 27, also immer noch im Bereich der Newtonschen Axiome, liegt. An dieser Stelle wird auch der Unterschied zum Leistungskurs immer deutlicher, da sich die Gruppen aus der Jahrgangsstufe 13 nach 55 Minuten im Durchschnitt bereits bei Karte 31 befanden.

### **6.3 Auswertung des Bearbeitungsgebiets 2: Reibungskräfte**

#### **Verschiedene Arten von Reibungskräften**

Ab diesem Abschnitt beziehen sich die Ergebnisse der Auswertung auf eine geringere Datenbasis, da es bereits Gruppen gab, die diesen Abschnitt aus Zeitgründen gar nicht mehr bearbeitet haben. Das zeigt auch die zeitliche Aufteilung der Bearbeitungen, da nach 70 Minuten, die den SuS zur Verfügung standen, die Gruppen im Schnitt bei Karte 33 angelangt waren. Die Streuung wird hier noch deutlicher als zuvor und reicht von Karte 25 bis Karte 43, also dem Ende der Box. Um trotzdem repräsentative Ergebnisse zu bekommen, werden die Lösungen des Leistungskurses aus der Jahrgangsstufe 13 ab sofort etwas mehr berücksichtigt, da sich die Gruppen aus dem Leistungskurs im Schnitt bis Karte 38 vorarbeiten konnten. Es wird aber weiterhin explizit darauf hingewiesen, wenn diese Daten verwendet werden.

Bei der Auswertung dieses Abschnitts wurde noch deutlicher, dass sich die SuS doch an sehr viele Inhalte aus der Jahrgangsstufe 11 erinnern konnten. Dies

konnte man besonders gut auf Karte 30 erkennen, da die SuS hier nicht nur Beispiele angegeben haben, sondern auch gleich die jeweils wirkende Art der Reibungskraft dazu, obwohl diese erst auf Karte 31 „eingeführt“ werden. Auf Karte 33 wurden ebenfalls ausnahmslos die korrekten Antworten notiert, noch bevor der dazugehörige Versuch durchgeführt wurde.

Auch bei den folgenden Karten gab es, wenn überhaupt, höchstens eine nicht korrekte Bearbeitung (im Grundkurs). Hier scheint es also so zu sein, dass die intensive Wiederholung der Reibungsarten fast überflüssig war, da es sich dabei scheinbar um einen Aspekt des Themengebiets „Kraft“ handelt, den die SuS sehr gut verinnerlichen. Allerdings muss man hier auch wieder bedenken, dass, wie oben bereits angesprochen, nicht alle Gruppen diese Aufgaben bearbeitet haben, sondern nur die, die die Box vergleichsweise zügig bearbeiten konnten. Bei diesen Gruppen ist natürlich gleichzeitig auch ein besseres Verständnis des Themas zu vermuten, das die schnelle Bearbeitung überhaupt erst möglich macht. Bei einer weiteren Erprobung, bei der es vielleicht möglich ist den SuS mehr Zeit zu geben, wäre es also sehr interessant zu sehen, ob auch die etwas langsamer arbeitenden Gruppen diesen Bereich problemlos und korrekt bearbeiten. Eine solche Erprobung war im Rahmen dieser Arbeit aber leider nicht möglich, da die SuS immer nur für eine Doppelstunde zusammenhängend arbeiten konnten.

### **Abhängigkeit der Größe von Reibungskräften**

Spätestens ab diesem Abschnitt der Box wird die Auswertung sehr schwierig und verliert an Aussagekraft, da es nur noch sehr wenige Bearbeitungen gab, auf Grund der vorangeschrittenen Zeit. Allerdings sind die Bearbeitungen, die noch gemacht wurden, durchweg korrekt und es traten keine auffälligen Schwierigkeiten auf. Diese Ergebnisse beziehen sich mittlerweile aber fast ausschließlich auf den Leistungskurs, da es in den Grundkursen insgesamt nur drei Bearbeitungen dieses Bereiches gab.

### **Abschließende Aufgabe**

Auch hier gab es logischerweise nur noch einzelne Lösungen von den schneller arbeitenden Gruppen, um genau zu sein drei, wobei zwei aus dem Leistungskurs und eine aus dem Grundkurs stammten. Allerdings wurde bei

diesen Bearbeitungen deutlich, dass auch diese schneller arbeitenden Gruppen den bisher behandelten Stoff noch nicht sicher beherrschten. Speziell die Vernachlässigung der Gewichtskraft schien die SuS irritiert zu haben. Sie haben die Gewichtskraft trotzdem eingezeichnet und standen dann offenbar vor der Frage, warum das Auto nicht nach unten beschleunigt wird. Das erkennt man daran, dass die Gewichtskraft anschließend wieder durchgestrichen wurde, da man auf diese Frage anscheinend keine Antwort finden konnte. Hier spielt wiederum das Vorwissen der SuS eine Rolle, in diesem Fall beeinflusst es die Bearbeitung aber negativ. Die Gewichtskraft wurde in der Box nicht näher betrachtet, kann also nicht vorausgesetzt werden. Trotzdem verfügen einige SuS noch über dieses Wissen und wenden es dementsprechend an.

In Bezug auf die Reibungsarten gab es keine großen Probleme und auch Aufgabe 2.5 a wurde ausnahmslos korrekt gelöst. Diese Aufgabe hatte ich für den schwierigsten Teil gehalten, da die SuS schließlich die wirkenden Kräfte einzeichnen sollten. Da hier aber keine Kräfte wirken (wenn die Gewichtskraft vernachlässigt wird), hatte ich die Befürchtung, dass einige SuS etwas Falsches einzeichnen, nur um etwas einzuzeichnen und somit die Aufgabenstellung zu erfüllen. Diese Befürchtungen erwiesen sich aber als unbegründet. Im Gegensatz dazu steht Aufgabe 2.5 c, die ich, auch auf Grund der zuvor gegebenen Hinweise, als nicht ganz so schwierig eingeschätzt hatte. Hier gab es aber doch zwei falsche Bearbeitungen, in denen die wirkenden Kraftpfeile gleich lang gezeichnet wurden, obwohl das Auto beschleunigt wird, also eine resultierende Kraft wirken muss. Das Verständnis des 1. Newtonschen Axioms war hier also offensichtlich noch nicht in dem Maße vorhanden, wie ich es im Vorfeld erhofft hatte. Diese Ergebnisse sind aber in keiner Weise aussagekräftig, da wie gesagt nur drei Bearbeitungen durchgeführt wurden.

#### **6.4 Auswertung des Bearbeitungsgebiets 3: Ergänzende Aufgaben**

Eine Auswertung dieses Bearbeitungsgebiets war leider nicht möglich, da es nur eine einzige Gruppe gab, die überhaupt damit begonnen hat, an diesem Bereich zu arbeiten. Bei einer erneuten Erprobung, in der den SuS mehr Zeit

gegeben werden kann, sollte der Fokus also vor allem auf diesen ergänzenden Aufgaben und auf dem Ende des Bearbeitungsgebiets 2 liegen.

## **6.5 Auswertung des Fragebogens**

Wie in Kapitel 5 bereits erwähnt, sollten die SuS am Ende der Bearbeitungszeit einen Fragebogen ausfüllen, in dem sie ihre Meinung über die Aktionsbox deutlich machen konnten. Die genauen Ergebnisse der Auswertung sind in den Anhängen A5 und A6 zu finden (die beiden Grundkurse wurden gemeinsam betrachtet, der Leistungskurs separat). Insgesamt wurde die Box im Leistungskurs minimal besser bewertet als im Grundkurs. Im Folgenden wird auf die aussagekräftigsten Ergebnisse kurz eingegangen. Hierbei stehen die Ergebnisse aus dem Grundkurs erneut im Vordergrund.

Auffällig sind zunächst die Fragen, bei denen sich 30 oder mehr SuS für die Antwort „trifft voll zu“ oder „trifft gar nicht zu“ entschieden haben. Hier erkennt man sehr deutlich, dass die SuS die Aktionsbox auf jeden Fall als angenehme Abwechslung empfanden und ihnen auch die Tatsache, dass die Box in Gruppenarbeit betrachtet wurde, positiv aufgefallen ist. Wie zu erwarten war, würden sich die SuS aber in ihrer Freizeit nicht mit einer solchen Box beschäftigen.

Des Weiteren fällt auf, dass den SuS die Bearbeitung der Box nach eigenen Angaben Spaß gemacht hat, da ungefähr drei Viertel aller SuS positiv auf diese Frage geantwortet haben. Einen Widerspruch dazu stellen die Antworten auf die Frage dar, ob sie nach einer Schulstunde keine Lust mehr hatten weiter zu arbeiten. Hier geht die Tendenz eher in die Richtung, dass die SuS nach einer Schulstunde eben keine Lust mehr hatten, obwohl die Bearbeitung ihnen nach eigenen Angaben Spaß gemacht hat. Hier muss ergänzend bemerkt werden, dass die Bearbeitung auf Grund des Stundenplans nachmittags zwischen 14 und 17 Uhr stattfand. Zu dieser Zeit ist die Motivation der SuS generell sehr niedrig, auch wenn sie etwas bearbeiten, was ihnen Spaß macht.

Etwas überraschend für mich war die Beantwortung der Frage, ob die SuS die Box als Vorbereitung auf eine Klassenarbeit nutzen würden. Die Antworten

waren hier eher ausgeglichen, was etwas enttäuschend ist, angesichts der Tatsache, dass die Box unter anderem für diesen Zweck entwickelt wurde.

Letztlich wird durch die Antworten der SuS noch deutlich, dass sie selbst das Gefühl hatten, mit der Box gut zurecht zu kommen und die darin enthaltenen Inhalte gut verstanden zu haben. Die Hälfte der SuS ist sogar der Ansicht, bei der Box nicht so viel dazugelernt zu haben. Gründe hierfür könnten entweder sein, weil sie die Inhalte nicht verstanden haben oder, was auf Grund der Antworten der SuS näher liegt, weil sie das Gefühl hatten, dass sie das meiste schon vorher gewusst haben. Ansonsten schienen die SuS mit der Anzahl der erklärenden Beispiel und auch der Stoffmenge durchaus einverstanden gewesen zu sein.

Was den SuS ebenso aufgefallen ist wie mir und was auch durch den Wunsch nach einer Aufteilung der Box auf mehrere Stunden sowie ergänzende, freie Kommentare unter dem Fragebogen deutlich wurde („Leider viel zu wenig Zeit, dadurch Drucksituation!“), ist, dass der Umfang der Box offensichtlich für 90 Minuten zu groß ist. Allerdings sollte man nicht vergessen, dass den SuS lediglich 70 bis 75 Minuten für die Bearbeitung zur Verfügung standen. Wären wirklich die angesetzten 90 Minuten für die Bearbeitung ausgenutzt worden, hätte sich dieser Eindruck womöglich etwas entzerrt.

Die restlichen freien Kommentare waren größtenteils positiver Natur. Vor allem der große Aufwand und die Tatsache, dass der Aufgabensatz in Farbe ausgedruckt wurde, wurden lobend erwähnt. Es gab aber auch weitere konstruktive Hinweise, zum Beispiel, dass man in der Box durchaus mehr „verblüffende“ Experimente und Phänomene betrachten könnte. Hierbei müssen aber auch immer die experimentellen Möglichkeiten der SuS sowie der Umfang des vorhandenen Experimentiermaterials berücksichtigt werden.

## **6.6 Antworten auf die Fragestellungen aus Kapitel 4**

**Frage 1: Ist die Aktionsbox so konstruiert, dass die SuS in der Lage sind, sie komplett selbständig zu bearbeiten?**

Diese Frage lässt sich durchaus mit „Ja“ beantworten, da die Beobachtungen aus Kapitel 6.1 nach anfänglichen Unsicherheiten absolut dafür sprechen.

Speziell nach der Betrachtung der ersten Karten war die restliche Bearbeitung absolut selbständig möglich, nachdem zu Beginn kurze Hinweise gegeben wurden.

**Frage 2: Ist die Kombination aus Schwierigkeitsgrad und Umfang der Aktionsbox angemessen?**

Die Antwort auf diese Frage lautet wohl eher „Nein“, was im Vorfeld auch zu erwarten war. Für den Leistungskurs scheint der Umfang der Box in Kombination mit dem Schwierigkeitsgrad durchaus angemessen zu sein. Die Box wurde aber eher für den Gebrauch im Grundkurs konzipiert, für den die Bearbeitung aber offensichtlich zu lange dauert. Offensichtlich scheint auch an einigen Stellen der Schwierigkeitsgrad etwas zu hoch zu sein (siehe Aufgabe 1.17, vergleiche Kapitel 6.2).

**Frage 3: Ist es mit einer solchen Aktionsbox überhaupt möglich, fachlich unangemessene Schülervorstellungen zu korrigieren?**

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse muss hier eher mit „Nein“ geantwortet werden. Allerdings bezieht sich diese Antwort speziell auf diese Aktionsbox in ihrer momentanen Fassung (siehe Anhang A1). Speziell Aufgabe 1.17 hat gezeigt, dass zum Beispiel die typischen Schülervorstellungen in Bezug auf das 3. Newtonsche Axiom (siehe Kapitel 3.2) nicht korrigiert werden konnten und dadurch die korrekte Bearbeitung dieser Aufgabe erschwert, oder in diesem Fall sogar verhindert haben. Keine SuS-Gruppe hatte an der in Aufgabe 1.17 dargestellten Aussage, die eindeutig mit den typischen Schülervorstellungen übereinstimmt, etwas zu bemängeln. Das zeigt, dass diese Schülervorstellung zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieser Aufgabe noch bei allen SuS vorhanden war.

Die Antwort auf diese Frage bezieht sich aber, wie bereits gesagt, speziell auf diese Aktionsbox. Ob die Schülervorstellungen mit einer überarbeiteten Fassung dieser Box oder mit einer völlig anders entwickelten Aktionsbox zu korrigieren sind, muss in den jeweiligen Fällen explizit erprobt werden.

**Frage 4: Haben die SuS Spaß bei der Bearbeitung der Aktionsbox?**

Diese Frage kann man durchaus mit „Ja“ beantworten, wobei die etwas widersprüchlichen Antworten der SuS gewisse Zweifel daran entstehen lassen, dass die Box ihnen wirklich Spaß gemacht hat (siehe Kapitel 6.5). Eine andere Grundlage als die Antworten der SuS auf den Fragebogen gibt es in diesem Fall aber leider nicht, weswegen man sich an dieser Stelle darauf beschränken muss.

**Frage 5: Haben die SuS durch die Bearbeitung der Aktionsbox etwas gelernt?**

Wenn man auch hier die Antworten der SuS auf den Fragebogen zugrunde legt, kann man auch diese Frage mit „Ja“ beantworten. Allerdings sprechen einzelne Lösungen in den Aktionsboxen eher dagegen. Es wäre hilfreich gewesen, wenn mehr Gruppen Aufgabe 2.5 gelöst hätten, da diese Aufgabe die meisten relevanten Inhalte, die in der Box behandelt wurden, berücksichtigt. Eine Auswertung der Lösungen zu dieser Aufgabe hätte eher Aufschluss darüber gegeben, ob die SuS bei der Bearbeitung etwas über das Thema gelernt haben. Auf Grund der vorliegenden Belege lässt sich diese Frage aber leider nicht eindeutig beantworten.

## **7 Möglichkeiten zur Verbesserung der Aktionsbox**

Anhand der in Kapitel 6 gewonnenen Erkenntnisse werden nun einige Möglichkeiten angesprochen, wie die Aktionsbox weiter verbessert werden könnte, so dass sie den in Kapitel 3.3 gestellten Ansprüchen gerecht wird. Dabei werden die Inhalte, wie bereits in Kapitel 3.4 und bei der Auswertung, getrennt nach den Bearbeitungsgebieten betrachtet.

### **7.1 Möglichkeiten zur allgemeinen Verbesserung der Aktionsbox**

In Bezug auf die allgemeinen Beobachtungen gibt es drei Aspekte, an denen noch Verbesserungen möglich sind. Zum einen sollte den SuS vor der Bearbeitung noch einmal klar gemacht werden, dass es bei der Box in erster Linie darauf ankommt, dass sie über die angesprochenen Inhalte diskutieren und sich austauschen. Damit das aber selbständig geschieht, müssten vor allem zu Beginn der Box noch klarere Anweisungen gegeben werden, was die SuS in den einzelnen Situationen genau tun sollen. Einzelne Fälle werden in den nächsten Kapiteln noch einmal direkt angesprochen.

Außerdem muss den SuS im Vorfeld noch einmal stärker verdeutlicht werden, dass die Nutzung der Lösungskarten zwar auf freiwilliger Basis geschieht, dass es aber sehr sinnvoll ist sich die einzelnen Lösungskarten zur Sicherheit anzuschauen.

Die gerade genannten Verbesserungsmöglichkeiten betreffen nicht zwingend die Box selbst, sondern auch die Vorgehensweise bei der Durchführung seitens der Lehrperson. Man könnte diese weiteren Hinweise auf Karte 2 ergänzend hinzufügen, so dass sie von allen SuS noch einmal gelesen werden können. In schriftlicher Form ist es aber schwierig, den Hinweisen den nötigen Nachdruck zu verleihen, so dass die Lehrperson auf jeden Fall vor der Bearbeitung der Box noch einmal explizit und eindringlich auf diese Aspekte hinweisen sollte. Bei der Erprobung der Box habe ich diese Hinweise zwar auch gegeben, aber eben nicht mit dem entsprechenden Nachdruck. Dementsprechend kam es zu anfänglichen Rückfragen bezüglich der Durchführung und zur Nicht-Nutzung der Lösungskarten.

Der dritte Aspekt bezieht sich auf das schriftliche Festhalten der Lösungen seitens der SuS. Bei einigen Aufgaben bekommen die SuS nicht explizit die Anweisung, ihre Antworten aufzuschreiben, sondern lediglich über die angesprochenen Inhalte zu diskutieren oder sich mögliche Antworten zu überlegen. Die SuS folgen diesen Anweisungen und halten demnach ihre Antworten eben nicht schriftlich fest, sondern bearbeiten die Aufgaben nur mündlich. Dadurch ist es im Nachhinein sehr schwer festzustellen, ob eine Aufgabe von den SuS wirklich bearbeitet wurde und wenn ja, ob sie richtig beantwortet wurde. Das war speziell für die Auswertung der Erprobung sehr hinderlich, da zu einigen Aufgaben nicht genügend schriftliche Lösungen vorhanden waren. Speziell bei den Aufgaben 1.5, 1.12 und 1.17 trat dieses Problem verstärkt auf. Viele Gruppen haben diese Aufgaben (wenn überhaupt) nur mündlich bearbeitet und so war es für mich nicht nachvollziehbar, ob die darin enthaltenen Inhalte wirklich verstanden wurden. Das ist bei den Aufgaben 1.12 und 1.17 umso ärgerlicher, da diese beiden Aufgaben, wie in Kapitel 6.2 dargestellt, nicht so bearbeitet wurden, wie ich das im Vorfeld erwartet hatte. Hier konnte ich mich bei der Auswertung nur auf die (wenigen) schriftlichen Antworten beziehen. Ob die anderen Gruppen, die ihre Antworten nicht schriftlich festgehalten haben, ähnliche fachlich unangemessene Lösungen zu den Aufgaben hatten, lässt sich leider so nicht mehr feststellen.

Für die Box selbst wäre es also auf jeden Fall empfehlenswert, bei den entsprechenden Aufgaben noch zusätzliche schriftliche Hinweise zur Durchführung zu geben. Außerdem sollte bei den Aufgaben, deren Lösungen man hinterher gerne kontrollieren möchte um sicherzugehen, dass die SuS die Inhalte verstanden haben, explizit verlangt werden, dass die SuS ihre Antworten aufschreiben.

Dabei kommt es natürlich auch darauf an, wie Box verwendet wird. Wenn die Bearbeitungen der SuS anschließend durch die Lehrperson kontrolliert werden sollen, sind schriftliche Lösungen unverzichtbar. Dient die Box den SuS aber, so wie es eigentlich auch gedacht ist, als Selbstkontrolle, die sie im Anschluss an die Bearbeitung behalten, so reichen die momentanen „mündlichen“ Antworten größtenteils vollkommen aus. In diesem Kapitel werden die Verbesserungen diesbezüglich aber eher aus Sicht einer weiteren Erprobung betrachtet, weswegen schriftliche Lösungen anzustreben sind.

In Bezug auf die Lösungskarten gibt es noch eine Möglichkeit, die eine weitere Erprobung wert wäre und über die ich bei der Erarbeitung der Box ebenfalls nachgedacht habe. Man könnte die Lösungen nicht auf extra Lösungskarten anbieten, sondern einfach mit in die Aktionsbox integrieren. Dadurch würden die SuS nach der Bearbeitung einer Aufgabe zwangsläufig mit der korrekten Lösung konfrontiert und könnten, ohne sich die Karte extra holen zu müssen, ihre Lösung auf einen Blick kontrollieren. Der Nachteil daran ist, dass die SuS dadurch sehr leicht in Versuchung geführt werden, sich die Lösung vor Bearbeitung der Aufgabe direkt anzuschauen und zu übernehmen. Dadurch würde ein Hauptziel der Box, nämlich dass die SuS miteinander über die Physik diskutieren, nicht mehr erreicht werden. Durch die Lösungskarten am Lehrerpult wird zwar nicht ausgeschlossen, dass die SuS sich die Lösungen vor der Bearbeitung der Aufgaben holen, aber die Wahrscheinlichkeit dafür ist doch wesentlich geringer. Das war auch letztlich der Grund, warum ich mich für die Lösungskarten und gegen die in der Box integrierten Lösungen entschieden habe.

## **7.2 Möglichkeiten zur Verbesserung im Bearbeitungsgebiet 1: Kräfte im Allgemeinen und die Newtonschen Axiome**

### **Eigenschaften einer physikalischen Kraft**

Beim Einstieg in die Box haben sich ja bereits nicht erwartete Lösungen der SuS gezeigt. Aufgabe 1.1 würde ich aber prinzipiell nicht ändern, sondern eher um Zusatzfragen ergänzen, die in die Richtung der schwer zuzuordnenden Kräfte gehen. Diese Fragen würden darauf abzielen, dass die SuS noch einmal genauer überlegen, welche Kräfte ihrer Meinung nach eindeutig zuzuordnen sind und bei welchen sie sich womöglich selbst unsicher sind. Als Ergänzung dazu könnte dann Aufgabe 1.1 am Ende der Box noch einmal aufgegriffen werden. Die SuS sollen die Aufgabe dann noch einmal, nun aber unter Berücksichtigung des erneut Gelernten, bearbeiten und die Lösungen miteinander vergleichen. Im Idealfall würde den SuS die Zuordnung am Ende der Box leichter fallen und auch eindeutig sein.

Die Aufgaben 1.3 bis 1.5 sind solche Aufgaben, bei denen der genaue Arbeitsauftrag noch einmal explizit hervorgehoben werden sollte und, im Fall von Aufgabe 1.5, die SuS dazu aufgefordert werden sollten, ihre Lösung aufzuschreiben. Nach Möglichkeit sollten hier die SuS auch explizit davon abgehalten werden, die Kräfte sofort in Form der Pfeil-Darstellung einzuzeichnen. Dabei sollte beachtet werden, dass diese Darstellungsmöglichkeit nicht explizit genannt wird, da sie in der Box noch nicht behandelt wurde und deshalb für Verwirrung sorgen könnte, wenn sich die SuS nicht daran erinnern. Eine ergänzende Bemerkung in der folgenden Form wäre hier vermutlich vollkommen ausreichend: *„Sie erinnern sich vielleicht noch an Möglichkeiten, Kräfte darzustellen. Diese Darstellungen sollen Sie in dieser Aufgabe aber noch nicht verwenden.“* Die SuS, die sich noch an die Pfeil-Darstellung erinnern, wissen dann, dass sie diese noch nicht anwenden sollen. Gleichzeitig werden die SuS, die sich nicht mehr erinnern können, aber nicht unnötig verwirrt.

#### **Wenn mehrere Kräfte wirken...**

Wie in Kapitel 6.2 beschrieben, gab es in diesem Bereich speziell bei Aufgabe 1.7 viele unerwartete Lösungen, die nicht den Sinn der Aufgabe erfüllten. Um dem vorzubeugen ist hier vermutlich eine weitere Beispiel-Lösung notwendig, in der die Kräfte noch einmal in einer anderen Reihenfolge addiert werden. So können die SuS noch einmal im Detail verfolgen, was genau mit der unterschiedlichen Reihenfolge gemeint ist und wie sich diese auf den Lösungsweg auswirkt. Anschließend würde dann Aufgabe 1.7 folgen, mit der Frage, ob das wirklich immer gilt. So werden die SuS noch einmal schrittweise an die Vorgehensweise bei der Kräfte-Addition herangeführt und können sich an dem zusätzlichen Beispiel orientieren.

Zu den Aufgaben 1.8 und 1.10 wäre es vielleicht auch noch einmal hilfreich, wenn den SuS ein entsprechendes Beispiel zur Vorgehensweise zur Verfügung gestellt werden würde. Dadurch würden die Additions-Regeln noch weiter gefestigt werden und könnten anschließend in den Aufgaben geübt werden. Allerdings ist diese Änderung nicht zwingend erforderlich, da es vergleichsweise wenig unangemessene Lösungen gab.

## **Die Newtonschen Axiome**

Bei diesem Abschnitt gibt es wieder einige Aufgaben, bei denen die SuS oft keine Lösungen notiert haben. Hier wäre es also auf jeden Fall sinnvoll die SuS aufzufordern, bei allen Aufgaben eine schriftliche Lösung zu erstellen, damit sowohl die Lehrperson als auch die SuS diese Lösungen überprüfen können. Das betrifft speziell die Aufgaben 1.11, 1.12 und 1.17 sowie Aufgabe 1.13, wobei hier das Einzeichnen der jeweiligen Wechselwirkungskraft ausreichen würde. Diese Aufgaben sollten also auf jeden Fall um dementsprechende Bemerkungen ergänzt werden.

Des Weiteren muss Aufgabe 1.12 unbedingt insofern angepasst werden, dass die SuS noch genauere Angaben erhalten, wie sie den Versuch genau durchführen müssen. Außerdem wäre die Abbildung aus Aufgabe 1.16 bereits an dieser Stelle sehr hilfreich, damit die SuS genau sehen können, wie sie die Kugel im Vergleich zu ihrer Bewegungsrichtung anstoßen sollen. Damit im Versuch auch das zu sehen ist, was gewünscht wird, müssen die SuS genau angewiesen werden, dass die ursprüngliche Bewegung vergleichsweise schnell und der Stoß im Vergleich dazu eher schwach sein soll. Wenn die SuS im Versuch auch wirklich das beobachten können, was beabsichtigt ist, sollte das das Verständnis der Situation enorm begünstigen. Zusätzlich dazu muss natürlich, wie in Abschnitt 7.1 bereits gesagt, noch einmal explizit auf die zur Aufgabe gehörende Lösungskarte verwiesen werden, damit wirklich alle SuS die in der Aufgabe angesprochene wichtige Schlussfolgerung mitnehmen.

Bei Aufgabe 1.15 kann an der eigentlichen Aufgabe nicht viel geändert werden. Hier muss eher im Vorfeld noch verdeutlicht werden, worin der Unterschied zwischen den angesprochenen Kräften liegt. Die SuS werden vor der Bearbeitung der Aufgabe noch einmal aufgefordert, diese Unterschiede auf den angegebenen Karten zu überprüfen. Ob die SuS an dieser Stelle aber die richtigen Unterschiede herausfinden, wird nicht weiter kontrolliert. Hier wäre es sinnvoll, eine weitere Lösungskarte anzubieten, auf der die SuS die Unterschiede noch einmal zur Sicherheit überprüfen können.

Bei Aufgabe 1.17 ist mir bewusst, dass es sich um eine der schwersten Aufgaben in der gesamten Aktionsbox handelt. Andererseits bin ich trotz allem überzeugt, dass sie mit dem in der Box gelernten Vorwissen korrekt bearbeitet werden kann. Eine bessere Bearbeitung von Aufgabe 1.15 wäre hier bereits ein

großer Fortschritt. Ansonsten sollte man, auch wenn die Aufgabe für die weitere Bearbeitung der Box keine Relevanz hat, auf jeden Fall eine Lösungskarte anbieten, auf der noch einmal explizit erläutert wird, wo in der dargestellten Argumentation der Fehler liegt.

### **7.3 Möglichkeiten zur Verbesserung im Bearbeitungsgebiet 2: Reibungskräfte und im Bearbeitungsgebiet 3: Ergänzende Aufgaben**

Auf Grund der wenigen Bearbeitungen in diesen Bereichen und der daraus resultierenden geringen Datenbasis ist es leider nicht möglich, für diese Bereiche begründete Verbesserungsvorschläge zu machen. Auch die Bearbeitungen, die abgegeben wurden, geben keinen Aufschluss über mögliche Probleme, die bei der Bearbeitung auftreten könnten, da sie fast ausnahmslos korrekt waren. Lediglich bei Aufgabe 2.5 war Verbesserungspotential zu erkennen, allerdings ist da eine Beurteilung auf Grund von nur drei abgegebenen Lösungen nicht sehr aussagekräftig, da keine sich wiederholenden Fehler beobachtet wurden. Diese Bereiche sollten also bei einer weiteren Erprobung intensiv untersucht werden, sofern die SuS die Bearbeitung dieser Gebiete zeitlich schaffen.

## 8 Résumé

Im Rahmen dieser Arbeit und der damit verbundenen Erprobung der Aktionsbox konnte ich viele neue Erkenntnisse gewinnen, was man bei der Entwicklung einer solchen Lerneinheit oder von Unterricht im Allgemeinen beachten muss. Auch der damit verbundene immense Arbeitsaufwand wurde bei der Entwicklung der Box sehr deutlich.

Auch wenn der theoretische Hintergrund zur Entwicklung einer solchen Lerneinheit im Rahmen dieser Arbeit nur wenige Seiten einnimmt, so war dieser Teil der Entwicklung doch mit ähnlich viel Arbeit verbunden, wie die eigentliche Entwicklung der Box. Es ist zwar oft spannend, aber teilweise auch sehr zeitaufwändig, sich die entsprechende Literatur durchzulesen und die nötigen Inhalte herauszufiltern. Auch bei der Fachlichen Klärung spielte dieser Lese-Aufwand eine große Rolle und nahm einen wesentlichen Zeitraum ein. Ähnliches gilt für die Schülervorstellungen im Bezug auf das Thema „Kräfte“. Bei der theoretischen Vorbereitung der Box konnte man aber schon sehr gut erkennen, was bei der letztendlichen Entwicklung berücksichtigt werden muss. Die Entwicklung der Box an sich stellte selbstverständlich den größten Arbeitsaufwand dar und nahm auch die meiste Zeit in Anspruch. Hier ging es vor allem darum, die zuvor erarbeiteten Inhalte den SuS so näher zubringen, dass diese die Inhalte in selbständiger Arbeit nachvollziehen konnten. In diesem Zusammenhang galt eindeutig der Grundsatz „Qualität vor Quantität“, da einige durchaus interessante Inhalte nicht in die Box mit aufgenommen werden konnten. Das lag daran, dass die Inhalte, die betrachtet wurden, eher kleinschrittig angelegt werden mussten, damit die SuS die Möglichkeit bekommen, jeden einzelnen Schritt nachzuvollziehen. So konnte zumindest gewährleistet werden, dass die angebotenen Inhalte den SuS so gut wie möglich veranschaulicht wurden.

Während der Erprobung der Box und vor allem bei der anschließenden Auswertung ist mir erneut aufgefallen, welche Unterschiede es zwischen dem gibt, was man von den SuS erwartet und dem, was sie letztendlich leisten. Dabei gab es Überraschungen sowohl auf positive als auch auf negative Weise. Zum einen war ich sehr erstaunt, dass es, trotz der in meinen Augen sehr

kleinschrittigen Vorgehensweise während der Aktionsbox, doch noch so viele SuS gab, die mit dem Schwierigkeitsgrad und dem Tempo der Box nicht zurecht kamen. Außerdem dachte ich, dass die Anzahl der erläuternden Beispiele bei weitem ausreichen würde, aber auch hier wurde meine Einschätzung nicht bestätigt (siehe Aufgabe 1.7 und 1.8). Andererseits haben die SuS einige Aufgaben, bei denen ich mir im Vorfeld nicht sicher war, ob sie an dieser Stelle nicht zu schwer seien, ohne große Probleme fast ausnahmslos korrekt bearbeitet. Außerdem war ich von der an sich problemlosen Durchführung der Box positiv überrascht. Die SuS haben die Experimente sehr gewissenhaft durchgeführt und die Diskussionen waren zum Teil sehr lebhaft. Durch die Auswertung wurde ebenso ersichtlich, an welchen Stellen es bei der Aktionsbox noch deutliches Verbesserungspotential gibt. Allerdings muss ich auch hier sagen, dass die Anzahl der Sequenzen, die nicht gut bearbeitet wurden, wesentlich geringer ist als von mir im Vorfeld befürchtet. Sicherlich gibt es noch viele Möglichkeiten der Optimierung, aber dennoch scheint die Aktionsbox bereits jetzt einen akzeptablen Aufbau aufzuweisen.

Insgesamt kann ich sagen, dass ich mit der Entwicklung und der Erprobung der Aktionsbox sehr zufrieden bin. Die Abschnitte, die von den meisten SuS bearbeitet wurden, haben mit kleinen Ausnahmen schon sehr ordentlich funktioniert. Die Notwendigkeit der Verbesserungen hält sich hier in Grenzen. Lediglich die Tatsache, dass die Bearbeitungsgebiete 2 und vor allem 3 nur von so wenigen SuS-Gruppen bearbeitet wurden, war nicht so erfreulich. Hier bietet sich aber gleichzeitig die Gelegenheit, nach etwaigen Veränderungen des Bearbeitungsgebiets 1, eine weitere Erprobung durchzuführen, bei der sich der Fokus vor allem auf die beiden letzten Bearbeitungsgebiete richtet. Bei einer solchen Erprobung müsste es zudem die Möglichkeit geben, die SuS länger als 90 Minuten an der Box arbeiten zu lassen oder die Erprobung auf zwei Doppelstunden aufzuteilen, damit gerade für diese beiden letzten Bearbeitungsgebiete aussagekräftige Ergebnisse zustande kommen. Dadurch könnten weitere Verbesserungsmöglichkeiten, die zweifellos auch für die Reibungskräfte und für die ergänzenden Aufgaben vorhanden sind, erschlossen werden. Es wird also noch viel Arbeit zu investieren sein, bevor die Aktionsbox ihr ganzes Potential ausschöpfen kann. Aber ich bin sicher, dass die Box diese Arbeit wert ist.

## 9 Literaturverzeichnis

Bader, F. & Dorn, F. (Hrsg.) (1992). *Dorn Bader Physik Mittelstufe*. Hannover: Schroedel.

Bader, F. (Hrsg.) (2000). *Dorn Bader Physik Gymnasium Gesamtband Sek II*. Hannover: Schroedel.

Bader, F. & Oberholz, H.-W. (Hrsg.) (2001). *Dorn Bader Physik Gymnasium Sek I*. Hannover: Schroedel.

Boysen, G., Glunde, H., Heise, H., Muckenfuß, H. Schepers, H. & Wiesmann, H.-J. (1991). *Physik für Gymnasien. Länderausgabe A. Gesamtband*. Berlin: Cornelsen.

Boysen, G., Heise, H., Lichtenberger, J., Schepers, H. & Schlichtung, H.-J. (1999). *Oberstufe Physik Gesamtband*. Berlin: Cornelsen.

Grehn, J. & Krause, J. (Hrsg.) (1998). *Metzler Physik*. Hannover: Schroedel.

Mosca, G. & Tipler, P. A. (2004). *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure*. München: Spektrum.

Kretschmer, H. & Stary, J. (1998). *Schulpraktikum. Eine Orientierungshilfe zum Lernen und Lehren*. Berlin: Cornelsen.

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93-104). Berlin, Heidelberg: Springer.

Wiesner, H. (1994a). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. *Physik in der Schule*, 32, 122-126.

Wiesner, H. (1994b). Zum Einführungsunterricht in die Mechanik: Statisch oder dynamisch? *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 42(22), 16-23.

Nachtigall, D. (1986). Vorstellungen im Bereich der Mechanik. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 34(13), 16-20.

## 10 Bildquellenverzeichnis

Im Folgenden werden die Quellen angegeben, die zu den Abbildungen in der Aktionsbox (Anhang A1) gehören. Die Abbildungen sind in der Box entsprechend gekennzeichnet.

**Abbildung 1:**

[http://www.7-forum.com/modelle/e23/images/6\\_zyl\\_motor\\_tza-c.jpg](http://www.7-forum.com/modelle/e23/images/6_zyl_motor_tza-c.jpg) [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 2:**

Quelle kann nicht angegeben werden

**Abbildung 3:**

[http://sport.ard.de/sp/komponente/bildergalerie\\_vertont/fussball/\\_bundesliga44/spieltag34/media/04\\_hitzlsperger\\_ap\\_400.jpg](http://sport.ard.de/sp/komponente/bildergalerie_vertont/fussball/_bundesliga44/spieltag34/media/04_hitzlsperger_ap_400.jpg) [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 4:**

<http://webbeobachtung.de/wp-content/uploads/2008/03/karatehand.jpg> [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 5:**

[http://www.billigflieger-homepage.de/TUIfly\\_Flugzeug\\_Start.jpg](http://www.billigflieger-homepage.de/TUIfly_Flugzeug_Start.jpg) [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 6:**

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/e/ed/Kraeftegleichgewicht-Flugzeug.png/270px-Kraeftegleichgewicht-Flugzeug.png> [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 7:**

[http://www.t3-umbau.de/images/product\\_images/popup\\_images/10\\_1.jpg](http://www.t3-umbau.de/images/product_images/popup_images/10_1.jpg) [letzter Zugriff am 15.09.2008]

**Abbildung 8:**

Quelle kann nicht angegeben werden

**Abbildung 9:**

[http://lh6.ggpht.com/\\_XuYHmfWue7c/Ry4B7GzP2xI/AAAAAAAAAB6s/z8QN5V7F99c/halloween+153.jpg](http://lh6.ggpht.com/_XuYHmfWue7c/Ry4B7GzP2xI/AAAAAAAAAB6s/z8QN5V7F99c/halloween+153.jpg) [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 10:**

<http://www.strikes-land.de/pics/eisbaer.jpg> [letzter Zugriff am 16.10.2008]

**Abbildung 11:**

<http://www.senski.net/Schule/Physik/Klasse%208/3-VorbereitungTestNr.1.pdf> [letzter Zugriff am 16.10.2008]

# Anhang

# Anhang A1:

Wiederholungs- und  
Übungsbox zum Thema  
KRÄFTE

# Wiederholungs- und Übungsbox zum Thema

# ***KRÄFTE***



2

## **Allgemeines**

- Dieser Aufgabensatz ist zur selbständigen Durchführung gedacht, Sie sollten alle Aufgaben *gemeinsam* in Ihrer Gruppe bearbeiten.
- Sie haben für die Bearbeitung der Aufgaben eine Doppelstunde Zeit. Es ist aber kein Problem, wenn Sie in der Zeit nicht fertig werden.
- Diese Aufgaben sollen Sie an ein bereits gelerntes Thema in der Physik erinnern und die Inhalte dieses Themas erneut aufgreifen und festigen.
- Lesen Sie alle Informationen und Aufgaben gründlich durch.
- Versuchen Sie, jede Aufgabe so weit wie möglich zu bearbeiten. Sollten Sie bei einer Aufgabe nicht weiterkommen, können Sie diese überspringen, um später noch einmal darauf zurückzukommen.
- Zur Information: Der Rollwagen hat eine Masse von 50g, der Holzklotz eine Masse von circa 150g und die beiden Gewichte jeweils von 100g.

## Bearbeitungsgebiet 1:

# *Kräfte im Allgemeinen*



*und die*

# *Newtonschen Axiome*

4

Wie Sie sich vielleicht erinnern werden, hat der physikalische Begriff der Kraft wenig mit dem Kraftbegriff gemeinsam, den Sie aus dem Alltag kennen.

### **Aufgabe 1.1:**

Überlegen Sie für die folgenden Begriffe, ob es sich um eine physikalische Kraft (PK) oder um einen alltäglichen Kraftbegriff (AK) handelt. Tragen Sie das entsprechende Kürzel ein. Diskutieren Sie, woran Sie erkennen können, dass es sich um eine physikalische Kraft handelt.

- \_\_\_ Sehkraft
- \_\_\_ Muskelkraft
- \_\_\_ Gewichtskraft
- \_\_\_ Schusskraft
- \_\_\_ Motorkraft
- \_\_\_ Reibungskraft
- \_\_\_ Hangabtriebskraft
- \_\_\_ Gravitationskraft
- \_\_\_ Waschkraft
- \_\_\_ Arbeitskraft



Abbildung 1

Die Kraft im physikalischen Sinn wird mit dem Formelzeichen  $F$  (*Force*) bezeichnet. Eine wichtige Eigenschaft ist die *Größe* der Kraft, die in der Einheit *Newton* (Einheitszeichen  $N$ ) angegeben wird.

**Aufgabe 1.2:**

Nehmen Sie sich einen Kraftmesser und überprüfen Sie, welche Kraft Sie aufwenden müssen, um ein bestimmtes Massestück anzuheben (auch der Holzklötz und der Rollwagen sind Massestücke). Tragen Sie die jeweiligen Werte in die untere Tabelle ein. Fällt Ihnen eine Regelmäßigkeit auf?

Masse in Gramm	Masse in Kilogramm	Kraft in Newton
50		
100		
150		
200		

Wenn Sie die eben gemessenen Kräfte mit dem jeweiligen Gewicht in Kilogramm vergleichen, werden Sie feststellen, dass die Kraft immer um den Faktor 10 größer ist.

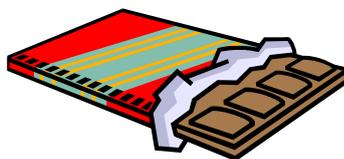
**!!! Das Gewicht muss in Kilogramm angegeben sein, damit dieses Verhältnis stimmt !!!**

Diese Kraft, mit der der Körper an dem Kraftmesser zieht, ist die *Gewichtskraft*. Das, was Sie aus dem Alltag als Gewicht kennen, wird in der Physik als die *Masse* (Formelzeichen  $m$ ) bezeichnet und wird in der Regel in der Einheit *Kilogramm* (Einheitszeichen  $kg$ ) angegeben.

Um sich den Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft einfach merken zu können, sagt man:

**„Eine Tafel Schokolade zieht mit einer Kraft von  $F=1N$  an einem Kraftmesser.“**

Jetzt muss man nur noch wissen, dass eine (typische) Tafel Schokolade eine Masse von  $m=0,1kg$  hat. ☺



Wenn Sie mehr über die Gewichtskraft erfahren möchten, schauen Sie sich am Ende dieses Abschnitts die Infokarte 1 an!

Die zweite wichtige Eigenschaft einer Kraft, neben ihrer Größe, ist die *Richtung* in die sie wirkt.

### Aufgabe 1.3:

Betrachten Sie die folgenden Abbildungen und beschreiben Sie, in welche Richtung hier eine Kraft wirkt.

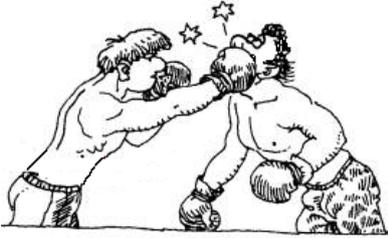


Abbildung 2

---



---



---



Abbildung 3

---



---



---



Abbildung 4

---



---



---

Untersuchen Sie die unterschiedlichen Auswirkungen der Richtung einer Kraft. Ziehen Sie mit einem Kraftmesser an einem Gewicht oder einem anderen beliebigen Körper (z.B. einem Federmäppchen). Versuchen Sie dabei immer die Größe der Kraft konstant zu lassen (der Kraftmesser zeigt dann immer dasselbe an) und ändern Sie nur die Richtung, in die Sie ziehen.

Die dritte charakteristische Eigenschaft einer Kraft ist ihr *Angriffspunkt*. Dabei handelt es sich, wie die Bezeichnung schon sagt, um die Stelle des Körpers, an der die Kraft angreift.

### Aufgabe 1.4:

Nehmen Sie sich einen Kraftmesser und ein Federmäppchen. Versuchen Sie nun, das Federmäppchen an verschiedenen Stellen anzuheben (der Reißverschluss eignet sich in der Regel hierfür relativ gut). Erkennen Sie, wie unterschiedlich sich das Federmäppchen beim Anheben bewegt?

Betrachten Sie nun erneut die Bilder aus Aufgabe 1.3. Vorhin sollten Sie beschreiben, in welche Richtung die Kraft wirkt. Versuchen Sie nun zu erläutern, wo der Angriffspunkt der Kraft liegt, schreiben Sie Ihre Überlegungen auf und zeichnen Sie den Angriffspunkt ein.




---



---




---



---




---

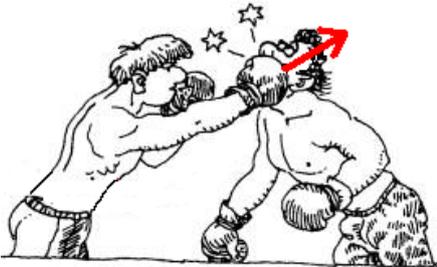


---

## 9

Eine Kraft hat die eben aufgeführten drei zentralen Eigenschaften Größe, Richtung und Angriffspunkt. Da man Kräfte auch zeichnerisch darstellen möchte, hat man eine Darstellungsform gewählt, in der man alle diese Eigenschaften darstellen kann: Den *Pfeil*.

Hier sehen Sie die bereits bekannten Bilder mit den entsprechenden Kräften in Form von Pfeilen eingezeichnet:



Der Angriffspunkt der Kraft ist am Kinn des Gegners (dort „trifft“ die Faust). Die Kraft ist nach schräg rechts oben gerichtet, in Richtung des verlängerten Schlagarmes.



Der Angriffspunkt der Kraft ist am Ball, dort, wo der Fuß den Ball trifft (und nicht vorne am Ball!). Die Kraft ist nach rechts oben gerichtet. Was wäre, wenn der Ball nur seitlich touchiert werden würde?

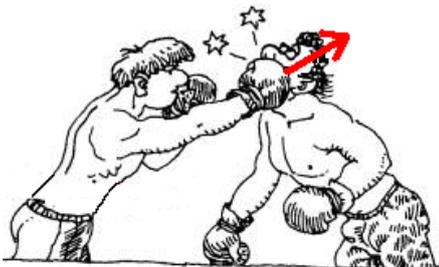


Der Angriffspunkt der Kraft ist oben auf dem Beton-Block (im Bild durch die Hand leicht verdeckt). Die Kraft wirkt senkrecht nach unten. Haben Sie eine Idee, warum die Hand des Judoka hinterher schmerzt?

## 10

Bei der Pfeil-Darstellung einer Kraft gilt folgende Vereinbarung: Der Anfang des Pfeils wird an den Angriffspunkt der Kraft gesetzt, der Pfeil selbst zeigt in die Richtung, in die die Kraft wirkt. Die Länge des Pfeils ist ein Maß für die Größe der Kraft. Dabei kommt es weniger auf die Darstellung der genauen Größe der Kraft an, sondern viel mehr darauf, dass eine kleinere Kraft durch einen kürzeren Pfeil dargestellt wird als eine größere Kraft.

Zum vorerst letzten Mal die bekannten Bilder:



### Aufgabe 1.5:

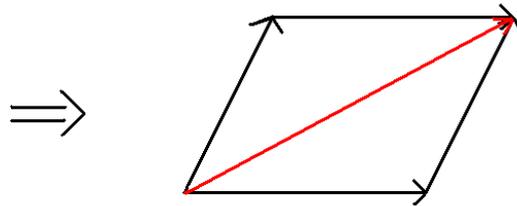
Beschreiben Sie für ein Bild (wo Sie sich am sichersten sind) jetzt noch einmal genau, ohne zurück zu blättern, wo der Angriffspunkt der Kraft liegt (und warum). Was sagen die Länge und die Richtung des Pfeils in dem gewählten Bild aus? (Was würde es bedeuten, wenn der Pfeil länger oder kürzer wäre?)

Eine Beispiel-Lösung zu dieser Aufgabe finden Sie auf der Lösungskarte 1 am Lehrerpult.

Wenn **mehrere** Kräfte auf **einen** einzigen Körper am **selben Angriffspunkt** wirken, so lassen sich diese Kräfte durch eine einzige, die *resultierende Kraft* ausdrücken. Mit Hilfe der eben gezeigten Pfeildarstellung lässt sich diese resultierende Kraft zeichnerisch ermitteln. Stellen wir uns zum Beispiel ein Flugzeug beim Start vor. Dann muss zum einen eine Kraft wirken, die das Flugzeug schneller macht und zum andern eine Kraft, die das Flugzeug vom Boden abheben lässt. Wenn man nun die daraus resultierende Kraft bestimmen möchte, macht man das so:



Abbildung 5

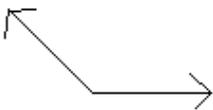


Man bildet ein sogenanntes *Kräfteparallelogramm* aus den gegebenen Kräften (rechte Darstellung). Die Diagonale dieses Kräfteparallelogramms stellt die resultierende Kraft dar, sowohl im Bezug auf die Richtung als auch auf die Größe.

### Aufgabe 1.6:

Bestimmen Sie mit Hilfe eines Kräfteparallelogramms jeweils die resultierende Kraft der unten angegebenen Kräfte. Gehen Sie dabei möglichst genau so vor wie im vorherigen Beispiel gezeigt.

a)

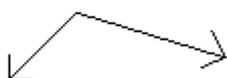


b)



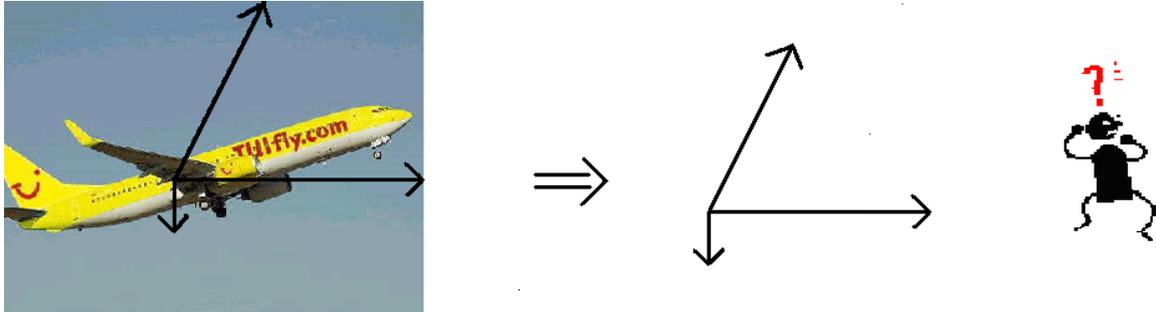
(Denken Sie daran: Auch ein Rechteck ist ein Parallelogramm!)

c)



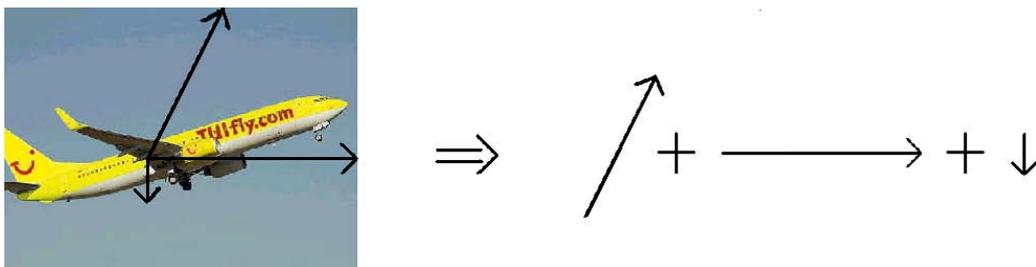
Die Lösung dieser Aufgabe finden Sie auf der Lösungskarte 2.

Wirken **mehr als zwei** Kräfte auf einen Körper, so gibt es ebenfalls eine zeichnerische Lösung, um die resultierende Kraft zu bestimmen. Wir betrachten wieder das Flugzeug beim Start. Dort wurde vorhin eine wichtige Kraft nicht eingezeichnet, nämlich die Gewichtskraft. Diese zieht das Flugzeug senkrecht nach unten. Wenn man jetzt ein Kräfteparallelogramm zeichnen möchte, gibt es Probleme:

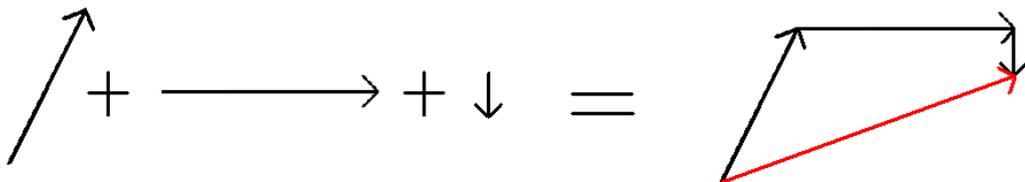


Aus drei Kräften lässt sich auf Anhieb kein Parallelogramm bilden. Sie können mit einem Parallelogramm nur die resultierende Kraft von zwei der Kräfte bestimmen.

Wenn Sie alle drei Kräfte gleichzeitig betrachten wollen, dann müssen Sie anders vorgehen. Auf der nächsten Karte sehen Sie wie!



Wenn die Kräfte am selben Punkt angreifen, kann man sie zunächst voneinander trennen, so dass man jede Kraft einzeln betrachtet. Die resultierende Kraft erhält man dann so:

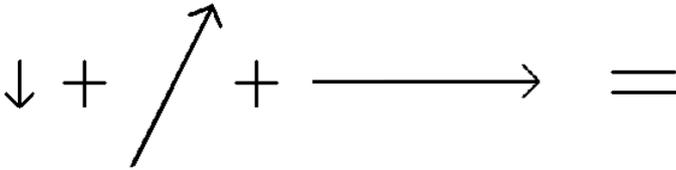


Man kann die Kräfte sozusagen „aneinanderhängen“, indem man immer den Angriffspunkt der einen Kraft an die Spitze der anderen Kraft setzt. Die resultierende Kraft verläuft dann vom Angriffspunkt der ersten Kraft zur Spitze der letzten Kraft. Dieses Verfahren funktioniert analog mit beliebig vielen Kräften. Die Reihenfolge, in der man hier die Kräfte miteinander verbindet, spielt keine Rolle!

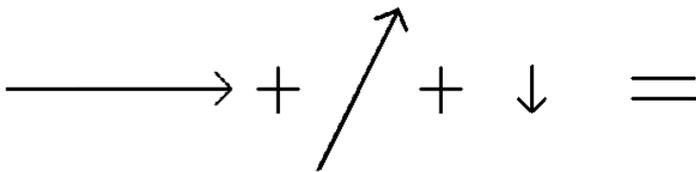
**Aufgabe 1.7:**

Überprüfen Sie die letzte Aussage auf Karte 14! Verändern Sie die Reihenfolge, in der die Kräfte aus dem Beispiel aneinandergelagert werden und bestimmen Sie so die resultierende Kraft. Spielt die Reihenfolge wirklich keine Rolle?

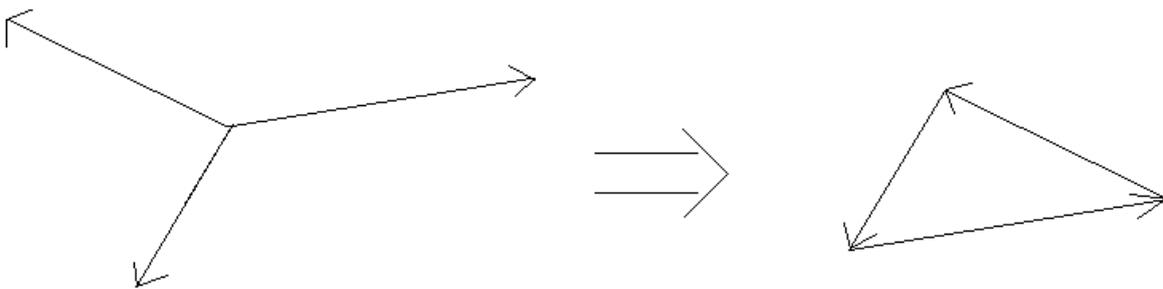
a)



b)



Betrachten Sie das folgende Beispiel einer Kräfte-Addition (die Zwischenschritte wurden weggelassen):



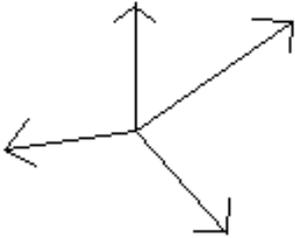
Hier bilden die Pfeile eine in sich geschlossene Figur, das heißt Angriffspunkt und Pfeilspitze der resultierenden Kraft fallen zusammen. Wenn das gilt, wenn es also keine resultierende Kraft gibt, dann sagt man, die ursprünglichen Kräfte befinden sich *im Gleichgewicht*.

**Wirken auf einen Körper mehrere Kräfte, die sich im Gleichgewicht befinden, so heben sich ihre Wirkungen gegenseitig auf.**

**Der Körper verhält sich dann so, als ob überhaupt keine Kraft auf ihn wirkt.**

**Aufgabe 1.8:**

Bestimmen Sie, wie im Beispiel auf Karte 14 gezeigt, die resultierende Kraft der hier dargestellten Kräfte.

**Aufgabe 1.9:**

Stellen Sie sich vor, zwei Kräfte befinden sich im Gleichgewicht, das heißt, ihre resultierende Kraft verschwindet. Was lässt sich dann definitiv über die Größe und die Richtung der beiden Kräfte aussagen? (Machen Sie sich als Hilfe am besten eine Skizze und überlegen Sie, wie die beiden Pfeile aussehen müssen, damit die resultierende Kraft verschwindet. Denken Sie dabei über die Länge, den Angriffspunkt und die Richtung der Pfeile nach.)

**Aufgabe 1.10:**

In den folgenden beiden Situationen sind alle Kräfte eingezeichnet, die auf den jeweiligen Körper wirken. Untersuchen Sie, ob sich die Kräfte im Gleichgewicht befinden oder nicht, indem Sie die resultierende Kraft bestimmen.

a)

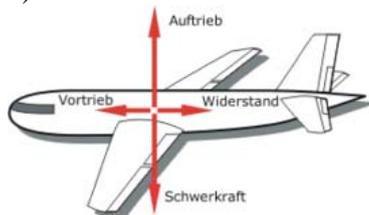
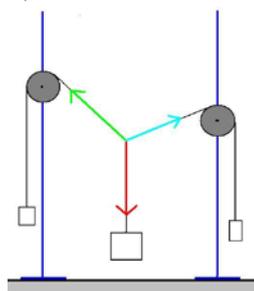


Abbildung 6

b)



Die Lösungen der Aufgaben 1.8, 1.9 und 1.10 finden Sie auf der Lösungskarte 3.

## Die Newtonschen Axiome

Es gibt drei grundlegende Gesetze zu Kräften, auf denen alle weiteren Erkenntnisse aufgebaut sind. Diese drei Gesetze sind die *Newtonschen Axiome*.

- *1. Newtonsches Axiom:*  
Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmig geradlinigen Bewegung, solange keine äußeren Kräfte auf ihn wirken oder sich die auf ihn wirkenden Kräfte im Gleichgewicht befinden (Trägheitsgesetz).
- *2. Newtonsches Axiom:*  
Die **Änderung** der Bewegung einer Masse (die Beschleunigung) ist der Größe der wirkenden Kraft proportional und erfolgt in dieselbe Richtung, in die auch diese Kraft wirkt. Es gilt also die *Grundgleichung der Mechanik*:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ .
- *3. Newtonsches Axiom:*  
Übt der Körper A durch irgendeine Wechselwirkung eine Kraft auf den Körper B aus, so übt auch B auf A eine Wechselwirkungskraft aus, die entgegengesetzt gleich der ersten Kraft von A auf B ist (actio = reactio). Kräfte treten also immer paarweise auf, zu jeder Kraft existiert auch eine Wechselwirkungskraft.

Betrachten Sie zunächst das 1. Newtonsche Axiom.

*„Ein Körper verharrt im Zustand der gleichförmig geradlinigen Bewegung, solange keine äußeren Kräfte auf ihn wirken oder sich die auf ihn wirkenden Kräfte im Gleichgewicht befinden.“*

Liegt hier nicht ein Fehler vor? Es wird behauptet, ein Körper vollzieht eine gleichförmige Bewegung, bewegt sich also mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus, so lange keine äußere Kraft auf ihn einwirkt oder sich die auf ihn wirkenden Kräfte im Gleichgewicht befinden. Das kann doch eigentlich gar nicht sein, oder? Stellen Sie sich vor, Sie wollen mit dem Fahrrad mit konstanter Geschwindigkeit fahren. Dann müssen Sie doch ständig in die Pedale treten, oder was meinen Sie?



### Aufgabe 1.11:

Nehmen Sie sich einen Kraftmesser und versuchen Sie, den Rollwagen oder den Holzklötz mit konstanter Geschwindigkeit gerade über den Tisch zu ziehen. Er befindet sich dann offensichtlich in einer gleichförmig geradlinigen Bewegung. Wirken jetzt Kräfte auf ihn? Was zeigt der Kraftmesser an?

Nehmen Sie sich nun den Rollwagen und schubsen Sie ihn einmal kurz und leicht an, so dass er geradlinig über den ebenen Tisch rollt. Behält er jetzt, wo scheinbar keine Kräfte mehr auf ihn wirken, seine Bewegung bei? (Bitte stoßen Sie nicht zu fest, damit der Wagen nicht vom Tisch fällt!)

Newton nennt zwei Möglichkeiten, damit sich ein Körper geradlinig gleichförmig bewegt: Entweder es wirken überhaupt keine Kräfte auf ihn oder die wirkenden Kräfte befinden sich im Gleichgewicht.

Da Sie den Wagen mit einer Kraft ziehen müssen, damit er nicht stehen bleibt, fällt die erste Möglichkeit in unserem Falle weg. Es wirken definitiv Kräfte auf den Körper. Folgerichtig müssen sich also die Kräfte, die an dem Wagen angreifen, im Gleichgewicht befinden. Die Kraft, mit der Sie ziehen, gleicht also lediglich eine andere Kraft aus, die entgegen der Zugrichtung auf den Wagen wirkt. Diese andere Kraft ist die Reibungskraft. Sie entsteht immer dann, wenn sich zwei Körper aneinander entlang bewegen, so wie die Reifen des Wagens und der Tisch.

Auf die speziellen Eigenschaften von Reibungskräften, welche Arten es gibt, wann diese Arten auftreten und wovon die Größe der Reibungskräfte abhängt, kommen wir später noch einmal ausführlicher zurück. Im Moment reicht es vollkommen aus, wenn Sie wissen, dass Reibungskräfte unter anderem auf einen Körper wirken, der sich in Bewegung befindet. Die Reibungskräfte wirken dann immer entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung und bremsen den Körper dadurch ab.

Versuchen Sie sich nun die Aussagen der anderen beiden Newtonschen Axiome noch einmal an kleinen Versuchen zu verdeutlichen. Nutzen Sie dazu die zuvor erhaltenen Materialien

### **Zum 2. Newtonschen Axiom:**

Ziehen Sie mit einem Kraftmesser an einem beliebigen Körper. Was passiert, wenn Sie stärker an dem Körper ziehen? Ändert sich seine Bewegung (Geschwindigkeit) mehr oder weniger, wenn Sie kräftiger ziehen? Was sagt die Grundgleichung der Mechanik darüber aus?

Schauen Sie sich noch einmal das 2. Newtonsche Axiom auf Karte 19 an. Dort steht, dass die **Änderung** der Bewegung einer Masse in **dieselbe Richtung** erfolgt, in die die Kraft wirkt. Was hat das genau zu bedeuten?

### **Aufgabe 1.12:**

Diskutieren Sie zunächst über das Ergebnis des folgenden Versuchs, bevor Sie ihn durchführen.

Anschließend können Sie Ihre Vorstellung mit der Realität vergleichen!

Nehmen Sie sich die Billardkugel aus den Materialien und lassen Sie sie langsam gerade über den Tisch rollen. Geben Sie ihr jetzt einen kleinen Kraftstoß senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung. In welche Richtung bewegt sich die Kugel nach dem Stoß? Können Sie das mit dem 2. Newtonschen Axiom erklären? Welche wichtige Schlussfolgerung ergibt sich aus diesem Versuch?

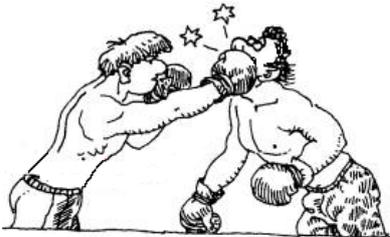
Die angesprochene Schlussfolgerung ist so wichtig, dass Sie sie unbedingt auf der Lösungskarte 4 am Lehrerpult nachlesen sollten, um sicherzugehen, dass Sie richtig liegen!

**Zum 3. Newtonschen Axiom:**

Hängen Sie zwei (gleiche) Kraftmesser mit den Haken, an die Sie normalerweise die Massestücke anhängen, aneinander. Beobachten Sie, was die Kraftmesser anzeigen, wenn Sie nur an einem oder an beiden gleichzeitig ziehen. Lassen sich Ihre Beobachtungen mit dem 3. Newtonschen Axiom erklären?

**Aufgabe 1.13:**

Betrachten Sie nun noch einmal die Bilder aus Aufgabe 1.3. *Eine* Kraft wurde hier bereits bestimmt. Zur Erinnerung können Sie gerne noch einmal auf Karte 9 nachschauen. Können Sie sich vorstellen, wie hier die Wechselwirkungskräfte wirken und welche Auswirkungen sie haben?



Denken Sie zur Hilfe mal über die folgenden Fragen nach:

- Warum trägt der Boxer Handschuhe? Was wäre, wenn er mit der bloßen Faust zuschlagen würde?
- Was wäre, wenn der Fußballspieler gegen einen Medizinball treten würde?
- Was würde wohl mit **Ihrer** Hand passieren, wenn **Sie** mit voller Kraft auf einen Beton-Block schlagen würden?

**Aufgabe 1.14:**

Ordnen Sie die folgenden Aussagen jeweils einem der drei Newtonschen Axiome zu. Schreiben Sie einfach davor, um welches Axiom es sich jeweils handelt. Wenn Sie die Axiome nicht auswendig wissen, schauen Sie ruhig auf Karte 19 nach.

- \_\_\_\_ Wenn keine Kraft wirkt, ändert sich der Bewegungszustand eines Körpers nicht.
- \_\_\_\_ Jede Kraft, die von einem Körper ausgeht, ist mit einer gleich großen, entgegengesetzt gerichteten Kraft verbunden, die auf den Körper wirkt, von dem die erste Kraft ausging.
- \_\_\_\_ Wenn eine Kraft wirkt, dann ändert sich die Geschwindigkeit eines Körpers.
- \_\_\_\_ Je größer die Kraft ist, umso größer ist die Geschwindigkeitsänderung pro Sekunde.
- \_\_\_\_ Kräfte treten immer paarweise auf.
- \_\_\_\_ Die Größe der Kraft bestimmt, wie schnell sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert.
- \_\_\_\_ Es gibt keine Veränderung einer Bewegung ohne eine Ursache
- \_\_\_\_ Wenn ein Körper gegen einen anderen Körper stößt, dann wird er von diesem zurückgestoßen.
- \_\_\_\_ Je größer die Masse eines Körpers ist, umso größer ist die Kraft, die er für dieselbe Beschleunigung benötigt.



actio = reactio



Lösungen zu den Aufgaben 1.13 und 1.14 finden Sie auf der Lösungskarte 5 am Lehrerpult.

Es gibt immer wieder Verständnisprobleme, die sich auf das 3. Newtonsche Axiom beziehen. Die beiden dort genannten Kräfte werden beschrieben als „gleich groß“ und „entgegengesetzt“. Dies ist aber auch die Beschreibung von zwei Kräften, die sich im Gleichgewicht befinden (siehe Lösung von Aufgabe 1.9 auf Lösungskarte 3). Was ist nun also der Unterschied zwischen diesen beiden Kräftepaaren? Diese Frage lässt sich beantworten, wenn man sich anschaut, auf wen die jeweiligen Kräfte wirken. Betrachten Sie noch einmal die entsprechenden Karten (11 oben und 19 unten) und suchen Sie die Antwort auf diese Frage!

### Aufgabe 1.15:

Versuchen Sie nun anhand der eben gewonnenen Erkenntnisse zu beurteilen, ob es sich bei den folgenden Kräftepaaren um Kräfte im Gleichgewicht (GG) oder um eine Kraft und ihre Wechselwirkungskraft gemäß dem 3. Newtonschen Axiom (3. NA) handelt. Tragen Sie die angegebenen Kürzel an den jeweiligen Stellen ein.

- \_\_\_\_\_ Sie und ein Freund messen sich im Tauziehen, das Tau bewegt sich aber nicht.
- \_\_\_\_\_ Sie versuchen ein Auto auf schneegeglatter Fahrbahn anzuschieben und rutschen weg.
- \_\_\_\_\_ Sie halten einen Ball fest in der Hand, so dass er nicht auf den Boden fällt.
- \_\_\_\_\_ Ein Auto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus.
- \_\_\_\_\_ Ein Auto prallt frontal auf ein anderes Auto, es sind aber beide verbeult.

Eine detaillierte Lösung zu dieser Aufgabe finden Sie auf der Lösungskarte 6 am Lehrerpult.

Schauen Sie sich noch einmal das 2. Newtonsche Axiom auf Karte 19 an. Dort ist die *Grundgleichung der Mechanik*  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  angegeben. Versuchen Sie sich klar zu machen, was diese Gleichung genau aussagt. Dazu müssen Sie wissen, wofür die drei Formelzeichen  $F$ ,  $m$  und  $a$  jeweils stehen. Wenn Sie sich diesbezüglich noch unsicher sind, schauen Sie noch einmal auf Lösungskarte 7 nach.

Diskutieren Sie nun darüber, was laut der Grundgleichung der Mechanik in den folgenden Situationen passieren müsste.

- Was passiert mit einem Körper, wenn keine Kraft auf ihn wirkt?
- Was passiert mit der Kraft, wenn ein Körper stärker beschleunigt werden soll?
- Was passiert mit der Beschleunigung, wenn die Kraft gleich bleibt, aber die Masse zunimmt?
- Was bedeutet es, wenn bei gleicher Masse die Kraft zunimmt?
- Haben Sie eine Vorstellung, was die Pfeile über dem  $\vec{F}$  und dem  $\vec{a}$  zu bedeuten haben?

Nehmen Sie sich zur Beantwortung dieser Fragen die passenden Materialien und führen Sie dementsprechende Versuche durch. Legen Sie einen Körper auf den Tisch und üben Sie keine Kraft auf ihn aus. Was passiert? Ziehen Sie zwei unterschiedliche Massen mit der gleichen Kraft. Welche wird stärker beschleunigt? Ziehen Sie zunächst wenig, dann etwas stärker an einem Körper. Wie ändert sich die Beschleunigung jetzt? Was gilt immer für die Richtung der Kraft und die Richtung der Beschleunigung?

Die Antworten auf diese Fragen erhalten Sie auf Lösungskarte 8!

Im folgenden Beispiel wird die Billardkugel aus Versuch 1.12 betrachtet. Es wurden die beim Versuch wirkenden Kräfte und die entstehende Beschleunigung der Kugel eingezeichnet. Der gestrichelte Pfeil gibt die grobe Richtung der Kugel nach dem Kraftstoß an,  $v$  steht für die Geschwindigkeit, also für die Bewegung. Kraft und Bewegungsrichtung zeigen hier eindeutig in verschiedene Richtungen.

### Aufgabe 1.16:

In der zweiten Abbildung ist ein halb so langer Kraftpfeil eingezeichnet. Wie muss der entsprechende Beschleunigungs-Pfeil im Vergleich zum ersten Bild aussehen (die Masse der Kugel bleibt gleich)? Was gilt für den gestrichelten Pfeil? In welche Richtung im Vergleich zu vorher muss er gezeichnet werden? Mehr nach oben, mehr nach rechts oder genauso wie vorher? Zeichnen Sie die Pfeile ein!

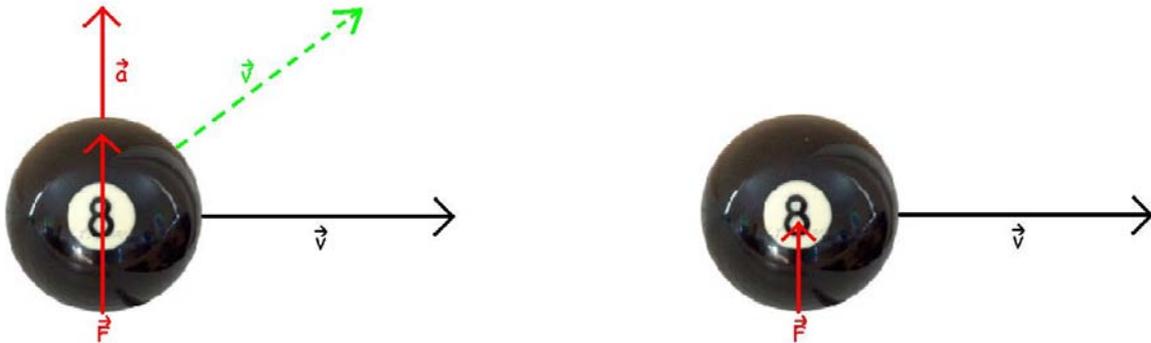


Abbildung 7

Die Lösung dieser Aufgabe finden Sie auf Lösungskarte 9

Die folgende Aufgabe können Sie sowohl mündlich als auch schriftlich bearbeiten. Ein schriftliches Festhalten Ihrer Antwort, z.B. in Stichworten, ist aber zu empfehlen, damit Sie sich an Ihre Lösung später besser erinnern und diese besser nachvollziehen können.

### Aufgabe 1.17:

Nach der Besprechung des 3. Newtonschen Axioms kam von einem Schüler oder einer Schülerin folgende Bemerkung:

*„Wenn ich einen Schrank anschieben möchte, dann wirke ich ja eine Kraft auf den Schrank aus. Wenn der Schrank doch dann aber mit derselben Kraft auf mich wirkt, nur eben in die andere Richtung, dann sind doch die Kräfte im Gleichgewicht?!? Sie sind gleich groß und entgegengesetzt, also heben sie sich auf. Die resultierende Kraft wäre Null und es gäbe keine Beschleunigung, gemäß dem 1. und 2. Newtonschen Axiom. Dann könnte man ja nie einen Schrank oder irgendwas anderes anschieben...!“*

Erläutern Sie, wo in dieser Argumentation der Fehler liegt!



## Infokarte 1

### Die Gewichtskraft und der Ortsfaktor g

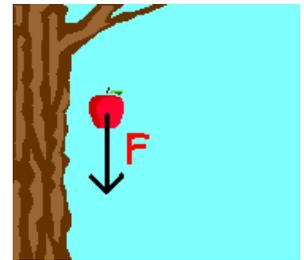
Gleich zu Beginn der Übungsbox haben Sie in einem kleinen Experiment gesehen, dass sich die Größen der Gewichtskraft und der Masse (in Kilogramm) immer um einen ungefähren Faktor 10 unterscheiden. Es gilt also  $F \approx 10 \cdot m$ . Woher kommt das?

Das 2.Newtonsche Axiom sagt aus, dass die Kraft, die auf einen Körper wirkt, immer proportional ist zu der Beschleunigung, die er erfährt. Formal schreibt man also  $F = m \cdot a$ .

Wenn wir jetzt diese beiden Gleichungen vergleichen, so erhalten wir  $a \approx 10 \frac{m}{s^2}$ . Die Beschleunigung hat also ungefähr den Wert 10. Dieser Wert ist auf der ganzen Erde ungefähr gleich groß und beträgt im Mittel  $9,81 \frac{m}{s^2}$ . Diese Beschleunigung nennt man den Ortsfaktor g. Es gilt also  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  und für die Gewichtskraft eines Körpers der Masse m gilt somit allgemein:

$$F_G = m \cdot g$$

In Herborn beträgt der Ortsfaktor übrigens ziemlich genau  $9,81 \frac{m}{s^2}$ .



### Pause

Im Abschnitt 1 haben Sie bereits eine Menge über Kräfte im physikalischen Sinn gelernt. Wenn Sie es bis hierher geschafft haben, haben Sie schon eine Menge geleistet!

### Glückwunsch!

An dieser Stelle haben Sie sich eine kleine Pause von ein paar Minuten verdient. Schalten Sie ruhig einen Moment ab, damit Sie sich wieder gut auf das konzentrieren können, was jetzt noch kommt.

Wenn Sie sich fit fühlen, nehmen Sie Abschnitt 2 in Angriff. Jetzt werden die Reibungskräfte etwas genauer in Augenschein genommen...



## Bearbeitungsgebiet 2:

# *Reibungskräfte*



Abbildung 8



Abbildung 9

30

Erinnern Sie sich noch, was im ersten Abschnitt über Reibungskräfte gesagt wurde? Wenn nicht, schauen Sie noch einmal zurück auf Karte 21!

Sie sollen sich nun etwas intensiver mit den Eigenschaften von Reibungskräften auseinandersetzen. Die zentrale Frage dabei ist, wovon die Größe einer Reibungskraft abhängt und was die Auswirkungen von Reibungskräften sind.

Betrachtet man die bisherigen Beispiele von Reibungskräften, so bekommt man den eindeutigen Eindruck, dass Reibungskräfte unseren Alltag immens erschweren. Reibungskräfte hindern einen Körper daran, eine gleichförmige Bewegung durchzuführen und sie versuchen, einen Körper „festzuhalten“, der in Bewegung gesetzt werden soll. Überlegen Sie sich gemeinsam drei Beispiele aus dem Alltag, in denen Reibung eindeutig unser Leben erschwert, und schreiben Sie diese auf.

---

---

---

Ist Reibung ausschließlich schlecht? Können Sie sich Situationen vorstellen, in denen Reibungskräfte absolut hilfreich oder sogar notwendig sind?

Wie Sie vielleicht noch wissen, unterscheidet man zwischen drei typischen Arten der Reibung. Diese drei sind die *Haftreibung*, die *Gleitreibung* und die *Rollreibung*. Die Bezeichnungen dieser drei Reibungskräfte sagen bereits etwas darüber aus, wann sie wirken.

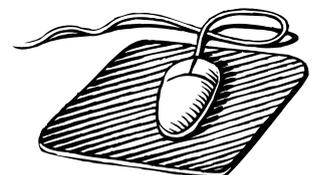
- Die Haftreibung wirkt, so lange sich ein Körper noch nicht in Bewegung befindet, aber durch eine Kraft in Bewegung gesetzt werden soll. Diese Reibungskraft gleicht die antreibende Kraft aus und hält den Gegenstand sozusagen fest, wodurch eine Bewegung verhindert wird.
- Befindet sich ein Körper in Bewegung und berührt mit einer oder mehreren Flächen den Körper, an dem er sich entlang bewegt, so wirkt die Gleitreibung. Sie wirkt der Bewegungsrichtung entgegen und versucht so, den Körper zum Stillstand zu bringen
- Ist ein Körper in Bewegung und bewegt sich auf Rollen oder Rädern, so wirkt die Rollreibung. Diese wirkt wirklich nur dann, wenn sich die Rollen oder Räder auch drehen und nicht, wenn sie in irgendeiner Weise festgestellt sind. Die Wirkung der Rollreibung ist vergleichbar mit der Wirkung der Haftreibung, auch sie wirkt der Bewegungsrichtung entgegen und bremst den Körper ab.

Diskutieren Sie gemeinsam, um welche Reibungsart es sich bei Ihren drei Beispielen zuvor gehandelt haben könnte. Bearbeiten Sie danach die nächste Karte.

### Aufgabe 2.1:

Überlegen Sie, ob in den folgenden Situationen jeweils die Haftreibung (HR), die Gleitreibung (GR) oder die Rollreibung (RR) wirkt. Tragen Sie das entsprechende Kürzel ein.

- \_\_\_\_ Sie versuchen einen Schrank zu verschieben, er bewegt sich aber nicht.
- \_\_\_\_ Sie versuchen einen Schrank zu verschieben und der Schrank bewegt sich.
- \_\_\_\_ Ein Auto fährt auf einer normalen asphaltierten Straße.
- \_\_\_\_ Ein Auto fährt auf einem Feldweg.
- \_\_\_\_ Sie verschieben einen fahrbaren Fernsehtisch.
- \_\_\_\_ Ein Auto bremst zu stark ab, so dass die Reifen blockieren (feststehen!).
- \_\_\_\_ Sie versuchen ein Auto anzuschieben, schaffen es aber nicht.
- \_\_\_\_ Sie wischen mit Ihrer Hand über den Tisch.
- \_\_\_\_ Sie bewegen Ihre Laser-Computer-Maus auf dem Maus-Pad.



Stellen Sie sich vor, dass Sie zu Hause einen Schrank an einen anderen Platz stellen möchten. Der Schrank ist groß und sehr schwer, Sie können ihn also nicht hochheben, sondern müssen ihn schieben. Können Sie sich vorstellen, in welcher Situation Sie die größte Kraft aufbringen müssen? Müssen Sie am meisten drücken wenn der Schrank noch steht? Wird es leichter oder schwieriger wenn Sie den Schrank erst einmal in Bewegung gesetzt haben? Wie sieht es aus, wenn Sie den Schrank vorher auf ein paar Rollfüße stellen? Diskutieren Sie untereinander und versuchen Sie, eine begründete Antwort darauf zu finden.

Machen Sie dann bei der nächsten Karte weiter.



### Aufgabe 2.2:

Überprüfen Sie Ihre Vorstellungen im Bezug auf den Schrank! Nehmen Sie sich einen Kraftmesser, den Holzklötz und den Rollwagen. Damit Sie vergleichbare Ergebnisse erhalten, sollten der Wagen und der Holzklötz dieselbe Masse haben (Die Massen sind auf Karte 2 angegeben). Nutzen Sie die zusätzlichen Gewichte, um die Massen anzupassen!

Nehmen Sie nun den Kraftmesser und ziehen Sie damit an dem Holzklötz, aber nur so stark, dass dieser gerade eben noch liegen bleibt, damit die Haftreibung wirkt. Betrachten Sie die Kraft, mit der Sie maximal ziehen können und schreiben Sie sie auf.

Nun ziehen Sie fester, so dass sich der Holzklötz in Bewegung setzt. Ziehen Sie so, dass er mit konstanter Geschwindigkeit über den Tisch gleitet und betrachten Sie auch hier die Kraft, die dazu nötig ist.

Nun ziehen Sie noch den Rollwagen ebenfalls so über den Tisch, dass er eine gleichförmige Bewegung ausführt. Wie groß ist die dazu benötigte Kraft jetzt?

Können Sie jetzt die Frage beantworten, welche Reibungskraft am größten und welche am kleinsten ist? Setzen Sie in den Vergleichen unten dementsprechend ein „<“ oder ein „>“ ein. In der letzten Zeile können Sie die Reibungskräfte noch einmal in der entsprechenden Reihenfolge eintragen

- Haftreibung \_\_\_\_ Gleitreibung
- Gleitreibung \_\_\_\_ Rollreibung
- Rollreibung \_\_\_\_ Haftreibung

Allgemein gilt: \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_

Die Lösungen zu den Aufgaben 2.1 und 2.2 finden Sie auf Lösungskarte 10.

Sie haben jetzt herausgefunden, dass die Rollreibungskraft wesentlich kleiner ist als die Haft- oder Gleitreibungskraft. Damit man also möglichst geringe Kräfte hat, die der Bewegung entgegenwirken, sollte man am besten immer alles auf Rollen transportieren. Aber was ist, wenn das nicht geht? Leider sind nicht alle Schränke mit Rollfüßen ausgestattet. Auch rollbare Platten, auf denen man die zu bewegenden Gegenstände transportieren könnte, sind nicht immer vorhanden. Wie kann man aber trotzdem die Reibungskraft möglichst klein halten?

Um diese Frage beantworten zu können, muss man wissen, wovon die Größe der Reibungskräfte noch abhängt.

Denken Sie an die Profi-Radfahrer bei der Tour de France. Diese sind bemüht, mit möglichst wenig Anstrengung so schnell wie möglich zu fahren. Dabei helfen ihnen unter anderem ihre vergleichsweise leichten Fahrräder. Ein herkömmliches Fahrrad hat eine Masse von ungefähr 12kg, eher mehr. Ein Profi-Rad hingegen hat lediglich eine Masse von 7kg. Was ist der große Vorteil daran?

Zum einen ist es leichter, das Fahrrad zu beschleunigen, da die Masse geringer ist (2. Newtonsches Axiom). Den Profi-Radfahrern geht es aber vor allem darum, mit möglichst wenig Kraftaufwand eine konstante Geschwindigkeit beizubehalten. Dabei stören vor allem große Reibungskräfte, da diese der Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit entgegenwirken. Haben da leichte Fahrräder einen Vorteil gegenüber schweren Fahrrädern? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Masse eines Körpers und der auf ihn wirkenden Reibungskraft?

Mit dem Versuch auf Karte 36 können Sie das selbst herausfinden.

**Aufgabe 2.3:**

Nehmen Sie einen Kraftmesser und ziehen Sie den Holzklotz damit so über den Tisch, dass er sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Wie Sie aus dem 1. Newtonschen Axiom wissen, befinden sich die Kräfte, die auf den Körper wirken, jetzt im Gleichgewicht. Die Kraft, mit der Sie ziehen, wird durch die Reibungskraft ausgeglichen. Die beiden Kräfte müssen also gleich groß sein, weswegen Sie die Kraft, mit der Sie ziehen, als Maß für die wirkende Reibungskraft nehmen können.

Betrachten Sie nun die Kraft, mit der Sie ziehen müssen und variieren Sie die Masse des Holzklotzes mit Hilfe der zusätzlichen Massestücke. Tragen Sie die von Ihnen betrachteten Massen (vergessen Sie die Masse des Holzklotzes nicht) und die dazugehörigen Kräfte in die untere Tabelle ein. Achten Sie dabei auf die Einheit der Masse. Können Sie eine Regelmäßigkeit erkennen?

Masse in kg	Kraft in N
0,15	

**Hinweis:** Es ist schwer, den Holzklotz wirklich bei konstanter Geschwindigkeit zu halten und durchgehend mit konstanter Kraft zu ziehen. Führen Sie pro Masse ruhig mehrere Versuche durch und mitteln Sie die erhaltenen Werte, falls diese zu sehr voneinander abweichen!

Betrachten Sie noch einmal das Beispiel eines Fahrrads (oder auch eines Motorrads oder Autos). Wenn Sie damit zunächst auf normalem Asphalt fahren und dann plötzlich auf eine feuchte oder gar vereiste Stelle geraten, was kann dann passieren? Werden Sie weiterhin so stark abgebremst wie vorher, wenn sie aufhören eine Kraft auszuüben? Macht es einen Unterschied für die Reibungskräfte, auf welchem Untergrund man sich bewegt?

Finden Sie es heraus!



Abbildung 10

**Aufgabe 2.4:**

Nehmen Sie sich wieder den Holzklotz und ziehen Sie ihn mit einem Kraftmesser mit konstanter Geschwindigkeit über den Tisch. Wiederholen Sie den Versuch nun auf dem Stück Teppichboden aus den Materialien. Gibt es Unterschiede bei den benötigten Kräften?

Falls der Teppichboden wegrutscht, halten Sie ihn mit der anderen Hand oder kleben Sie ihn mit Tesafilm fest. Können Sie sich vorstellen, warum der Teppichboden wegrutscht und der Holzklotz auf dem Teppichboden stehen bleibt? Überlegen Sie, welche Körper sich jeweils aneinander entlang bewegen. Sie können auch gerne weitere Untergründe untersuchen, wenn Ihnen welche einfallen!

Die Ergebnisse der Aufgaben 2.3 und 2.4 können Sie auf Lösungskarte 11 finden.

Durch die letzten beiden Versuche haben Sie zwei Eigenschaften von Reibungskräften herausgefunden. Zum einen, dass die Größe einer Reibungskraft von der Masse des Körpers abhängt. Außerdem hängt sie von der Oberflächenbeschaffenheit („glatt“ oder „rau“) der beiden Körper ab, die sich aneinander entlang bewegen.

Nun wissen Sie auch, wie man Reibungskräfte im Alltag möglichst klein halten kann. Man sollte versuchen die Massen der zu bewegenden Körper möglichst klein zu halten und man sollte sie immer auf einer möglichst glatten Oberfläche bewegen.

Birgt letzteres nicht aber auch eine gewisse Gefahr? Was kann passieren, wenn sich ein Körper, dessen Masse vergleichsweise groß ist, auf einer äußerst glatten Oberfläche bewegt? Ein Auto beispielsweise hat eine sehr große Masse. Was kann passieren, wenn ein Auto auf einer Eisfläche fährt?

Zu viel Reibung ist offensichtlich nicht gut, aber ist überhaupt keine Reibung besser? Wenn Sie dazu mehr erfahren möchten, lesen Sie sich die Infokarte 2 durch!

## Infokarte 2

### Sind Reibungskräfte wirklich so schlecht?

Überlegen Sie, wie eine Welt ohne Reibung aussehen würde. Als Hilfe können Sie sich eine absolut glatte Eisoberfläche vorstellen, beispielsweise auf einem zugefrorenen See. Wenn die Oberfläche wirklich „spiegelglatt“ ist, sind die Reibungskräfte hier verschwindend gering.

Was würde nun passieren, wenn Sie versuchen mit einem Auto auf dieser Oberfläche anzufahren? Oder noch schlimmer: Was würde passieren, wenn Sie sich auf einer solchen Oberfläche mit dem Auto bewegen würden und wollen bremsen?

Es scheint also nicht alles schlecht an Reibungskräften zu sein. Um es überspitzt zu sagen: Selbst die einfachsten, alltäglichsten Dinge wären ohne Reibung überhaupt nicht möglich! Man könnte noch nicht einmal ein Glas festhalten, da es zwischen den Fingern einfach durchrutschen würde.

Was passiert Ihnen, wenn Sie mit nassen Händen versuchen eine Flasche mit Drehverschluss zu öffnen? Sie rutschen ab. In diesem Fall ist Ihre Hand aber nur nass, das heißt es gibt noch eine gewisse Reibung zwischen dem Deckel und Ihrer Hand. Ohne Reibung würde der Flaschendeckel zwischen der Hand wegrutschen, egal wie feste man zudrückt! **Ohne Reibung ist es also überhaupt nicht möglich irgendwelche Kräfte auf andere Körper auszuüben!**

Sie sehen also, dass die Reibung uns zwar manche Dinge im Alltag erschwert, aber ohne die Reibung wären diese Dinge erst gar nicht möglich.



## Zusammenfassung

Was haben Sie bis jetzt über Reibungskräfte herausgefunden? Im Prinzip kann man das in vier Stichpunkte zusammenfassen:

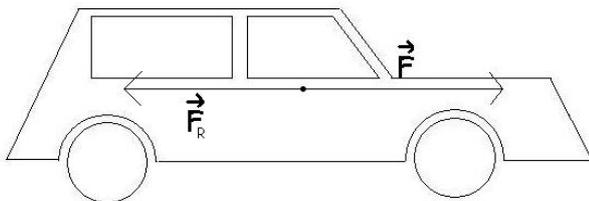
- Eine Reibungskraft wirkt immer dann, wenn sich zwei Körper aneinander entlang bewegen oder durch eine äußere Kraft zu einer solchen Bewegung gebracht werden sollen. Die Reibungskräfte wirken dann immer **entgegen der Richtung** der Bewegung oder der äußeren Kraft.
- Es gibt drei Arten von Reibungskräften: Die Haftreibung, die Gleitreibung und die Rollreibung, wobei die Haftreibung am größten und die Rollreibung am kleinsten ist.
- Reibungskräfte sind proportional zur Masse, also proportional zur Gewichtskraft des Körpers.
- Reibungskräfte hängen von der Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper ab.

### Aufgabe 2.5:

In dieser Aufgabe wird ein Auto mit einer bestimmten Masse betrachtet, das sich auf einer ebenen Fahrbahn befindet. Es werden drei unterschiedliche Situationen betrachtet. Ihre Aufgabe besteht darin, die wirkenden Kräfte einzuzuichnen. Dabei soll die Gewichtskraft vernachlässigt werden. Denken Sie daran, dass die Länge der Pfeile ein Maß für die Größe der Kräfte ist, hier müssen also vor allem die **Verhältnisse** stimmen. Der Angriffspunkt der Kräfte ist eingezeichnet.

Betrachten Sie zunächst das folgende Beispiel und lösen Sie dann dementsprechend die Aufgabenteile a) bis c). Geben Sie dabei jeweils zunächst die Reibungsart an, die wirkt (falls eine wirkt), und zeichnen Sie anschließend die entsprechenden Kraftpfeile.

Beispiel: Das Auto steht. Eine äußere Kraft versucht das Auto zu beschleunigen, es bewegt sich aber nicht.

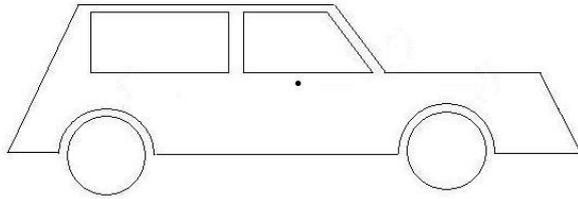


Da das Auto sich nicht bewegt, wirkt die Haftreibungskraft. Die äußere Kraft  $F$  und die Reibungskraft  $F_R$  müssen entgegengesetzt gleichgerichtet sein (also im Gleichgewicht), da sich das Auto sonst bewegen würde (siehe 1. Newtonsches Axiom auf Karte 19).

Diese Aufgabe vereint alles bisher Gelernte über Kräfte im Allgemeinen, die Newtonschen Axiome und Reibungskräfte! Deshalb finden Sie eine ausführliche, erläuternde Lösung auf Lösungskarte 12.

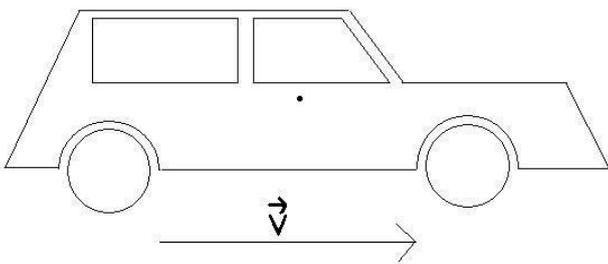
Überlegen Sie sich bei der Bearbeitung der Aufgabe immer, um was für eine Art von Bewegung es sich handelt (gleichförmig, beschleunigt, ...). Dementsprechend können Sie entscheiden, ob die wirkenden Kräfte im Gleichgewicht sein müssen oder nicht. Daraus können Sie dann Informationen über die Kraftpfeile (vor allem deren Länge) gewinnen. Blättern Sie ruhig auf die entsprechenden Karten zurück (z.B. Karte 19 für die Newtonschen Axiome), wenn Sie Einzelheiten nicht mehr sicher wissen.

a) Das Auto steht und es wirkt keine äußere Kraft darauf



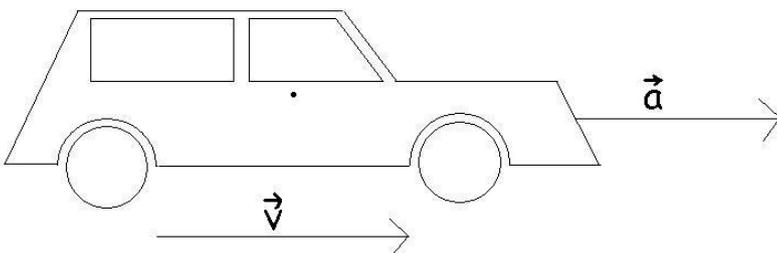
Reibungsart: \_\_\_\_\_

b) Das Auto fährt mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus.



Reibungsart: \_\_\_\_\_

c) Das Auto wird zusätzlich zur konstanten Geschwindigkeit noch in dieselbe Richtung beschleunigt,



Reibungsart: \_\_\_\_\_

Ende ?



Herzlichen Glückwunsch, Sie haben die Übungs- und Wiederholungsbox zum Thema Kräfte komplett durchgearbeitet! Das war sehr gut! Sie dürfen stolz auf sich sein, da es sich hierbei um ein sehr schwieriges Themengebiet der Physik handelt.



Nun bleibt noch zu überprüfen, ob Sie das bisher gelernte auch wirklich verstanden haben. Dazu gibt es noch einige Aufgaben, die alle Inhalte dieser Box voraussetzen. Wenn Sie bis hierher gekommen sind und noch ein wenig Zeit haben, dann

**schnaufen Sie kurz durch**

und

**holen Sie sich bei Ihrer Lehrkraft die ergänzenden Aufgaben**

Bearbeitungsgebiet 3:

# *Ergänzende Aufgaben*



## Aufgabe 3.1:

Sie haben bei der Bearbeitung der Box gelernt, wie man zwei Kräfte, die denselben Angriffspunkt haben, zeichnerisch addiert, also ihre resultierende Kraft bestimmt (ab Karte 11). Dabei wurde die konkrete Größe der Kräfte nicht berücksichtigt.

Im Folgenden sollen immer zwei Kräfte betrachtet werden, deren Größe 50 Newton beträgt und die am selben Angriffspunkt wirken. Außerdem wird der Winkel angegeben, den die beiden Kraftpfeile einschließen. Zeichnen Sie die beiden Kräfte mit einem passenden Maßstab (beispielsweise 1cm = 10N) und bestimmen Sie jeweils die resultierende Kraft. Können Sie deren Größe aus der Zeichnung bestimmen (denken Sie an den Maßstab!)?

- Die beiden Kraftpfeile schließen einen Winkel von  $\alpha = 60^\circ$  ein.
- Die beiden Kraftpfeile schließen einen Winkel von  $\alpha = 90^\circ$  ein.
- Die beiden Kraftpfeile schließen einen Winkel von  $\alpha = 180^\circ$  ein.

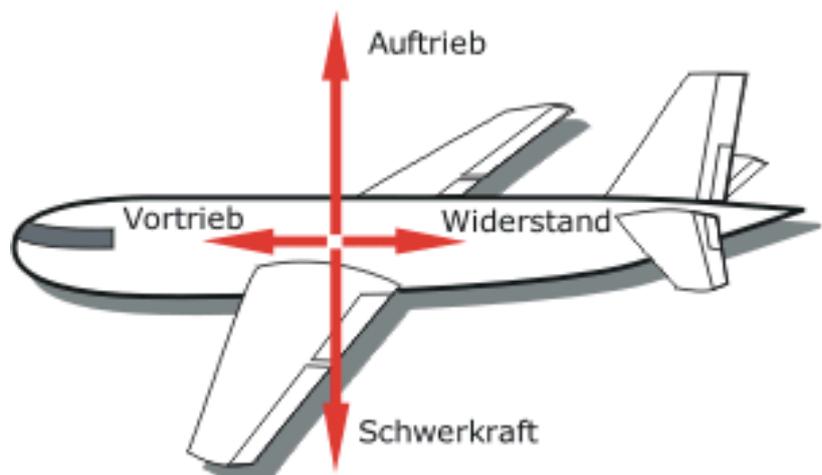


## Aufgabe 3.2:

Betrachten Sie noch einmal das Flugzeug aus Aufgabe 1.10. Dort haben Sie gezeigt, dass die Kräfte, die am Flugzeug angreifen, im Gleichgewicht sind. Ein Schüler oder eine Schülerin sagt jetzt Folgendes:

„Wenn die Kräfte da im Gleichgewicht sind, dann ist die resultierende Kraft Null. Das ist dann so als wenn überhaupt keine Kraft auf das Flugzeug wirkt. Dann bewegt es sich nicht und fällt runter!“

Was entgegnen Sie dieser Aussage?



**Aufgabe 3.3:**

In Wilhelm Buschs „Max und Moritz“ heißt es:  
 „Hahn und Hühner schlucken munter  
 Jedes ein Stück Brot hinunter;  
 Aber als sie sich besinnen,  
 Konnte keines recht von hinnen.“

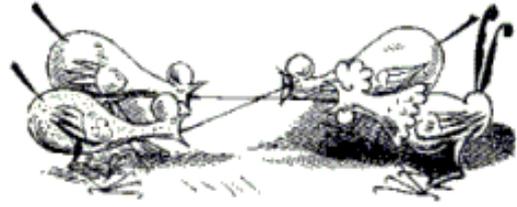
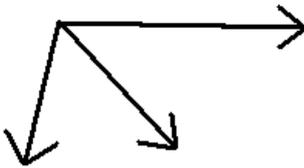


Abbildung 11

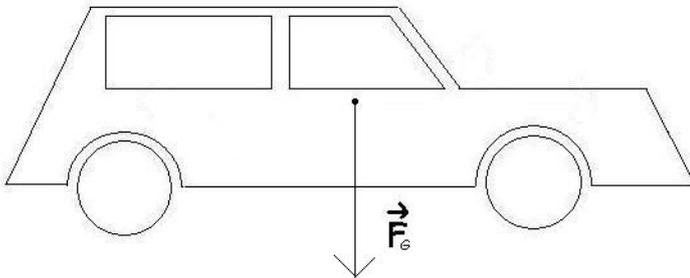
Das heißt also, dass alle drei Hühner und der Hahn an den Fäden ziehen, aber keines gewinnt und zieht die anderen mit. Das gesamte System, also die Hühner, der Hahn und die Fäden, ist trotz kräftigen Ziehens in Ruhe. Was muss für die von den Hühnern und dem Hahn ausgeübten Kräfte gelten, damit das möglich ist?

Unten sind die Kräfte, die von den Hühnern ausgeübt werden, aufgezeichnet. Können Sie die Kraft, mit der der Hahn zieht, zeichnerisch ermitteln, unter der Voraussetzung, dass das System in Ruhe, also im Gleichgewicht ist?

???

**Aufgabe 3.4:**

In Aufgabe 2.5 a) haben Sie ein Auto betrachtet, das sich in Ruhe befindet und auf das keine äußere Kraft einwirkt. Dabei sollte die Gewichtskraft vernachlässigt werden. Wenn Sie diese jetzt mit einbeziehen und einzeichnen, sieht das folgendermaßen aus:



Hier stimmt doch etwas nicht, oder? Das Auto befindet sich in Ruhe, das heißt die wirkenden Kräfte müssen sich im Gleichgewicht befinden. Das ist aber definitiv nicht der Fall! Eigentlich müsste das Auto doch jetzt nach unten beschleunigt werden?!? Können Sie sich vorstellen wo die Kraft, die die Gewichtskraft kompensiert, herkommt und wer sie ausübt? Denken Sie zur Hilfe an das 3. Newtonsche Axiom (Karte 19).

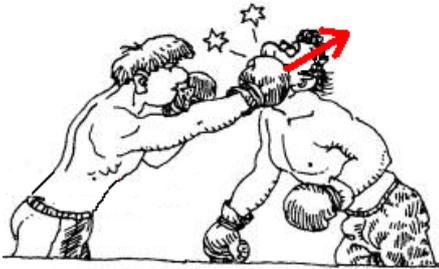
# Anhang A2:

Lösungskarten

## Lösungskarte 1

Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.

**Aufgabe 1.5:** Beschreiben Sie die Wirkung der Kraft auf einem der Bilder.



### Zum Boxer-Bild:

Der Angriffspunkt der Kraft befindet sich am Kinn des anderen Boxers, da der Box-Handschuh des schlagenden Boxers ihn dort berührt. Die Richtung des Pfeils gibt an, in welche Richtung hier die Kraft wirkt, also in welche Richtung das Kinn des geschlagenen Boxers „gezogen“ wird. Die Länge ist ein Maß für die Größe der Kraft, also in diesem Fall für die Härte des Schlages. Wäre der Pfeil länger, würde der Boxer noch fester zuschlagen.

### Zum Fußballer-Bild:

Der Angriffspunkt der Kraft befindet sich dort, wo der Schuh des Fußballers den Ball berührt. Der Ball wird hier (wenn er richtig getroffen wird) in die Richtung der Kraft beschleunigt, wird also nach dem Schuss ungefähr in diese Richtung fliegen. Die Länge des Pfeils gibt hier die Schusskraft an, also auch wie weit der Ball in die angegebene Richtung fliegt. Wäre der Pfeil länger, so wäre der Schuss härter und der Ball würde weiter und mit höherer Geschwindigkeit fliegen.

### Zum Karate-Bild:

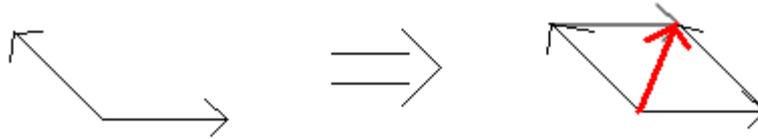
Auch hier befindet sich der Angriffspunkt der Kraft dort, wo die Hand den Beton-Block berührt. Die Hand bewegt sich nach unten, also wirkt auch die von ihr ausgeübte Kraft nach unten. Die Länge des Pfeils gibt hier die Stärke an, mit der der Karatekämpfer zuschlägt. Wäre der Pfeil kürzer, so würde er nicht ganz so feste zuschlagen und der Beton-Block würde möglicherweise nicht zerstört. Ein längerer Pfeil bedeutet dementsprechend einen noch härteren Schlag.

## Lösungskarte 2

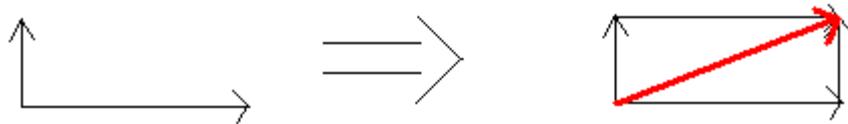
Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.

**Aufgabe 1.6:** Bestimmen Sie mit Hilfe eines Kräfteparallelogramms jeweils die resultierende Kraft der unten angegebenen Kräfte.

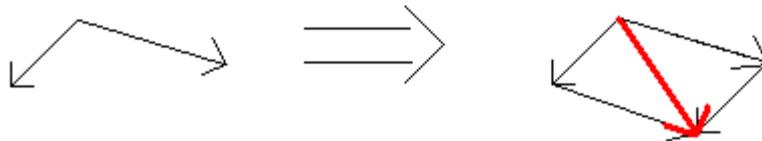
a)



b)



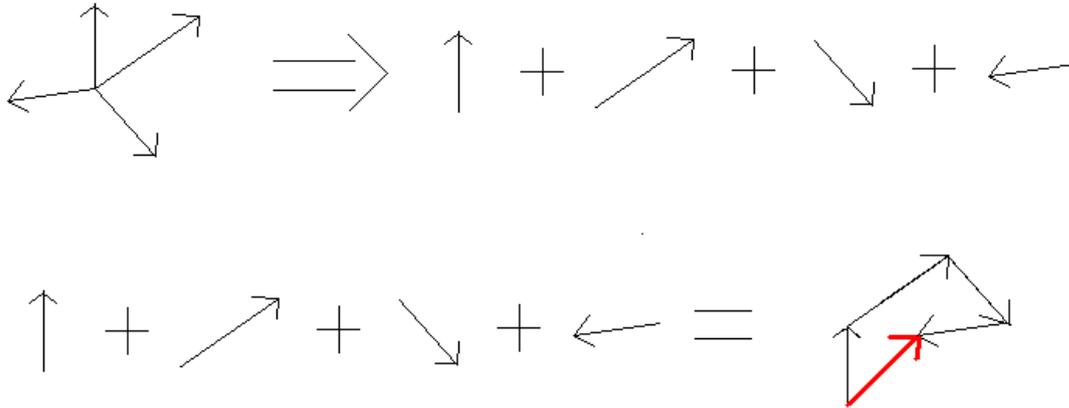
c)



### Lösungskarte 3

Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.

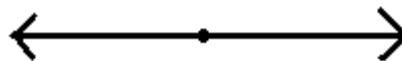
**Aufgabe 1.8:** Bestimmen Sie die resultierende Kraft der hier dargestellten Kräfte.



Zunächst müssen Sie die Kräfte voneinander trennen. Anschließend können Sie die einzelnen Kräfte „aneinanderhängen“, wie im Beispiel auf Karte 14 gezeigt. Die resultierende Kraft verläuft vom Anfangspunkt des ersten bis zur Spitze des letzten Pfeils.

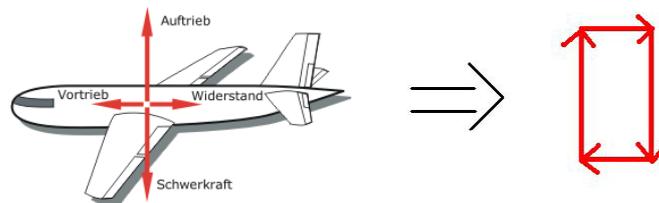
**Aufgabe 1.9:** Wann sind zwei Kräfte im Gleichgewicht?

Damit zwei Kräfte im Gleichgewicht sind, muss folgendes gelten: Zunächst müssen sie **denselben Angriffspunkt** haben. Damit sie sich gegenseitig ausgleichen können, müssen sie **gleich groß** sein. Damit die resultierende Kraft letztlich nicht vorhanden ist, müssen sie noch genau **entgegengesetzt gerichtet** sein.

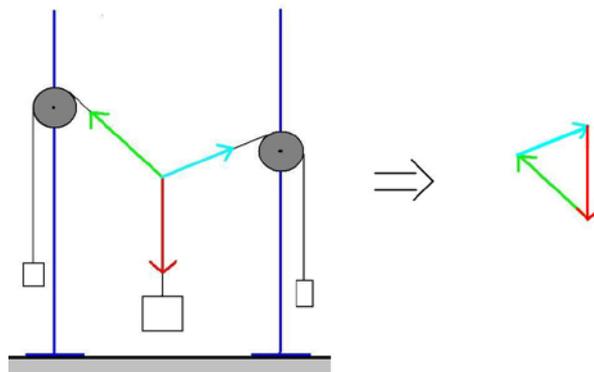


**Aufgabe 1.10:** Überprüfen Sie, ob die folgenden Kräfte im Gleichgewicht sind.

a)



b)



In beiden Fällen entsteht eine geschlossene Figur, wenn man die Pfeile „aneinanderhängt“. Die Kräfte befinden sich also in beiden Fällen im Gleichgewicht.

## Lösungskarte 4

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

**Aufgabe 1.12: In welche Richtung bewegt sich die Kugel nach dem senkrechten Kraftstoß?**

Wie Sie im Versuch sehen konnten, bewegt sich die Billardkugel nach dem Stoß nicht genau in die Richtung, in die sie gestoßen wurde. Sie bewegt sich in eine Richtung, die zwischen der Richtung der ursprünglichen Bewegung und der Richtung des Kraftstoßes liegt.

Wenn Sie die obere Beobachtung nicht gemacht haben, führen Sie den Versuch erneut durch. Versuchen Sie es mit einer höheren Anfangsgeschwindigkeit und einem schwächeren Kraftstoß, dann wird der Effekt deutlicher.

Die wichtige Schlussfolgerung aus diesem Versuch lautet, dass **die Richtung der wirkenden Kraft und die Richtung der entstehenden Bewegung NICHT übereinstimmen müssen.**

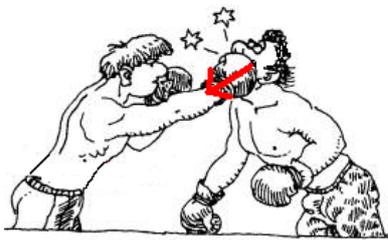
Es gilt aber, dass **die Richtung der wirkenden Kraft und die Richtung der entstehenden BewegungsÄNDERUNG übereinstimmen müssen** (siehe 2. Newtonsches Axiom auf Karte 19).

Durch die wirkende Kraft und die dadurch verursachte Beschleunigung entsteht eine Bewegung in Richtung der Kraft. Diese Bewegung und die ursprüngliche Bewegung überlagern sich, wodurch eine Mischung dieser beiden als resultierende Bewegung entsteht.

## Lösungskarte 5

Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.

**Aufgabe 1.13: Wie wirken die Wechselwirkungskräfte und welche Auswirkungen haben sie?**



Im Bild mit den beiden Boxern wirkt die Kraft auf den Handschuh des schlagenden Boxers. Die Kraft wird durch das Kinn des getroffenen Boxers ausgeübt und wirkt genau entgegengesetzt zur Kraft des schlagenden Boxers. Würde der schlagende Boxer keine Handschuhe tragen, könnte es durchaus passieren, dass er sich die Hand bricht. Je fester er zuschlägt, umso größer wird dieses Risiko

Im Fußball-Bild wird die Kraft vom Ball auf den Fuß des Fußballers ausgeübt und wirkt auch wieder entgegengesetzt zu der Kraft, die der Fuß auf den Ball ausübt. Wäre der Fußball ein Medizinball, der eine wesentliche größere Masse besitzt, so wäre die Wechselwirkungskraft wesentlich größer (da auch die Kraft vom Fuß auf den Ball größer sein müsste, damit er gleich weit fliegt). Mit ganz viel Pech bricht sich der Fußballer bei einem solchen Schuss mit einem Medizinball den Fuß.

Im Karate-Bild wirkt die Kraft vom Beton-Block auf die Hand des Karatekämpfers. Da man mit sehr großer Kraft zuschlagen muss, um einen Beton-Block zu zerteilen, wirkt auch eine sehr große Kraft auf die Hand. Im Karate lernt man spezielle Techniken wie man die Hand anspannen muss, damit dabei nichts passiert. Wenn ein Laie mit einer solchen Kraft auf einen Beton-Block schlägt, ist auch hier die Hand höchstwahrscheinlich gebrochen.

**Aufgabe 1.14: Ordnen Sie die folgenden Aussagen den Newtonschen Axiomen zu.**

- 1. NA Wenn keine Kraft wirkt, ändert sich der Bewegungszustand eines Körpers nicht.
- 3. NA Jede Kraft, die von einem Körper ausgeht, ist mit einer gleich großen, entgegengesetzt gerichteten Kraft verbunden, die auf den Körper wirkt, von dem die erste Kraft ausging.
- 1. NA / 2. NA Wenn eine Kraft wirkt, dann ändert sich die Geschwindigkeit eines Körpers.
- 2. NA Je größer die Kraft ist, umso größer ist die Geschwindigkeitsänderung pro Sekunde.
- 3. NA Kräfte treten immer paarweise auf.
- 2. NA Die Größe der Kraft bestimmt, wie schnell sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert.
- 1. NA Es gibt keine Veränderung einer Bewegung ohne eine Ursache
- 3. NA Wenn ein Körper gegen einen anderen Körper stößt, dann wird er von diesem zurückgestoßen.
- 2. NA Je größer die Masse eines Körpers ist, umso größer ist die Kraft, die er für dieselbe Beschleunigung benötigt.

## Lösungskarte 6

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

**Aufgabe 1.15: Bestimmen Sie ob es sich bei den folgenden Beispielen um Kräfte im Gleichgewicht oder um eine Kraft und ihre Wechselwirkungskraft gemäß dem 3. Newtonschen Axiom handelt.**

Zunächst muss klar sein, wodurch sich die beiden Fälle unterscheiden. Dabei ist es so, dass in beiden Fällen die Kräftepaare gleich groß und entgegengesetzt sind. Der Unterschied ist, dass Kräfte, die sich im Gleichgewicht befinden, **immer** auf **einen** Körper wirken müssen. Kraft und Wechselwirkungskraft gemäß dem 3. Newtonschen Axiom greifen hingegen **immer** an **zwei unterschiedlichen** Körpern an.

- GG Sie und ein Freund messen sich im Tauziehen, das Tau bewegt sich aber nicht.  
Die Kräfte greifen beide am Tau an, da es sich aber nicht bewegt, sind sie im Gleichgewicht.
- 3. NA Sie versuchen ein Auto auf schneegeglatter Fahrbahn anzuschieben und rutschen weg.  
Sie üben eine Kraft auf das Auto aus und das Auto übt dementsprechend eine Wechselwirkungskraft auf Sie aus, durch die Sie nach hinten gedrückt werden und wegrutschen.
- GG Sie halten einen Ball fest in der Hand, so dass er nicht auf den Boden fällt.  
Die Gewichtskraft zieht den Ball nach unten und durch die Kraft, die ihre Hand auf den Ball ausübt, bleibt er oben. Die Kräfte greifen beide am Ball an und sind im Gleichgewicht.
- GG Ein Auto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus.  
Bestes Beispiel für zwei Kräfte, die sich im Gleichgewicht befinden (1. Newtonsches Axiom).
- 3. NA Ein Auto prallt frontal auf ein anderes Auto, es sind aber beide verbeult.  
Auf beide Autos haben Kräfte gewirkt, da beide Autos verbeult sind. Da es zwei unterschiedliche Körper sind handelt es sich um Kraft und Wechselwirkungskraft gemäß dem 3. Newtonschen Axiom.

## Lösungskarte 7

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

Für die Formelzeichen  $F$ ,  $m$  und  $a$  gilt:

- $F$  steht für die Kraft (engl.: „Force“)
- $m$  ist das Formelzeichen für die Masse des Körpers, an dem die Kraft angreift
- $a$  bezeichnet die Beschleunigung, die durch die angreifende Kraft auf den Körper wirkt (engl.: „acceleration“)

## Lösungskarte 8

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

Zunächst einmal drückt die Gleichung aus, was auch das 1. Newtonsche Axiom besagt, dass für eine Beschleunigung, also eine Änderung eines Bewegungszustandes, eine Kraft nötig ist. Wenn die Kraft  $F$  Null ist, dann muss auch die Beschleunigung  $a$  Null sein, da die Masse  $m$  in der Regel nicht Null ist.

Wenn man eine konstante Masse  $m$  betrachtet (also einen unveränderten Körper), dann gilt immer, dass für eine größere Beschleunigung auch eine größere Kraft notwendig ist. Umgekehrt ruft eine größere Kraft auch immer eine größere Beschleunigung hervor (je stärker ich ziehe, umso schneller wird der Körper).

Ändert man nun die Masse  $m$ , indem man den Körper z.B. mit einem Massestück beschwert, so ist für die gleiche Beschleunigung eine größere Kraft von Nöten als vorher. Analog dazu bewirkt eine gleich große Kraft bei größerer Masse eine geringere Beschleunigung (ein schwerer Körper lässt sich schwerer beschleunigen als ein leichter Körper).

Was hat es nun noch mit den Pfeilen über dem  $\vec{F}$  und dem  $\vec{a}$  auf sich? Diese *Vektorpfeile* sagen aus, dass bei dieser Gleichung auch die Richtungen mit einbezogen werden müssen. Die wirkende Kraft und die Beschleunigung zeigen also immer in dieselbe Richtung.

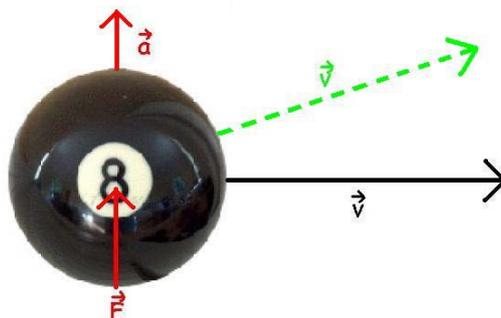
**!!! ACHTUNG !!!**

**Es gilt nur, dass die BESCHLEUNIGUNG und die KRAFT in dieselbe Richtung wirken! Für die GESCHWINDIGKEIT und die KRAFT ist das nicht automatisch der Fall, was Sie auch schon in Aufgabe 1.12 und der dazugehörigen Lösungskarte 4 selbst erfahren haben.**

## Lösungskarte 9

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

**Aufgabe 1.16: In welche Richtung bewegt sich die Billardkugel?**



Die Kraft, die die Billardkugel senkrecht zur Bewegungsrichtung beschleunigt, ist nur halb so groß wie zuvor. Dadurch ist auch die Bewegung in Richtung dieser Kraft nicht so groß wie zuvor. Die ursprüngliche Bewegungsrichtung gewinnt bei der Überlagerung der beiden Bewegungen an Bedeutung, weswegen die resultierende Bewegung eher in Richtung der ursprünglichen Bewegung verläuft. Der Pfeil für die resultierende Bewegungsrichtung rutscht im Vergleich zu vorher also näher an den Pfeil für die ursprüngliche Bewegung heran, er ist „flacher“.

## Lösungskarte 10

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

**Aufgabe 2.1: Ordnen Sie die drei Reibungsarten den folgenden Situationen zu.**

- HR Sie versuchen einen Schrank zu verschieben, er bewegt sich aber nicht.
- GR Sie versuchen einen Schrank zu verschieben und der Schrank bewegt sich.
- RR Ein Auto fährt auf einer normalen asphaltierten Straße.
- RR Ein Auto fährt auf einem Feldweg.
- RR Sie verschieben einen fahrbaren Fernsehtisch.
- HR / GR Ein Auto bremst zu stark ab, so dass die Reifen blockieren (feststehen!).  
Betrachtet man hier die Reifen, die durch die Bremsen festgehalten werden, so wirkt dort die Haftreibung. Bezieht man sich aber auf die blockierenden Reifen, die auf der Fahrbahn rutschen, so wirkt die Gleitreibung.
- HR Sie versuchen ein Auto anzuschieben, schaffen es aber nicht.
- GR Sie wischen mit Ihrer Hand über den Tisch.
- GR Sie bewegen Ihre Laser-Computer-Maus auf dem Maus-Pad.

**Aufgabe 2.2: Überprüfen Sie, welche der Reibungsarten am größten und welche am kleinsten ist.**

- Haftreibung > Gleitreibung
- Gleitreibung > Rollreibung
- Rollreibung < Haftreibung

Allgemein gilt: Haftreibung > Gleitreibung > Rollreibung

## Lösungskarte 11

**Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.**

**Aufgabe 2.3 / Aufgabe 2.4: Überprüfen Sie den Zusammenhang von Reibungskraft und Masse des Körpers sowie von Reibungskraft und Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper.**

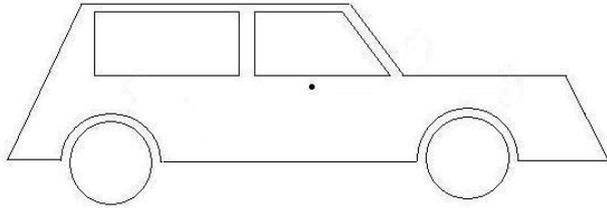
- Die Reibung ist proportional zur Masse. Eine größere Masse des Körpers bedeutet gleichzeitig, dass auch größere Reibungskräfte auf ihn wirken.
- Die Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper beeinflusst die Reibungskraft zwischen ihnen. Dabei gilt allgemein, je „rauer“ die Oberflächen sind, umso größer ist auch die Reibungskraft

## Lösungskarte 12

Bringen Sie diese Karte nach Benutzung bitte wieder zurück zum Lehrerpunkt.

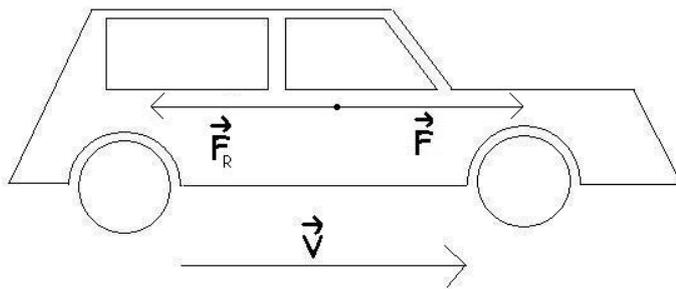
**Aufgabe 2.5: Bestimmen Sie die wirkenden (Reibungs-)Kräfte auf das Auto und zeichnen Sie die entsprechenden Kraftpfeile ein.**

a)



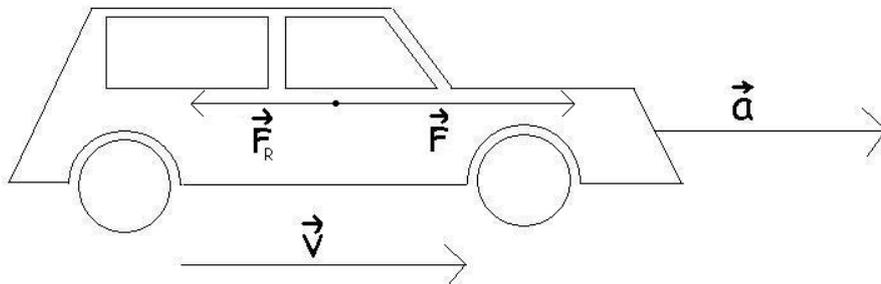
Das Auto steht und es wirkt keine äußere Kraft darauf. Demnach wirkt auch keine Reibungskraft, da diese nur wirkt, wenn eine angreifende Kraft kompensiert werden muss oder sich das Auto in Bewegung befindet. Somit wirken also keine Kräfte auf das Auto und es sind demnach auch keine Kraftpfeile einzuzeichnen.

b)



Da das Auto fährt, wirkt hier die Rollreibungskraft (die Reifen drehen sich). Das Auto fährt mit konstanter Geschwindigkeit, es führt also eine gleichförmige Bewegung aus. Nach dem 1. Newtonschen Axiom müssen dann die wirkenden Kräfte im Gleichgewicht sein. Die antreibende Kraft und die Reibungskraft müssen sich in diesem Fall also im Gleichgewicht befinden. Wie lang die Kraftpfeile hier gezeichnet werden spielt keine Rolle. Wichtig ist nur dass sie **gleich lang** sind und in **entgegengesetzte Richtungen** zeigen.

c)



Das Auto fährt, also wirkt auch hier wieder die Rollreibung. Diesmal wird es aber noch zusätzlich beschleunigt, das heißt es muss eine resultierende Kraft auf das Auto wirken, die in Richtung der Beschleunigung wirkt (1. und 2. Newtonsches Axiom). Demnach muss die antreibende Kraft hier größer sein als die Reibungskraft. Auch hier spielt es keine Rolle wie lang die Kraftpfeile gezeichnet werden. Sie müssen nur wieder **entgegengesetzt gerichtet** sein und der Pfeil der antreibenden Kraft muss **länger sein** als der Pfeil der Reibungskraft.

## Lösungen zum Bearbeitungsgebiet 3

### Aufgabe 3.1: Zeichnen Sie die Kräfte und bestimmen Sie zeichnerisch die Größe der resultierenden Kraft.

Sie zeichnen die Kräfte am selben Angriffspunkt ausgehend, mit dem angegebenen Winkel dazwischen. Die resultierende Kraft erhalten Sie wieder als Diagonale des Kräfteparallelogramms. Die Größe der resultierenden Kraft können Sie ausmessen und mit dem von Ihnen gewählten Maßstab umrechnen. Sie erhalten als ungefähre Werte:

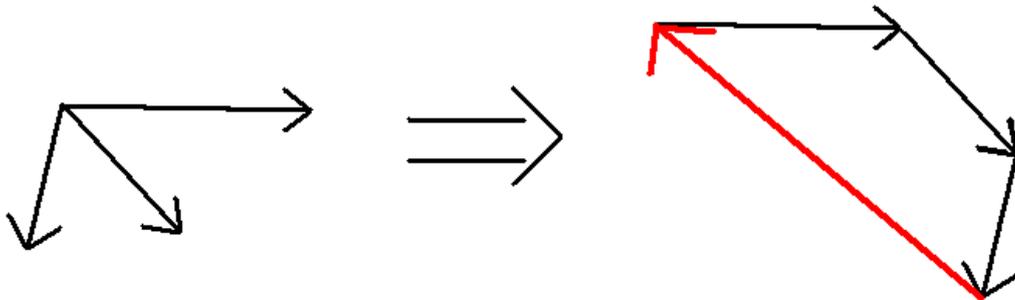
- a)  $F_{\text{res}} = 86,5\text{N}$
- b)  $F_{\text{res}} = 71\text{N}$
- c)  $F_{\text{res}} = 0\text{N}$  (entgegengesetzt und gleich groß, also im Gleichgewicht)

### Aufgabe 3.2: Was entgegnen Sie der Aussage über das Flugzeug im Kräftegleichgewicht.

Der Schüler oder die Schülerin hat Recht mit der Aussage, dass die Kräfte im Gleichgewicht sind und dass das dann so wäre, als ob überhaupt keine Kraft auf das Flugzeug wirkt. Falsch ist allerdings, dass das Flugzeug sich deswegen nicht bewegt und vom Himmel fällt. Das 1. Newtonsche Axiom besagt, dass sich ein Körper, auf den keine resultierende Kraft wirkt, entweder im Ruhezustand befindet oder aber eine gleichförmig geradlinige Bewegung durchführt. Das Flugzeug befindet sich also auch im Kräftegleichgewicht, wenn es mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus fliegt.

### Aufgabe 3.3: Ermitteln Sie die Kraft, mit der der Hahn an der Schnur zieht.

Da sich das System in Ruhe befindet, müssen die Kräfte im Gleichgewicht sein. Würde man die vier Kraftpfeile (also auch den von dem Hahn) „aneinanderhängen“, so müsste eine geschlossene Figur entstehen, damit die resultierende Kraft Null ist. Sie müssen also die drei bekannten Kräfte von den Hühnern nehmen und so wie Sie es gelernt haben zeichnerisch addieren. Die Kraft (bzw. der Kraftpfeil), der dann noch fehlt, um die Pfeilkette zu schließen, stellt die Kraft dar, mit der der Hahn zieht.

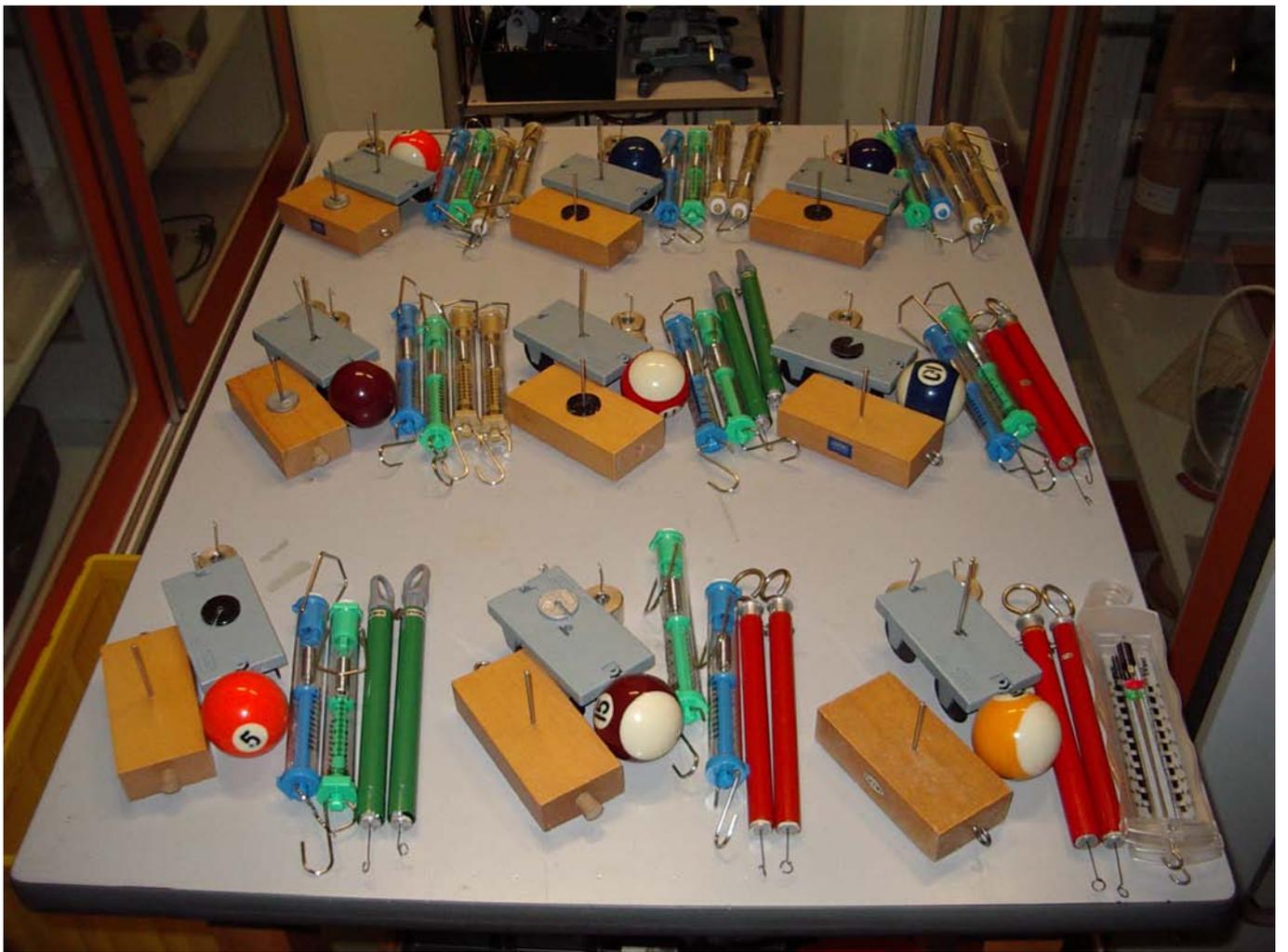


### Aufgabe 3.4: Wo kommt die Kraft her, die die Gewichtskraft kompensiert?

Wie Sie wissen, wirkt auf das Auto die Gewichtskraft. Mit dieser Gewichtskraft wird das Auto von der Erde angezogen, also auf den Boden gedrückt. Das Auto drückt also mit seiner Gewichtskraft auf den Boden, auf dem es sich befindet (die Erdoberfläche) und wirkt somit eine Kraft darauf aus. Gemäß dem 3. Newtonschen Axiom übt dann der Boden eine **gleich große** und **entgegengesetzt gerichtete** Wechselwirkungskraft auf das Auto aus. An dem Auto greift also eine zusätzliche Kraft an, die nach oben gerichtet ist (genau entgegengesetzt zur Gewichtskraft) und genauso groß ist wie die Gewichtskraft. Das ist die gesuchte Gegenkraft, die die Gewichtskraft kompensiert.

# Anhang A3:

Bilder der  
Versuchsmaterialien



# Anhang A4:

Fragebogen zur  
Auswertung der  
Erfahrungen der SuS  
mit der Aktionsbox

## INTERESSANT – WICHTIG – SCHWIERIG?

**Bitte kreuze für die nachfolgenden Aussagen an, wie stark sie zutreffen.**

	trifft voll zu	trifft etwas zu	trifft kaum zu	trifft gar nicht zu
Die Bearbeitung der Einheit zu <i>Kräften</i> hat mir Spaß gemacht.				
Ich würde gerne noch weitere Aufgaben zu dem Thema <i>Kräfte</i> bearbeiten.				
Es wurden viel zu viele Informationen präsentiert, jetzt bin ich richtig verwirrt.				
Ich würde die Einheit zur Vorbereitung auf eine Klassenarbeit nutzen.				
Wenn es mehr Beispiele gegeben hätte, hätte ich die Einheit bestimmt (noch) besser verstanden.				
Ich habe bei der Bearbeitung der Einheit viel dazu gelernt.				
Wenn ich ehrlich bin, hatte ich nach einer Schulstunde keine Lust mehr, die Einheit zu bearbeiten.				
Ich würde eine solche Einheit auch gerne in meiner Freizeit bearbeiten.				
Die Zahl der Beispiele war völlig ausreichend, um die wichtigen Informationen zu verstehen.				
Die Inhalte der Einheit habe ich interessant gefunden.				
Ich habe mich bei der Bearbeitung der Einheit wieder an vieles aus dem Unterricht erinnern können.				
Mir hat gut gefallen, dass ich nicht alleine die Einheit bearbeiten musste.				
Eigentlich habe ich schon alles gewusst, was in der Einheit dran gekommen ist.				
Die Bearbeitung der Einheit war eine Abwechslung zum normalen Unterricht.				
Ich hatte das Gefühl, dass ich selbst entscheiden konnte, wie ich die Einheit bearbeiten will.				
Ich hätte mir gewünscht, dass die Einheit auf mehrere Termine verteilt gewesen wäre.				

# Anhang A5:

Auswertung des  
Fragebogens in den  
Grundkursen der  
Jahrgangsstufe 12

## INTERESSANT – WICHTIG – SCHWIERIG?

**Bitte kreuze für die nachfolgenden Aussagen an, wie stark sie zutreffen.**

	trifft voll zu	trifft etwas zu	trifft kaum zu	trifft gar nicht zu
Die Bearbeitung der Einheit zu <i>Kräften</i> hat mir Spaß gemacht.	14	23	7	1
Ich würde gerne noch weitere Aufgaben zu dem Thema <i>Kräfte</i> bearbeiten.	4	16	16	9
Es wurden viel zu viele Informationen präsentiert, jetzt bin ich richtig verwirrt.	0	7	18	20
Ich würde die Einheit zur Vorbereitung auf eine Klassenarbeit nutzen.	13	13	15	4
Wenn es mehr Beispiele gegeben hätte, hätte ich die Einheit bestimmt (noch) besser verstanden.	7	7	18	13
Ich habe bei der Bearbeitung der Einheit viel dazu gelernt.	2	21	20	2
Wenn ich ehrlich bin, hatte ich nach einer Schulstunde keine Lust mehr, die Einheit zu bearbeiten.	13	15	12	5
Ich würde eine solche Einheit auch gerne in meiner Freizeit bearbeiten.	1	2	9	33
Die Zahl der Beispiele war völlig ausreichend, um die wichtigen Informationen zu verstehen.	20	13	12	0
Die Inhalte der Einheit habe ich interessant gefunden.	2	34	8	1
Ich habe mich bei der Bearbeitung der Einheit wieder an vieles aus dem Unterricht erinnern können.	24	18	2	1
Mir hat gut gefallen, dass ich nicht alleine die Einheit bearbeiten musste.	33	9	3	0
Eigentlich habe ich schon alles gewusst, was in der Einheit dran gekommen ist.	10	20	13	2
Die Bearbeitung der Einheit war eine Abwechslung zum normalen Unterricht.	32	11	2	0
Ich hatte das Gefühl, dass ich selbst entscheiden konnte, wie ich die Einheit bearbeiten will.	8	24	12	1
Ich hätte mir gewünscht, dass die Einheit auf mehrere Termine verteilt gewesen wäre.	15	11	13	6

# Anhang A6:

Auswertung des  
Fragebogens im  
Leistungskurs der  
Jahrgangsstufe 13

## INTERESSANT – WICHTIG – SCHWIERIG?

**Bitte kreuze für die nachfolgenden Aussagen an, wie stark sie zutreffen.**

	trifft voll zu	trifft etwas zu	trifft kaum zu	trifft gar nicht zu
Die Bearbeitung der Einheit zu <i>Kräften</i> hat mir Spaß gemacht.	6	8	1	0
Ich würde gerne noch weitere Aufgaben zu dem Thema <i>Kräfte</i> bearbeiten.	2	5	7	1
Es wurden viel zu viele Informationen präsentiert, jetzt bin ich richtig verwirrt.	0	1	3	11
Ich würde die Einheit zur Vorbereitung auf eine Klassenarbeit nutzen.	4	4	5	2
Wenn es mehr Beispiele gegeben hätte, hätte ich die Einheit bestimmt (noch) besser verstanden.	1	2	10	2
Ich habe bei der Bearbeitung der Einheit viel dazu gelernt.	0	4	9	2
Wenn ich ehrlich bin, hatte ich nach einer Schulstunde keine Lust mehr, die Einheit zu bearbeiten.	1	4	5	5
Ich würde eine solche Einheit auch gerne in meiner Freizeit bearbeiten.	0	3	7	5
Die Zahl der Beispiele war völlig ausreichend, um die wichtigen Informationen zu verstehen.	12	3	0	0
Die Inhalte der Einheit habe ich interessant gefunden.	5	8	2	0
Ich habe mich bei der Bearbeitung der Einheit wieder an vieles aus dem Unterricht erinnern können.	13	2	0	0
Mir hat gut gefallen, dass ich nicht alleine die Einheit bearbeiten musste.	11	4	0	0
Eigentlich habe ich schon alles gewusst, was in der Einheit dran gekommen ist.	4	11	0	0
Die Bearbeitung der Einheit war eine Abwechslung zum normalen Unterricht.	12	3	0	0
Ich hatte das Gefühl, dass ich selbst entscheiden konnte, wie ich die Einheit bearbeiten will.	3	7	4	1
Ich hätte mir gewünscht, dass die Einheit auf mehrere Termine verteilt gewesen wäre.	1	0	7	7

## **Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwandt und die Stellen, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe. Auch aus anderen Quellen entnommene Bilder und Abbildungen sind in entsprechender Weise gekennzeichnet.

---

(Christopher Achenbach)