

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Untersuchung bekannter und Aufdeckung neuer
Schülervorstellungen zum Thema Reibung

verfasst von | submitted by
Markus Glassner BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 520 523 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Mathematik Unterrichtsfach Physik

Betreut von | Supervisor:

Mag. Dr. Hildegard Urban-Woldron Privatdoz.

Abstract

Deutsch

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Schülervorstellungen zum Thema Reibung zwischen Festkörpern zu untersuchen, um einen wissenschaftlichen Beitrag zur Schließung der Forschungslücke zu leisten. Denn während zum Teilgebiet der Mechanik umfassende Erhebungen von Schülervorstellungen vorliegen, sind zum Thema Reibung im deutsch- und englischsprachigen Raum nur wenige Untersuchungen bekannt. Einerseits werden diese bisherigen Forschungsergebnisse untersucht und andererseits wird Ausschau nach neuen Schülervorstellungen im Kontext der Reibung gehalten. Die Lernendenvorstellungen wurden durch Online-Umfragen in den Schulstufen 7, 8 und 9 eines österreichischen Bundesrealgymnasiums untersucht. Das Kernelement der Arbeit bildet eine zusammenfassende Darstellung der erhobenen Schülervorstellungen zum Thema Reibung. Darüber hinaus werden fachdidaktische Zugänge präsentiert, wie diese Fehlvorstellungen durch Lehrpersonen im Physikunterricht aufgearbeitet werden können.

English

The purpose of this study was to fill a knowledge gap in science by examining how students perceive friction between solids. Although there are extensive surveys of mechanics students' perceptions, there are only a few studies on friction known in German- and English-speaking nations. While reviewing the findings of prior research, attention is also paid to potential new student conceptions in the context of friction. Online surveys in grades 7, 8, and 9 of a federal secondary school in Austria were used to investigate the students' perspectives. A summary of the survey results on students' perceptions of friction forms the work's central component. Teachers can correct these misconceptions in physics lessons by implementing the didactic approaches that are offered.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Fachwissenschaftliche Grundlagen	4
2.1. Newton'sche Axiome	4
2.2. Darstellung von Kräften und Superposition	7
2.3. Reibung zwischen Festkörpern	8
2.3.1. Haftreibung	10
2.3.2. Gleitreibung	12
2.3.3. Rollreibung	12
2.3.4. Schiefe Ebene	13
3. Fachdidaktischer Zugang	16
3.1. Bezug zum Lehrplan	16
3.2. Key ideas	17
3.3. Vorwissen der Lernenden	18
4. Schülervorstellungen	19
4.1. Entwicklung von Schülervorstellungen	20
4.2. Bedeutung von Schülervorstellungen im Physikunterricht	21
4.3. Umgang mit Schülervorstellungen im Physikunterricht	23
4.4. Schülervorstellungen zum Thema Mechanik	28
4.5. Aktueller fachdidaktischer Forschungsstand zur Reibung	31
5. Forschungsziel	36
5.1. Forschungsfragen	36
5.2. Hypothesen zu möglichen Schülervorstellungen	37
5.2.1. Prätest	37
5.2.2. Posttest	40
6. Forschungsdesign	43
6.1. Instrumente zur Datenerhebung	43
6.2. Methoden zur Datenauswertung	47

6.3. Beschreibung der Stichprobe	53
7. Gesammelte Daten	55
7.1. Erkenntnisse aus Interviews	55
7.2. Daten aus Online-Umfragen	57
8. Datenanalyse und Gültigkeit der Forschungsergebnisse	64
8.1. Datenanalyse	64
8.2. Literaturvergleich und neue Schülervorstellungen	73
8.3. Schülervorstellungen zusammenführen	79
8.4. Gültigkeit der Ergebnisse	82
9. Diskussion der Forschungsergebnisse und Ausblick	83
9.1. Zusammenstellung der untersuchten Schülervorstellungen	83
9.2. Beantwortung der Forschungsfragen	84
9.3. Weitere Aspekte aus den gewonnenen Datensätzen	91
9.4. Konsequenzen für den Physikunterricht	93
9.5. Fazit und Ausblick	100
A. Verzeichnisse	102
A.1. Literaturverzeichnis	102
A.2. Abbildungsverzeichnis	106
A.3. Tabellenverzeichnis	107
B. Anhang	108
B.1. Einzelergebnisse der Interviews	108
B.2. Prätest - Erstversion	114
B.3. Prätest - überarbeitete Version	122
B.4. Posttest	131

1. Einleitung

Schülervorstellungen haben sich in zahlreichen Studien als entscheidender Faktor für schulischen Lernerfolg herausgestellt. Da neue Informationen stets auf der Grundlage des bestehenden Wissensnetzes wahrgenommen und verarbeitet werden, haben (teilweise) falsche Alltagsvorstellungen, mit denen Lernende das Klassenzimmer betreten, weitreichende Folgen für das Verständnis physikalischer Konzepte. Als Reaktion auf die Forschungsergebnisse ist die Physikdidaktik seit Jahrzehnten bestrebt, Schülervorstellungen zu allen großen Teilgebieten der Physik durch empirische Untersuchungen zu erheben. Aus umfassenden Zusammenstellungen dieser Fehlvorstellungen, wie beispielsweise in der Literatur (1), können Lehrkräfte einschätzen, mit welchen Vorstellungen ihre Schüler*innen in den Unterricht kommen. Folglich ist es Aufgabe der Lehrpersonen, mögliche Vorstellungen in der Unterrichtsvorbereitung zu berücksichtigen sowie über Strategien zum Umgang mit Schülervorstellungen Bescheid zu wissen, um auf diese Fehlvorstellungen im Zuge des Unterrichts adäquat reagieren zu können. (2, S.1)

Das Thema Reibung wird im Physikunterricht in der Regel nur kurz am Ende des Kapitels Mechanik angesprochen. Dieser Umstand deckt sich jedoch nicht mit der hohen Bedeutsamkeit der Reibung im Alltag und in der Technik. Dass in der Physik Reibungskräfte bei Berechnungen oftmals zur Reduktion der Komplexität eines vorliegenden Problems vernachlässigt werden, gilt es den Lernenden dahingehend zu vermitteln, dass dies nur dann zulässig ist, wenn wissenschaftlich nachvollziehbar erklärt werden kann, wieso die Reibungswiderstände (Unterlage, Luftwiderstand, etc.) in der vorliegenden Situation (nahezu) keine Rolle spielen. Ohne diese Diskussion könnten die Lernenden einerseits glauben, dass die im Physikunterricht vorgenommenen Idealisierungen (ohne Reibung) der Realität entsprechen, oder andererseits könnten sie die Physik als eine Ansammlung von Theorien auffassen, die keinen Bezug zur realen Welt aufweisen. (3, S.1292), (4, S.1033)

Während zur Mechanik (Kraftbegriff, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Newton'sche Axiome, etc.) zahlreiche Erhebungen von Schülervorstellungen vorliegen, sind solche zur Reibung, als Teilbereich der Mechanik, vergleichsweise eine Seltenheit. Im Bestreben, einen wissenschaftlichen Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücke zu leisten, soll es das Ziel der vorliegenden Arbeit sein, eine umfassende Zusammenstellung aus

wissenschaftlich bereits untersuchten Schülervorstellungen zum Thema Reibung und im Rahmen der empirischen Untersuchung dieser Arbeit neu entdeckten Vorstellungen zu generieren. Umgesetzt wird dieses Vorhaben durch Online-Umfragen, welche in den Schulstufen 7, 8 und 9 durchgeführt werden.

Als Zielgruppe dieser Arbeit können sowohl Physiklehrkräfte als auch Forscher*innen der Physikdidaktik ausgemacht werden. Denn einerseits soll die Sammlung an Schülervorstellungen Lehrkräften einen Überblick über mögliche Fehlvorstellungen von Lernenden im Reibungskontext geben, andererseits sind an diese Arbeit anschließende Studien, die die Forschung in diesem Bereich weiter vorantreiben, aus fachdidaktischer Sicht äußerst erstrebenswert.

Die Gliederung der Arbeit in einzelne Teilabschnitte wird folglich näher erläutert. Nach diesem einleitenden Kapitel wird im darauffolgenden Abschnitt der fachwissenschaftliche Hintergrund, bestehend aus den Newton'schen Axiomen, dem Vektoraspekt von Kräften, den unterschiedlichen Formen von Reibung zwischen Festkörpern sowie der Reibung auf einer schiefen Ebene, beleuchtet. Im dritten Kapitel werden der Lehrplanbezug, key ideas zum Thema Reibung und das erforderliche Vorwissen der Lernenden im Zuge fachdidaktischer Überlegungen diskutiert. Kapitel 4 wendet sich Schülervorstellungen zu, indem dieser Begriff im ersten Schritt genauer erläutert wird, gefolgt von der Entstehung von Schülervorstellungen im Sinne einer konstruktivistischen Lerntheorie sowie der Bedeutung und dem Umgang mit Schülervorstellungen im Physikunterricht. Die letzten beiden Teilabschnitte von Kapitel 4 spiegeln den aktuellen Forschungsstand der Physikdidaktik im Themenbereich der Mechanik bzw. genauer zur Reibung wider, denn einerseits werden bereits bekannte Schülervorstellungen in der Mechanik thematisiert und andererseits werden wissenschaftlich erprobte Unterrichtskonzepte zur Vermittlung von Reibung im Physikunterricht betrachtet. Dem Definieren des Forschungsziels, als fundamentalem Bestandteil wissenschaftlichen Arbeitens, wird in Abschnitt 5 Rechnung getragen. Neben dem primären Ziel, bereits bekannte Schülervorstellungen zum Thema Reibung zu untersuchen sowie Ausschau nach neuen zu halten, sollen sowohl Verbindungen zwischen diesen Vorstellungen aufgezeigt werden als auch personenspezifische Merkmale von Schüler*innen ihren Lernleistungen gegenübergestellt werden. Die zudem in diesem Abschnitt festgehaltenen Hypothesen zu

möglichen Schülervorstellungen bilden die Grundlage der beiden Online-Fragebögen, denn anhand dieser soll überprüft werden, ob und inwiefern diese Vorstellungen in den Köpfen der Schüler*innen vorliegen.

Mit Kapitel 6 beginnt der empirische Teil der vorliegenden Arbeit. In diesem Abschnitt werden die Instrumente zur Datenerhebung, die Werkzeuge zur Datenanalyse und die vorliegende Stichprobe beschrieben. Im nächsten Kapitel werden die Erkenntnisse aus den Interviews und die daraus resultierenden Veränderungen auf den Online-Fragebogen des Prätests dargelegt sowie die aus den beiden Tests gesammelten Daten festgehalten. Im Zuge der Datenanalyse (Kapitel 8) wird ein Abgleich zwischen aufgetretenen Schülervorstellungen und der Literatur hergestellt, neue Präkonzepte werden erfasst, und ein Zusammenführen einzelner Fehlvorstellungen findet statt. Im finalen Abschnitt werden die erhobenen Schülervorstellungen zum Thema Reibung zusammenfassend dargestellt und die Forschungsfragen werden beantwortet. Weiters werden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung diskutiert und daraus Folgerungen für den Physikunterricht abgeleitet. Zuletzt wird ein Ausblick auf weiterführende Forschung zu dieser Thematik gegeben.

Um den Forschungsbereich der Arbeit eindeutig abzugrenzen, wird darauf verwiesen, dass sich die durchgeführte Untersuchung ausschließlich auf Reibung zwischen Festkörpern bezieht und demnach Reibungswiderständen in Fluiden oder Gasen keine Aufmerksamkeit geschenkt wird.

2. Fachwissenschaftliche Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die fachlichen Grundlagen des Themas Reibung dargestellt, um eine wissenschaftliche Diskussionsbasis hinsichtlich der Schülervorstellungen zu dieser Thematik zu schaffen. Dazu werden im ersten Schritt die drei Newton'schen Axiome angeführt, daran anschließend wird die vektorielle Darstellung von Kräften und die Summe von Kräften thematisiert, bis schließlich die drei Reibungsarten zwischen Festkörpern (Haft-, Gleit- und Rollreibung) sowie deren Anwendung auf einer schiefen Ebene näher beleuchtet werden.

2.1. Newton'sche Axiome

Die drei Newton'schen Axiome gelten als die Grundgleichungen der klassischen Mechanik. Diese Annahmen (Axiome) ermöglichen einerseits bei Kenntnis der wirkenden Kräfte auf einen Körper dessen Bewegung vorherzusagen und andererseits aus einer vorliegenden Bewegung eines Körpers Rückschlüsse auf die wirkenden Kräfte zu ziehen. Bei der Herleitung der Newton'schen Axiome wird auf den Impuls als physikalische Größe zurückgegriffen. Der Zugang über den Impuls spielt in der Physik zwar eine zentrale Rolle, da sich die vorliegende Arbeit jedoch mit Reibungskräften befasst, ist die Darstellung der Newton'schen Axiome über den Kraftbegriff hier von besonders hoher Bedeutung.

- 1. Newton'sches Axiom (Trägheitsprinzip):** Wirkt auf einen Körper keine Kraft, so verharrt der Körper im Zustand der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung. (5, S.53)

Eine Formulierung des 1. Newton'schen Axioms, die aus Sicht der Fachdidaktik für den Physikunterricht als geeignet erachtet wird (siehe Abschnitt 4.4, „Das Beharrungsprinzip gilt nur für Spezialfälle“), ist nachstehend angeführt.

„Wirkt auf einen Körper keine äußere Kraft oder heben sich die angreifenden Kräfte gegenseitig auf, so behält der Körper seinen Bewegungszustand nach Tempo und Richtung bei.“ (1, S.77)

Da ein sich im Weltall fortbewegendes Teilchen kaum auf andere Teilchen trifft, kann angenommen werden, dass auf das Teilchen keine Kraft wirkt. Mit *keine Kraft* ist hier gemeint, dass überhaupt keine Kraft auf das Teilchen einwirkt und nicht, dass die Summe aller auf das Teilchen einwirkenden Kräfte gleich Null ist (gängige Alltagssituation). Entsprechend dem 1. Newton'schen Gesetz bleibt das Teilchen in Ruhe bzw. hält es seine Bewegung mit konstantem Tempo in dieselbe Richtung aufrecht. Das Teilchen führt diese Bewegung aus, bis es früher oder später doch auf ein anderes Teilchen trifft oder vom Gravitationspotential eines Sterns beschleunigt wird.

Das Bestreben von Körpern, ihren aktuell vorliegenden Bewegungszustand beizubehalten, wird als Trägheit bezeichnet. Daher wird das 1. Newton'sche Gesetz auch Trägheitsprinzip genannt. (6, S.48)

Um die Wirkung einer Kraft auf einen Massenpunkt beschreiben zu können, wird der Impuls als $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ eingeführt. Der Impuls des Massenpunkts als physikalische Größe, welcher einem Vektor als mathematisches Objekt entspricht, ist demnach als Produkt der Masse m des Massenpunkts und dessen Geschwindigkeit $\vec{v}$ gegeben. Die Definition des Impulses ist es, welche einen Zugang zum 2. Newton'schen Axiom ermöglicht. (7, S.40)

2. Newton'sches Axiom (Aktionsprinzip): Kraft ist die Ursache für eine zeitliche Änderung des Impulses, ausgedrückt durch die Formel $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. (5, S.53)

Wird in diese Formel nun die Definition des Impulses eingesetzt und die zeitliche Unabhängigkeit der Masse (siehe nächster Absatz) angenommen, so lässt sich entsprechend der Rechnung

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = m \cdot \underbrace{\frac{d\vec{v}}{dt}}_{\vec{a}} + \underbrace{\frac{dm}{dt}}_0 \cdot \vec{v},$$

das 2. Newton'sche Axiom in der als Gleichung (1) festgehaltenen Form darstellen.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

Im Rahmen der Relativitätstheorie tritt für Geschwindigkeiten von der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit eine relativistische Massenzunahme auf, sodass die Masse eine

zeitabhängige Größe darstellt. Diese Zeitabhängigkeit wird in der klassischen Mechanik in der Regel vernachlässigt, da die in der klassischen Mechanik behandelten Geschwindigkeiten viel kleiner sind, als dass relativistische Effekte von Bedeutung wären.

Gleichung (1) ermöglicht eine Interpretation der Masse m eines Körpers als träge Masse bzw. Trägheitswiderstand, das heißt als Widerstand des Körpers gegen eine Änderung seines vorliegenden Bewegungszustands. Wirkt eine konstante Kraft auf einen Körper, so fällt die Beschleunigung des Körpers umso kleiner aus, je größer die träge Masse des Körpers ist. (7, S.40)

Die Darstellung des 2. Newton'schen Axioms über Gleichung (1) ermöglicht es zudem, Kraft als Ursache für eine Beschleunigung (Tempo- oder Richtungsänderung) aufzufassen. (6, S.49)

3. Newton'sches Axiom (Wechselwirkungsprinzip): Übt ein Körper A eine Kraft auf einen Körper B aus, so übt Körper B eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete, Kraft auf Körper A aus. Mathematisch wird dies über Gleichung (2) beschrieben.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (2)$$

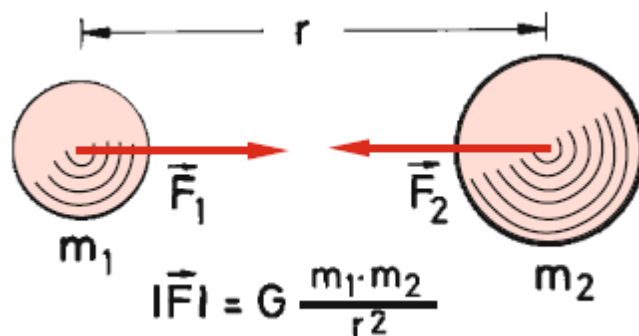


Abbildung 1.: Gravitationskräfte zwischen 2 Massen (5, S.54)

Das Wechselwirkungsprinzip stellt beispielsweise eine zentrale Annahme für das Newton'sche Gravitationsgesetz dar. In Abbildung 1 sind zwei Teilchen mit den Massen m_1 und m_2 dargestellt. Die Teilchen ziehen sich entsprechend dem Newton'schen Gravitationsgesetz mit einer Kraft $|\vec{F}| = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ an. Dabei ist G die Gravitationskonstante

und r stellt den Abstand zwischen den beiden Teilchen dar. Die auf die beiden Körper wirkenden Kräfte sind entsprechend dem 3. Newton'schen Axiom betragsmäßig gleich groß, aber zeigen in die entgegengesetzte Richtung. (5, S.54)

Wir fassen die beiden Teilchen als abgeschlossenes System auf, das heißt es erfolgt keine Wechselwirkung mit der Umgebung. Da auf die beiden Teilchen, wie auf freie Teilchen, keine äußeren Kräfte wirken, ist der Gesamtimpuls des Systems zeitlich konstant. Dies lässt sich schreiben als $p_1 + p_2 = \text{const.}$ Diese Gleichung nach der Zeit abgeleitet lautet

$$\underbrace{\frac{dp_1}{dt}}_{\vec{F}_1} + \underbrace{\frac{dp_2}{dt}}_{\vec{F}_2} = 0,$$

woraus nach Anwendung des 2. Newton'schen Axioms die Gleichung (2) folgt. Experimentell lässt sich das Wechselwirkungsprinzip beispielsweise mit zwei gleichem Kraftmessern überprüfen. Der Haken des einen Kraftmessers wird in den Haken des anderen eingehängt, woraufhin an beiden Kraftmessern am jeweils anderen Ende gezogen wird. (5, S.54)

Ein wichtiges Beispiel aus dem Alltag, in dem das Wechselwirkungsprinzip deutlich wird, ist ein ruhender Körper auf einer Unterlage. Die auf den Körper wirkende Gewichtskraft bewirkt, dass der Körper diese Kraft auf die Unterlage ausübt. Dadurch kommt es zu einer elastischen Verformung der Unterlage, wodurch eine betragsmäßig gleich große Gegenkraft zur Gewichtskraft erzeugt wird, welche auf den Körper wirkt. (5, S.55)

Kraft und Gegenkraft, welche bei Wechselwirkung zwischen zwei Körpern auftreten, greifen niemals am selben Körper an, stattdessen wirkt je eine Kraft pro Reaktionspartner. (6, S.52)

2.2. Darstellung von Kräften und Superposition

Kräfte weisen neben ihrer Stärke (Betrag) auch immer eine Richtung auf, in die sie wirken, weshalb Kräfte als Vektoren aufgefasst werden. Die Pfeildarstellung von Vektoren ermöglicht es, die Richtung, in die die Kraft wirkt, durch die Pfeilrichtung anzugeben sowie die Stärke (Betrag) der Kraft über die Länge des zugeordneten Pfeils. (6, S.50) Da räumliche Verschiebungen über Vektoren dargestellt werden können, ordnet man

den physikalischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung ebenfalls Vektoren als mathematische Objekte zu. (7, S.42)

Wirken auf einen Körper mehrere Kräfte gleichzeitig, so lässt sich durch Bilden der Vektorsumme die resultierende Kraft berechnen. Das heißt, alle auf einen Körper einwirkenden Kräfte wirken mit ihrer jeweiligen Stärke und Richtung auf den Körper ein und die daraus resultierende Kraft in Betrag und Richtung lässt sich über die Vektorsumme (Superpositionsprinzip) angeben. (6, S.51) Ist die Summe aller auf einen Körper wirkenden Kräfte gleich Null - das heißt, die Kräfte heben einander auf - so spricht man von Kräftefreiheit. (7, S.42)

2.3. Reibung zwischen Festkörpern

Stehen zwei Festkörper in Kontakt miteinander, so tritt zwischen diesen Reibung auf. Dabei muss zwischen zwei Effekten unterschieden werden, welche Reibung zwischen Festkörpern verursachen.

1. *Oberflächenrauigkeit der beiden Festkörper:* In den meisten Fällen ist die zwischen zwei sich berührenden Festkörpern wirkende Reibung, auf die Rauigkeit der Körperoberflächen zurückzuführen. Dieser Aspekt der Unebenheit der beiden Körperoberflächen wird in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Selbst glatt erscheinende Materialien, wie etwa Eisen oder Glas, stellen keine ideale Ebene dar, denn sie weisen im mikroskopischen Bereich Unebenheiten (Berge und Täler) auf. Diese Erhebungen und Senken „verhaken“ sich ineinander und hemmen somit die Bewegung eines Körpers auf einer Unterlage. (5, 191), (6, S.53)
2. *Anziehung der Oberflächenteilchen:* Treten zwei Körper mit glatten Oberflächen, wie beispielsweise zwei Glasplatten, in Kontakt, so spielt die zuvor beschriebene Oberflächenrauigkeit nahezu keine Rolle. Stattdessen lässt sich die zwischen den Körpern auftretende Reibung auf die Teilchen (Atome bzw. Moleküle), aus denen beide Körper an der Oberfläche bestehen, zurückführen. Diese Oberflächenteilchen ziehen einander an und bewirken dadurch ein Bewegungshemmnis. (8, S.50)

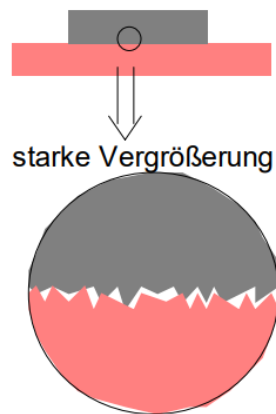


Abbildung 2.: Oberflächenrauigkeit als Ursache der Reibung (8, S.50)

Somit fallen je nach Material der beiden Körper (vorliegende Oberflächenteilchen) und der Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit) die Reibungskräfte unterschiedlich stark aus. (7, S.129) Um den Bewegungswiderstand physikalisch beschreiben zu können, werden Reibungskräfte eingeführt, welche stets entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Körpers wirken. (5, 191), (6, S.53)

Bei Reibungsvorgängen tritt ein Verlust an (zumeist) kinetischer Energie auf, da diese überwiegend in Wärmeenergie umgewandelt wird. Zusätzlich kommt es bei der Reibung zwischen Festkörpern in der Regel zu einem Materialverschleiß (Abnutzung) der beiden einander berührenden Körperoberflächen. (7, S.129)

Es gilt Haft-, Gleit- und Rollreibung als Arten von Reibungswiderständen zu unterscheiden. Haftreibung zwischen zwei Festkörpern tritt auf, wenn auf (zumindest) einem der beiden Körper eine Kraft ausgeübt wird, sodass sich die Unebenheiten der beiden berührenden Oberflächen in Folge der minimalen Bewegung (optisch nicht wahrnehmbar) ineinander „verhaken“. Hingegen wirkt die Gleitreibung, wenn sich zumindest einer der beiden in Kontakt stehenden Körper (optisch sichtbar) bewegt (Relativgeschwindigkeit ungleich Null). Rollreibung hingegen tritt dann in Erscheinung, wenn sich ein Körper, z.B. ein Rad, auf einer Unterlage abrollt. (9, S.172)

Während Reibungskräfte bei experimentellen Untersuchungen der klassischen Mechanik in der Regel als störend empfunden und damit auf ein Minimum reduziert werden,

sind Reibungskräfte in unserem Alltag und in der Technik unerlässlich. (5, S.190) Denn ohne Haftreibung könnten wir nicht gehen (kein Abstoßen vom Boden), auf einer Bergstraße stehen, oder mit einem Auto losfahren oder kurzzeitig bremsen. (9, S.172) Zudem würden ohne Haftreibung deutlich mehr Objekte vom Tisch rutschen, denn ohne Reibung würde dafür eine nicht exakt horizontale Ausrichtung eines Tisches bereits ausreichen. Genauso kann es vorkommen, dass die wirkende Haftreibung höher als gewünscht ausfällt. So müssen beispielsweise Gelenke oder Scharniere im Zuge technischer Wartungen geschmiert werden, um den Materialverschleiß durch Reibung zu reduzieren. (6, S.54)

Bei einer Notbremsung mit dem Auto (blockierende Räder) tritt zwischen den Reifen und der Straße Gleitreibung auf. Zudem sind die in Autos und Zügen verbauten Scheibenbremsen auf die zwischen der Bremsscheibe und den Bremsbacken wirkenden Gleitreibung angewiesen. In der Technik spielt die Gleitreibung bei der Bearbeitung von Materialien, wie etwa durch Feilen, Fräsen oder Bohren, eine zentrale Rolle. (5, S.190) Es lassen sich aber auch Situationen aus dem Alltag nennen, in denen Gleitreibung als unerwünscht angesehen wird. Beispielsweise möchte man beim Eishockey spielen den Puck mit möglichst hoher Geschwindigkeit in Richtung Tor schießen, welche durch die, wenn auch geringe, Gleitreibungskraft verringert wird.

Rollreibung tritt beispielsweise beim Rad- oder Autofahren in Erscheinung. Während es beim Autofahren in Hinblick auf den Spritverbrauch und den Reifenverschleiß wünschenswert ist, die Rollreibung zwischen Reifen und Straße zu minimieren, könnte ein/e Profisportler/in daran interessiert sein, durch weniger Luftdruck im Fahrradreifen eine höhere Rollreibung zu erzielen, um das Training zu intensivieren. (9, S.175)

2.3.1. Haftreibung

In Abbildung 3 ist eine experimentelle Anordnung zur Messung der Haftreibung ersichtlich. Dabei wird ein Körper mit einer ebenen Grundfläche, wie hier z.B. ein Quader, horizontal über eine Unterlage gezogen. Dazu wird auf den Körper eine Kraft $\vec{F}$ ausgeübt, welche über einen Kraftmesser bestimmt wird. Es zeigt sich, dass der Körper in Ruhe bleibt und sich erst zu bewegen beginnt, als $F := |\vec{F}|$ einen Grenzwert $F_H := |\vec{F}_H|$ überschreitet. (5, S.190) Mit zunehmender Kraft, die wir auf den Körper ausüben, steigt auch gleichermaßen der Betrag der Haftreibungskraft, bis hin zum

Grenzwert der maximalen Haftreibung F_H . (6, S.54, 55) Wird der Körper, so wie in Teil b von Abbildung 3 ersichtlich, umgedreht, zeigt sich keine Veränderung der maximalen Haftreibung F_H . Daraus lässt sich schließen, dass die Größe der Kontaktfläche keinen Einfluss auf den Betrag der Haftreibungskraft hat. (5, S.190)

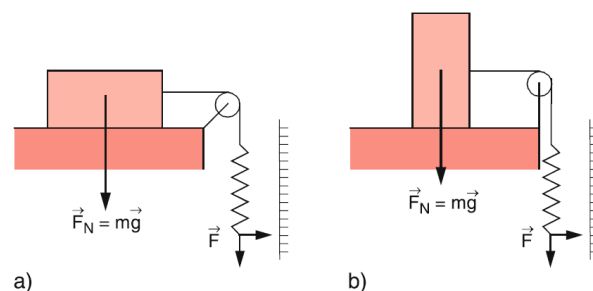


Abbildung 3.: Messung der Haftreibung (5, S.190)

Aus dem Experiment kann auf Gleichung (3) geschlossen werden. Dabei steht F_H für die maximale Haftreibungskraft, F_N für die Normalkraft und μ_H für den Haftreibungskoeffizienten, welcher das Material der beiden sich berührenden Körper sowie deren Oberflächenrauigkeit, berücksichtigt. (7, S.130)

$$F_H = \mu_H \cdot F_N \quad (3)$$

Wird der Körper mit einer zusätzlichen Kraft auf die Unterlage gedrückt, indem ein Massestück auf dem Körper platziert wird, so nimmt die Gewichtskraft (mit der der Körper auf die Unterlage drückt) und damit gleichermaßen auch die Normalkraft (die die Unterlage auf den Körper ausübt) zu, was zu einer Erhöhung von F_H führt. Ebenso zeigt sich eine Abhängigkeit der Haftreibungskraft F_H vom materialspezifischen Haftreibungskoeffizienten μ_H . (5, S.190)

Die Normalkraft $\vec{F}_N$ ist, entsprechend dem 3. Newton'schen Axiom, betragsmäßig gleich der Gewichtskraft $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$, zeigt aber in die entgegengesetzte Richtung. Vor allem in Hinblick auf die schiefe Ebene gilt es zu berücksichtigen, dass der in Abbildung 3 dargestellte Vektor dem der Gewichtskraft entspricht, mit der der Quader auf die Unterlage drückt und nicht wie eingezeichnet die Normalkraft. Denn der Vektor der Normalkraft zeigt in einer korrekten Darstellung senkrecht nach oben. Nur dann kommt es zu einem Kräftegleichgewicht, sodass der Quader in Ruhe auf der Unterlage liegen kann.

2.3.2. Gleitreibung

Mit der Überwindung der maximalen Haftreibung F_H beginnt ein auf einer Unterlage aufliegender Körper zu gleiten. Nun widersetzt sich die Gleitreibungskraft $\vec{F}_G$ der Bewegung des Körpers. Über den weiteren Bewegungszustand des Körpers entscheidet der Betrag der Gleitreibungskraft $|\vec{F}_G| =: F_G$ zum Betrag der von außen auf den Körper einwirkenden Kraft $|\vec{F}| =: F$. (6, S.54)

Es werden folgende drei Fälle unterschieden:

- $F < F_G$: Die Gleitreibungskraft überwiegt, wodurch der Körper immer langsamer wird und schließlich zum Stillstand kommt.
- $F = F_G$: Die Summe der auf den Körper einwirkenden Kräfte ist Null, wodurch sich dieser mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt (1. Newton'sches Axiom).
- $F > F_G$: Die äußere Kraft überwiegt, wodurch der Körper durch diese beschleunigt wird.

Analog zur (maximalen) Haftreibungskraft F_H , siehe dazu Gleichung (3), ergibt sich die Gleitreibungskraft F_G über Formel (4).

$$F_G = \mu_G \cdot F_N \quad (4)$$

Der materialspezifische Gleitreibungskoeffizient μ_G fällt kleiner aus als der Haftreibungskoeffizient μ_H , wodurch die Gleitreibungskraft F_G ebenfalls stets kleiner ist als die Haftreibungskraft F_H . Deshalb muss beispielsweise beim Verschieben eines Kastens deutlich mehr Kraft aufgewendet werden, um den Kasten in Bewegung zu versetzen, als ihn in Bewegung zu halten. Völlig analog zur Haftreibungskraft hängt auch die Gleitreibungskraft nicht von der Größe der Kontaktfläche der beiden Körper ab. (6, S.54), (9, S.172)

2.3.3. Rollreibung

Auch beim Abrollen eines runden Körpers auf einer Unterlage tritt Reibung auf. Die Existenz einer Rollreibungskraft (bzw. eigentlich eines Rollreibungsdrehmoments) lässt sich einerseits auf die Anziehungskräfte zwischen den Atomen an der Kontaktfläche

Körper-Unterlage zurückführen und andererseits über die Deformation der Unterlage erklären. Der runde Körper drückt mit einer, von seiner Masse abhängigen, Gewichtskraft auf die Unterlage, wodurch in dieser je nach Material eine mehr oder weniger tiefe Einkerbung (Deformation) entsteht, welche der Körper beim Rollen überwinden muss.

In Analogie zu den Gleichungen (3) und (4), ergibt sich das Rollreibungsdrehmoment D_R über Formel (5).

$$D_R = \mu_R \cdot F_N \quad (5)$$

Der materialspezifische Rollreibungskoeffizient μ_R fällt deutlich kleiner aus als der Gleitreibungskoeffizient μ_G , da der Körper beim Abrollen über die Unebenheiten aus Abbildung 2 teilweise hinwegrollt. (5, S.193) Zusammenfassend halten wir also die Ungleichungskette $\mu_H > \mu_G > \mu_R$ fest. Während der Haft- und der Gleitreibungskoeffizient dimensionslose Größen darstellen, hat der Rollreibungskoeffizient die Dimension einer Länge. (7, S.130)

Aus den Gleichungen (3), (4) und (5) kann entnommen werden, dass die wirkende Reibungskraft nicht von der (Relativ-) Geschwindigkeit abhängt, mit der sich ein Körper auf einer Unterlage bewegt (bei Bewegung beider sich berührenden Körper). (6, S.54) Die Unabhängigkeit der Gleitreibung von der Geschwindigkeit setzt jedoch niedrige Geschwindigkeiten voraus, denn für hohe Geschwindigkeiten kommt es je nach Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper zu einer Zu- oder Abnahme der Gleitreibung, sodass hier keine allgemeine Aussage möglich ist. (5, S.192), (9, S.173)

2.3.4. Schiefe Ebene

Die Reibungskoeffizienten μ_H , μ_G und μ_R lassen sich anhand einer schiefen Ebene experimentell bestimmen. In Abbildung 4, nach dem Werk (7, S.130), wird ein Körper betrachtet, der mit der auf ihn wirkenden Gewichtskraft $m \cdot \vec{g}$, auf die schiefe Ebene drückt. Der Neigungswinkel α_{HG} der schiefen Ebene wird so lange angehoben, bis der Körper bei $\alpha_{HG} = \alpha_{HG,max}$ zu rutschen beginnt. (5, S.191)

Dabei gilt für den Haftreibungswinkel α_H und den Gleitreibungswinkel α_G die Ungleichungskette $\alpha_H < \alpha_{HG,max} \leq \alpha_G$.

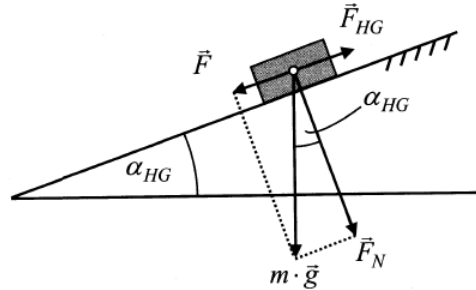


Abbildung 4.: Messung des Haft- bzw. Gleitreibungskoeffizienten (7, S.130)

Die Gewichtskraft $m \cdot \vec{g}$ kann in eine Komponente $\vec{F}$ parallel zur schiefen Ebene und in eine Komponente $\vec{F}_N$ senkrecht zur schiefen Ebene aufgeteilt werden. $\vec{F}$ wird folglich als Hangabtriebskraft und $\vec{F}_{HG}$ als (Haft- bzw. Gleit-) Reibungskraft bezeichnet. Die Hangabtriebskraft $\vec{F}$ bewirkt für $|\vec{F}| > |\vec{F}_{HG}|$, dass der Körper die schiefe Ebene beschleunigt hinuntergleitet. (5, S.191)

In einer korrekten Darstellung müsste der Vektor der Normalkraft F_N allerdings in die entgegengesetzte Richtung zeigen als in Abbildung 4 dargestellt. (10, S.116) Denn der Körper drückt mit einer Gewichtskraft $m \cdot \vec{g}$ auf die schiefe Ebene, wobei jedoch nur die zur schiefen Ebene senkrechte Komponente (hier fälschlicherweise als $\vec{F}_N$ dargestellt) auf die schiefe Ebene wirkt. Diese übt wiederum, gemäß dem 3. Newton'schen Axiom, eine betragsmäßig gleich große aber in die entgegengesetzte Richtung zeigende Kraft auf den Körper aus, wodurch sich die beiden Kräfte aufheben. Demnach entscheidet nur die Größe des Betrags der Hangabtriebskraft $\vec{F}$, als Resultierende aus der Gewichtskraft und der Normalkraft, zum Betrag der Reibungskraft $\vec{F}_{HG}$, ob der Körper bei gegebenem Neigungswinkel α_{HG} in Ruhe verbleibt oder zu gleiten beginnt. (11, S.37)

Die fehlerhafte Darstellung der Normalkraft $\vec{F}_N$ in Abbildung 4 spielt bei der Messung des Haft- bzw. Gleitreibungskoeffizienten in weiterer Folge keine Rolle. Wir setzen nun $|\vec{F}| := |\vec{F}_{HG}|$ und folgern daraus die Beziehungen $F_N = m \cdot g \cdot \cos(\alpha_{HG})$ und $F_{HG} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha_{HG})$. Nach dem Einsetzen der Gleichungen (3) und (4) in die

Beziehung $F_N = m \cdot g \cdot \cos(\alpha_{HG})$, ergibt sich $m \cdot g \cdot \sin(\alpha_{HG}) = \mu_{HG} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha_{HG})$, woraus nach Umformung, Formel (6) für den Haft- bzw. Gleitreibungskoeffizienten μ_{HG} resultiert.

$$\mu_{HG} = \tan(\alpha_{HG}) \quad (6)$$

Somit kann μ_{HG} aus dem experimentell bestimmbaren Haft- bzw. Gleitreibungswinkel α_{HG} gewonnen werden. (7, S.130, 131)

Alle zuvor gemachten Bemerkungen werden nun bei der Bestimmung des Rollreibungskoeffizienten μ_R eines rollenden Körpers (Zylinder in Abbildung 5) auf einer Unterlage, übernommen. Wie beispielsweise die fehlerhafte Darstellung der Normalkraft $\vec{F}_N$ aus Abbildung 4, denn dies trifft auch auf Abbildung 5 zu, wobei hier das Augenmerk auf das Kräftepaar gelegt werden sollte, welches das Rollreibungsdrehmoment hervorruft. (7, S.131) Das Drehmoment $\vec{D} = \vec{r} \times \vec{F}$ mit dem Radius des Zylinders $\vec{r}$ und der Hangabtriebskraft $\vec{F}$ vereinfacht sich zu $D = r \cdot F$, da die Richtung der Drehachse des Zylinders normal auf die Hangabtriebskraft steht.

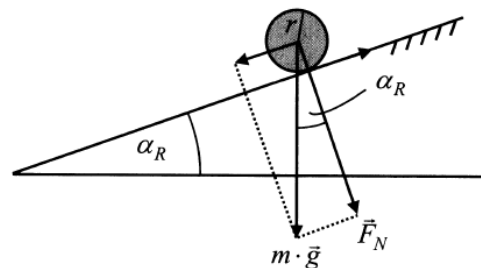


Abbildung 5.: Messung des Rollreibungskoeffizienten (7, S.131)

Werden die beiden Beziehungen $F_N = m \cdot g \cdot \cos(\alpha_R)$ und $D_R = r \cdot m \cdot g \cdot \sin(\alpha_R)$ in Gleichung (5) eingesetzt, so folgt der Rollreibungskoeffizient μ_R in der Form

$$\mu_R = r \cdot \tan(\alpha_R). \quad (7)$$

So lässt sich μ_R über den zuvor experimentell ermittelten Rollreibungswinkel α_R bestimmen. (7, S.131) Ein analoger experimenteller Zugang zur Bestimmung von μ_H , μ_G und μ_R , lässt sich der Literatur (5, S.191, 192) entnehmen.

3. Fachdidaktischer Zugang

Dieser Abschnitt greift fachdidaktische Aspekte zum Thema Reibung auf, welche hinsichtlich der Planung und Umsetzung von Unterrichtseinheiten zu diesem Thema von zentraler Bedeutung sind. Zu Beginn wird die Verankerung des Themas Reibung im Lehrplan der AHS-Unterstufe bzw. NMS sowie in jenem der AHS-Oberstufe beleuchtet. Gefolgt von einem Abschnitt zu den „key ideas“, als die zentralen physikalischen Aspekte zur Reibung, welche die Lernenden verständnisorientiert verinnerlichen sollen. Um ein Verständnis in den Köpfen der Lernenden hinsichtlich Reibungskonzepte entwickeln zu können, ist es unvermeidbar, sich im nächsten Schritt mit dem dafür notwendigen Vorwissen der Lernenden auseinanderzusetzen. Auf das Formulieren von Lernzielen wird hier explizit verzichtet, da diese vom konkreten Vorhaben, im Sinne der Unterrichtsplanung der Lehrperson, abhängen. Die Auswahl einer für Schüler*innen adäquaten Art und Weise, wie die „key ideas“ zum Thema Reibung vermittelt werden, obliegt der Lehrkraft.

3.1. Bezug zum Lehrplan

Das Thema Reibung findet sich im neuen Lehrplan 2023/24 der SEK I in der 3. Klasse (7. Schulstufe) im Unterpunkt „*die Wirkung verschiedener Kräfte im Alltag qualitativ untersuchen (E), dokumentieren (E) und kommunizieren (W)*“ des Kompetenzbereichs „*Mechanik*“ wieder. (12, S.106) Der Lehrplan wird dahingehend berücksichtigt, dass Schüler*innen der 3. Klassen ausgewählt werden, um Fragen vor und nach der Thematisierung von Reibung im Unterricht (Prätest bzw. Posttest) zu beantworten (siehe Abschnitt 6.1).

Im Lehrplan der AHS-Oberstufe ist das Thema Reibung in der 5. Klasse (9. Schulstufe) beim Themengebiet „*Mechanik I*“ genauer unter dem Teilaspekt „*Bewegungsänderung durch Kräfte*“ verankert, vorausgesetzt es handelt sich hierbei um eine Schule mit mehr als sieben Wochenstunden Physikunterricht in der Oberstufe. (12, S.218) Für eine Schule mit höchstens sieben Wochenstunden Physikunterricht findet sich derselbe Eintrag in der 6. Klasse (10. Schulstufe) wieder. (12, S.219) Der Oberstufenlehrplan wird allerdings im Zuge dieser empirischen Erforschung von Schülervorstellungen zum Thema Reibung nicht berücksichtigt. Es werden zwar Schüler*innen aus den 5. Klassen

(9. Schulstufe) mithilfe eines Prätests befragt, jedoch haben die Lernenden zu diesem Zeitpunkt das Thema Reibung in der SEK II noch nicht behandelt (siehe Abschnitt 6.1).

3.2. Key ideas

In Folge werden zentrale physikalische Aspekte zum Thema Reibung festgehalten. Ziel des Physikunterrichts soll es sein, dass die Lernenden ein Verständnis für diese Konzepte entwickeln und diese anschließend verinnerlichen. Die angeführten „key ideas“ zum Thema Reibung erfüllen keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit.

- Reibung zwischen Festkörpern tritt aufgrund der Wechselwirkung von Atomen bzw. Molekülen an den berührenden Oberflächen und aufgrund der Unebenheiten der Körperoberflächen auf.
- Jede Körperoberfläche weist Unebenheiten auf (niemals eine ideale Ebene).
- Reibung lässt sich durch Reibungskräfte physikalisch beschreiben.
- Reibungskräfte zeigen immer entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung eines Körpers (Reibung hemmt Bewegungen).
- Reibung bewirkt einen „Verlust“ an kinetischer Energie (Umwandlung in Wärmeenergie) und Materialverschleiß in Form von Abnutzung.
- Reibung ist je nach Situation erwünscht oder unerwünscht.
- Betrag der Reibungskraft hängt nicht von der Größe der Kontaktfläche der beiden Körper ab.
- Betrag der Reibungskraft hängt nicht von der Geschwindigkeit der beiden Körper ab (bei niedrigen Geschwindigkeiten).
- Reibungskräfte hängen von der Normalkraft und vom materialspezifischen Reibungskoeffizienten ab.
- Haftreibung ist größer als Gleitreibung und diese ist wiederum größer als die Rollreibung.

- Mithilfe einer schiefen Ebene lassen sich der Haft-, Gleit- und Rollreibungskoeffizient, welche bei Reibung zwischen zwei Festkörpern auftreten, experimentell bestimmen.

3.3. Vorwissen der Lernenden

Nachstehend werden physikalische Konzepte angeführt, welche im Physikunterricht Platz finden sollten, bevor das Thema Reibung in der Klasse thematisiert wird. Diese Begriffe, Konzepte und Darstellungen müssen zumindest grundlegend im Wissensnetz der Lernenden verankert sein, um das Thema Reibung verständnisorientiert vermitteln zu können. Die hohe Bedeutsamkeit des Vorwissens der Schüler*innen auf deren Lernerfolg lässt sich der Literatur (13, S.28) entnehmen. Denn dort werden Lernschwierigkeiten im Themenbereich der Mechanik, auf ein mangelndes Verständnis der Newton'schen Axiome und auf den fehlenden Vektoraspekt von Kräften zurückgeführt.

- Kraftbegriff (Kraft als Ursache einer Beschleunigung oder Verformung eines Körpers)
- Kraft in vektorieller Darstellung (Richtung und Betrag, Gegenvektor, Vektorsumme)
- Gewichtskraft
- geradlinig gleichförmige Bewegung und gleichmäßig beschleunigte Bewegung
- Newton'sche Axiome

4. Schülervorstellungen

Schülervorstellungen sind Vorstellungen, die Lernende aus ihrer Alltagserfahrung mit ins Klassenzimmer nehmen. Diese Vorstellungen haben sich aus der Alltagserfahrung der Lernenden sowie der Alltagssprache herauskristallisiert und folglich in ihren Köpfen sedimentiert. Die Begriffe Schülervorstellungen, Präkonzepte, Alltagstheorien und Fehlvorstellungen werden häufig synonym verwendet. Letzterer Begriff ist allerdings negativ konnotiert, da er nur auf die negativen Aspekte der Lernendenvorstellungen abzielt. Dabei haben Schülervorstellungen durchaus ihre Berechtigung, da sie sich in der Umwelt der Lernenden als hilfreich erweisen und Naturphänomene zumindest teilweise erklären. Problematisch an Schülervorstellungen ist jedoch, dass diese häufig nicht mit den wissenschaftlichen Vorstellungen vereinbar sind, da sie diesen teilweise bis völlig widersprechen. (13, S.27)

Der Umstand, dass die Lernenden bei neuer Wissensaneignung auf ihre bestehenden, nicht selten fehlerhaften, Vorstellungen zurückgreifen, wirkt sich maßgeblich negativ auf ihre Lernleistungen aus. Das Bestreben der Lehrkräfte, diese tief verankerten Alltagsvorstellungen durch wissenschaftliche Vorstellungen abzulösen, gelingt wissenschaftlichen Studien zufolge nur bedingt. So leben die Alltagsvorstellungen oftmals parallel zu den neu erworbenen physikalischen Vorstellungen in den Köpfen der Lernenden weiter. Neben den Vorstellungen, die die Schüler*innen aus der Alltagswelt mit in den Physikunterricht nehmen, gibt es auch Fehlvorstellungen, die auf den vorangegangenen Physikunterricht zurückzuführen sind. Öfter als man glauben mag, fördern Physiklehrkräfte mit ihrem Unterricht Vorstellungen, die nicht mit den Vorstellungen der Physik einhergehen. (10, S.3)

Als charakteristisches Merkmal einer Schülervorstellung zeigt sich die Problematik der Lernenden, ihre Vorstellungen präzise in Worte zu fassen. Dennoch ist die Aufdeckung von Schülervorstellungen, welche ein zentrales Forschungsgebiet der Physikdidaktik darstellt, eine komplexe Angelegenheit, da von der Oberflächenstruktur (Aussagen der Lernenden) auf die Tiefenstruktur (Vorstellungen der Lernenden) geschlossen werden muss. (13, S.28) Die hohe Bedeutsamkeit Schülervorstellungen im Rahmen der Physikdidaktik aufzudecken, lässt sich dadurch rechtfertigen, dass die Lernenden

sich, entsprechend der konstruktivistischen Lerntheorie, neues Wissen auf der Grundlage ihrer bestehenden Vorstellungen aneignen. Diese konstruktivistische Lerntheorie als Ausgangspunkt der Entwicklung von Vorstellungen seitens der Schüler*innen, die Bedeutsamkeit von Schülervorstellungen im Physikunterricht und der Umgang mit diesen im Lernprozess werden in den folgenden Kapiteln näher ausgeführt.

4.1. Entwicklung von Schülervorstellungen

Gemäß der konstruktivistischen Lerntheorie konstruiert sich jeder Lernende seine Wirklichkeit selbst. Aus einer Fülle an Sinneseindrücken und Informationen aus der Umwelt findet bei jedem Lernenden eine individuelle Selektion und Verarbeitung dieser im Gehirn statt. Daraus resultiert ein persönlicher Bestand an Wissen und Vorstellungen. (1, S.24) Diese in der heutigen Lehr- und Lernforschung anerkannte Lerntheorie ist es, die dem Münchner Trichtermodell widerspricht. Da sich jeder Lernende sein Wissensnetz selbst konstruiert, lässt sich Wissen nicht einfach von der Lehrperson an die Lernenden auf direktem Wege weitergeben. So einfach das Vermitteln von Wissen nach dem Trichtermodell (direkte Weitergabe von Wissen, passive Übernahme von Wissen) auch wäre, müssen sich Lehrkräfte von diesem Gedanken verabschieden. (1, S.3, 26)

Das Scheitern des Trichtermodells lässt sich nach Duit's „Zirkel des Verstehens“ erklären. Eine Lehrperson sendet ein Signal an die Schüler*innen in Form eines Satzes. Während der Aussage der Lehrperson eine Vorstellung zugrunde liegt und diese damit dem Gesagten eine Bedeutung zuordnet, können die Empfänger*innen des Signals, also die Schüler*innen, diese Bedeutung nicht direkt von der Lehrperson übernehmen, da sie über andere Vorstellungen verfügen. Dies führt dazu, dass die Schüler*innen die Aussage der Lehrkraft, basierend auf ihrer Wissensgrundlage, neu interpretieren müssen. Die Bedeutungszuschreibung der Lehrkraft und der Lernenden stimmt oftmals nicht überein. Wird die Signalrichtung umgekehrt, sprich die Lernenden antworten auf eine Frage der Lehrperson, so ergibt sich ein ähnliches Problem. So können Schüler*innen Aussagen tätigen, die von der Lehrperson als richtig aufgefasst werden, die Lernenden allerdings ihre Aussagen auf einer Fehlvorstellung stützen. Genau hier zeigt sich die Schwierigkeit in der Entdeckung von Schülervorstellungen, nämlich aus den Aussagen der Schüler*innen auf ihre zugrundeliegenden Vorstellungen rückzuschließen. (2, S.2)

Lernen ist ein aktiver Prozess, in dem Lernende, auf der Grundlage des bestehenden Wissensnetzes, das im Unterricht angebotene Wissen selbstständig verarbeiten und einordnen müssen. Dies bedeutet, das vorliegende Wissenssystem zu erweitern bzw. dieses gegebenenfalls umzustrukturieren. Ebenso kommt es im Rahmen des Konstruktivismus zu einer Sinnzuschreibung an das Gelernte durch die Lernenden selbst. Dies setzt voraus, dass die Lehrperson den Lernenden ausreichend Raum gibt, um das neu erworbene Wissen auf verschiedene Kontexte anwenden zu können. Dadurch können Lernende einem Lehrstoff eine individuelle physikalische Bedeutung zuschreiben und die Sinnhaftigkeit des Lehrstoffs, für sich selbst beurteilen. (1, S.26)

4.2. Bedeutung von Schülervorstellungen im Physikunterricht

„Vorstellungen bestimmen das Lernen, weil man das Neue nur durch die Brille des bereits Bekannten „sehen“ kann.“ (2, S.1)

Schüler*innen betreten den Klassenraum nicht als unbeschriebene Blätter. Stattdessen sind bereits, auf der Alltagserfahrung der Lernenden aufbauend, eine Vielzahl an Vorstellungen zu Begriffen, Phänomenen und Konzepten in den Köpfen der Lernenden verankert. Der Umstand, dass die Schüler*innen bereits über „Vorwissen“ verfügen, erscheint im ersten Moment als wertvolle Wissensbasis, auf der im Physikunterricht aufgebaut werden kann. Tatsächlich gehen die meisten aus dem Alltag gewonnenen Vorstellungen nicht mit den im Physikunterricht zu erlernenden naturwissenschaftlichen Vorstellungen einher. Diese Diskrepanz stellt sowohl für die Lernenden als auch für die Lehrperson eine große Herausforderung dar. Denn einerseits können die Lernenden zumeist nicht auf ihre Vorstellungen aus dem Alltag zurückgreifen bzw. müssen diese gänzlich verwerfen, da sie im Widerspruch zu wissenschaftlichen Vorstellungen stehen und andererseits müssen Lehrpersonen Rücksicht auf die Alltagsvorstellungen der Schüler*innen nehmen, da im Zuge eines Lernprozesses neues Wissen in das bestehende Wissens- und Vorstellungsnetz integriert wird. In weiterer Folge ist es Aufgabe von Lehrkräften, die Schüler*innen von der für sie neuen wissenschaftlichen Sichtweise zu überzeugen. Den Lernenden soll vor Augen gehalten werden, dass die wissenschaftlichen Vorstellungen tragfähiger und weitreichender sind als jene aus dem Alltag. (2, S.1)

Zahlreiche Studien belegen, dass die Vorstellungen, mit denen Schüler*innen den Klassenraum betreten, einen zentralen Faktor für das Lernen physikalischer Konzepte darstellen. Diese Schülervorstellungen müssen seitens der Lehrkräfte im Unterricht stets berücksichtigt werden, da Lernende auf der Grundlage ihrer (teilweise) fehlerhaften Wissensbasis falsche Schlüsse ziehen bzw. die Bedeutung physikalischer Sachverhalte anders interpretieren als von der Lehrperson beabsichtigt. Dies führt dazu, dass Schülervorstellungen häufig Lernschwierigkeiten im Physikunterricht initiieren. (14, S.127) Diese hohe Wirksamkeit von Schülervorstellungen wurde seitens der Physikdidaktik erkannt und diese verfolgt nun seit zumindest zwei Jahrzehnten das Ziel, gängige Schülervorstellungen zu allen Teilgebieten wissenschaftlich zu erfassen und zu dokumentieren. Daraus resultierende Sammlungen an Lernendenvorstellungen sollen Physiklehrkräften helfen, die Gedankengänge der Lernenden besser nachvollziehen zu können, mit dem Ziel, die Schüler*innen zu den physikalisch korrekten Vorstellungen zu führen.

Die hohe Bedeutung von Schülervorstellungen im Lernprozess lässt sich unter anderem an folgenden Aspekten ausmachen. (15, S.613, 614)

- *Vorstellungen beeinflussen die Versuchsbeobachtung:* Die Vorstellung der Lernenden hat nicht nur Einfluss auf die Schlussfolgerungen, die sie aus Versuchsergebnissen ziehen, sondern auf die Beobachtung des Experiments selbst.
- *Niedrige Überzeugungskraft experimenteller Befunde:* Ein Experiment allein reicht nicht aus, um die Schüler*innen von der Fehlerhaftigkeit ihrer Vorstellung zu überzeugen. Stimmt das Versuchsergebnis nicht mit ihren Erwartungen überein, so sind sie bestrebt ihre Vorstellung zu „retten“, indem sie eine Erklärung für das beobachtete Phänomen suchen, während sie auf der Grundlage ihrer Vorstellungen argumentieren.
- *Widerstand gegen Vorstellungswechsel:* Die Schüler*innen davon zu überzeugen, dass wissenschaftliche Vorstellungen weitreichender und fruchtbarer sind als ihre Alltagsvorstellungen, erfordert viel Zeit und Bemühen seitens der Lehrkraft. Lernende geben ihre Vorstellungen nur ungern auf, schließlich haben sie sich bisher im Alltag (zumindest teilweise) bewährt.

- *Affektive Aspekte im Lernprozess:* Sowohl die Beobachtung als auch die Interpretation physikalischer Prozesse ist von affektiven Aspekten wie Interessen und Bedürfnissen der Lernenden geprägt.
- *Aus Fehlern lernen:* Einrichtung einer Fehlerkultur im Klassenzimmer, die Fehler als Teil des Lernprozesses auffasst bzw. Fehler als Lerngelegenheiten betrachtet und keineswegs als Störung, stellt eine zentrale Grundvoraussetzung bei der Aufarbeitung von Präkonzepten im Klassenzimmer dar. Schülervorstellungen dürfen nicht als falsche Vorstellungen abgestempelt werden, sondern sollten als Ausgangspunkt eines Lernprozesses aufgefasst werden.

4.3. Umgang mit Schülervorstellungen im Physikunterricht

Zahlreichen empirischen Untersuchungen kann entnommen werden, dass Schüler*innen ihre Alltagsvorstellungen nur ungern gegen wissenschaftliche Vorstellungen eintauschen. Dies ist auch nicht verwunderlich, angesichts der in Kapitel 4.2 geschilderten niedrigen Überzeugungskraft experimenteller Ergebnisse bzw. der allgemeinen Einstellung von Lernenden, einen Vorstellungswechsel vermeiden zu wollen. Einerseits liegt das Problem vor, dass die Lernenden die für sie neuen physikalischen Vorstellungen nicht als verständlicher, plausibler, fruchtbarer, tragfähiger oder weitreichender wahrnehmen. Aus ihrer Sicht genügen doch die unphysikalischen Vorstellungen, um Phänomene aus dem Alltag erklären zu können. Damit ist die Bereitschaft der Lernenden nicht gegeben, einen Wechsel von ihren Alltagsvorstellungen hin zu physikalischen Vorstellungen zu vollziehen. Andererseits kommt es häufig zu der Situation, dass Lernende die physikalische Vorstellung zwar akzeptieren, sich von ihrer Alltagsvorstellung allerdings nicht lösen wollen bzw. können. Dies führt zu einer Koexistenz zweier Vorstellungen im Gehirn, wobei je nach Situation auf eine der beiden Vorstellungen zurückgegriffen wird. (14, S.127, 128)

Auf die Frage, wie Lehrpersonen auf Schülervorstellungen reagieren sollen, wird in der Literatur auf drei mögliche Handlungsspielräume einer Lehrperson im Umgang mit Schülervorstellungen verwiesen. Diese sind „Anknüpfen“, „Konfrontieren“, sowie „Umdeuten“ und gehen auf Walter Jung zurück.

Beim erstgenannten Zugang unterstützt die Lehrperson die Schüler*innen in ihrem Lernprozess und wirkt als Lernbegleiter, mit dem Ziel, dass aus den Alltagsvorstellungen der Lernenden eine Brücke zu den wissenschaftlichen Vorstellungen entwickelt wird. Dabei sollen Widersprüche zwischen den Alltagsvorstellungen und den zu erarbeitenden physikalischen Vorstellungen möglichst vermieden werden.

Dieser Konflikt zwischen den beiden Darstellungsformen ist es, welcher bei der Handlungsmöglichkeit „Konfrontieren“ seitens der Lehrkraft in den Köpfen der Lernenden hervorgerufen werden soll, um die Lernenden von der physikalischen Sicht zu überzeugen. Zur Generierung eines solchen Konflikts im Unterricht kann einerseits die Schülervorstellung der physikalischen Vorstellung gegenübergestellt werden oder andererseits die Voraussage von Lernenden zu einem Versuch mit dem tatsächlichen Versuchsergebnis abgeglichen werden. Bei letztgenanntem Zugang sollen die Lernenden anhand ihrer Vorstellungen Ausgänge von Experimenten erklären, woraufhin die Lehrperson die korrekte physikalische Vorstellung präsentiert. Ziel dieser Konfrontation ist es den Lernenden zu vermitteln, dass mithilfe der wissenschaftlichen Vorstellung korrekte Vorhersagen getroffen werden können, im Gegensatz zu den Alltagsvorstellungen. Der Konfrontations-Zugang unterliegt allerdings nicht selten der Problematik, dass die Lernenden den von der Lehrperson angestoßenen kognitiven Konflikt nicht wahrnehmen. (10, S.12), (15, S.64, 65)

Der Handlungsspielraum „Umdeuten“ ähnelt dem des „Anknüpfens“, da hier ebenfalls die Schülervorstellung akzeptiert wird (im Gegensatz zum „Konfrontieren“). Während beim „Anknüpfen“ aus einer Schülervorstellung möglichst lückenlos eine physikalische Vorstellung entwickelt werden soll, wird beim „Umdeuten“ ein an sich brauchbares Präkonzept in einen Kontext eingebettet, in dem diese Vorstellung auch erforderlich bzw. tragfähig ist. (10, S.12)

Zudem werden in der Literatur zwei Hilfestellungen gegeben, wie Lehrpersonen auf Fragen von Lernenden reagieren sollen, die von bestimmten Vorstellungen der Lernenden geprägt sind. Einerseits wird darauf verwiesen, die Frage an die gesamte Klasse weiterzuleiten, sodass eine Diskussion im Plenum entsteht. Andererseits könnte die Frage an „die Dinge selbst“ weitergegeben werden, in dem Sinne, dass die Lernenden die Fragestellung selbst untersuchen (sofern dies möglich ist). (15, S.64, 65)

In der Literatur wird oftmals vom Conceptual Change bzw. Konzeptwechsel gesprochen, welcher den Lernweg von Schülervorstellungen hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen beschreibt. Dass dieser Konzeptwechsel in den Köpfen der Schüler*innen allerdings kaum bis nicht erreichbar ist, zeigen zahlreiche Studien. Es kann nicht das Ziel sein, Alltagsvorstellungen völlig auszulöschen und durch physikalische Ansichten zu ersetzen, da Alltagsvorstellungen dem im Physikunterricht vorgebrachten Widerstand nachhaltig relativ einfach standhalten. (10, S.11) Aus wissenschaftlichen Untersuchungen geht hervor, dass es nicht möglich ist, fehlerhafte Vorstellungen langfristig und vollständig durch physikalisch richtige Vorstellungen zu ersetzen. Zu groß ist der Einfluss der Alltagserfahrungen und -sprache sowie der Medien. (1, S.29) Schlussendlich wird man sich mit einer Koexistenz aus alltäglichen- und wissenschaftlichen Vorstellungen zufriedengeben müssen. Den Lernenden soll im Physikunterricht vor Augen gehalten werden, dass ihre Alltagsvorstellungen durchaus ihre Berechtigung haben, da sie für alltägliche Phänomene plausible Erklärungen bereithalten, es aber auch Situationen gibt, in denen diese Vorstellungen kein erfolgreiches Handeln ermöglichen oder adäquate Erklärungen bereithalten. (10, S.11) Neben der Unrealisierbarkeit der Abschaffung von Alltagsvorstellungen ist diese ohnehin nicht ratsam. Denn auch Physiker*innen müssen die Bedeutung von alltäglichen Ausdrücken und Begriffen wie beispielsweise „Energieverbrauch“ oder „ich habe keine Kraft mehr“ kennen, um Gespräche mit Mitmenschen führen zu können und die Anforderungen des Alltags bewältigen zu können. (1, S.40)

„Letztlich kann das Ziel des Physikunterrichts nur darin liegen, dass die Schülerinnen und Schüler auch die physikalischen Sichtweisen kennen und verstehen. Dabei ist es sehr wichtig, dass es zu einem bewussten Nebeneinander eines physikalischen Konzepts und der Alltagsvorstellung kommt. Die Lernenden sollen zwischen den verschiedenen Konzepten unterscheiden können und die jeweiligen Stärken und Schwächen kennen, sodass sie beurteilen können, welche Erklärung wann sinnvoll ist.“ (1, S.40)

In Abbildung 6 sind die Phasen einer, von Rosalind Driver entwickelten, konstruktivistischen Unterrichtsstrategie dargestellt. Demnach laufen die meisten in der Literatur thematisierten Zugänge zu Schülervorstellungen im Physikunterricht nach dem folgenden Schema ab: Nach einer kurzen thematischen Einführung werden in einer Diskussionsphase die Vorstellungen der Lernenden gesammelt. Dabei erkennen die Schüler*innen,

dass ihre Vorstellungen zumeist nicht übereinstimmen. In weiterer Folge wird von der Lehrperson in der Regel ein kognitiver Konflikt erzeugt, wie zuvor beschrieben, durch ein Experiment oder die Gegenüberstellung der physikalischen Vorstellung. Im Anschluss an die Konstruktion und die Bewertung der neuen Vorstellung wird diese auf verschiedene Kontexte angewendet, um sie in Hinblick auf die ursprüngliche Vorstellung kritisch reflektieren zu können. Während daraus resultierend der wissenschaftlichen Vorstellung ein höherer Stellenwert als der Alltagsvorstellung zugeschrieben werden kann bzw. soll, darf der letztgenannten Vorstellung allerdings nicht ihre Bedeutung im Alltag der Lernenden aberkannt werden. (10, S.12, 13)

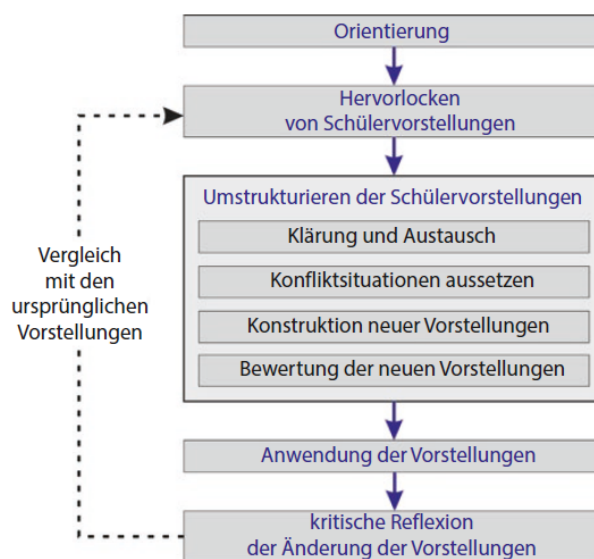


Abbildung 6.: Phasen der Konfrontationsstrategie (1, S.57)

Bei der Wahl der Konfrontationsstrategie gilt es seitens der Literatur (1, S.49, 50) zwingend zu berücksichtigen, dass die Gegenüberstellung von Alltagsvorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen einerseits für Verunsicherung bei den Lernenden sorgt und damit ihre Selbstwirksamkeitsüberzeugung in Hinblick auf ihren Lernprozess hemmt, und andererseits viel Unterrichtszeit erfordert. Deshalb wird empfohlen, nur dann auf den Handlungsspielraum „Konfrontieren“ zurückzugreifen, wenn zentrale physikalische Konzepte betroffen sind und die Fehlvorstellungen im Zuge fachdidaktischer Forschung bereits erfasst wurden. Beim Unterrichten physikalischer Themengebiete, zu denen Lernende wenige vorunterrichtliche Erfahrungen sammeln konnten, wie etwa Relativitäts-

theorie oder Quantenmechanik, sollte auf jene Strategie verzichtet werden. Denn durch die Aufforderung der Lehrperson über ein bestimmtes Konzept nachzudenken, erzeugen die Lernenden unbewusst (Fehl-)Vorstellungen, die mit dem Betreten des Klassenzimmers noch nicht vorhanden waren und folglich das Erlernen der physikalischen Konzepte behindern. (1, S.49, 50) Des Weiteren ist es eine Aufgabe der Lehrperson ein Lernklima zu schaffen, in dem die Schüler*innen frei von Benotung und Diskriminierung ihre Alltagsvorstellungen zum Ausdruck bringen können und alle vorgebrachten Vorstellungen von der Lehrperson auch intensiv im Dialog mit der Person behandelt werden. (1, S.58)

Angesichts der zuvor geschilderten Herausforderungen mit der Konfrontationsstrategie (Verunsicherung der Lernenden, Zeitbedarf, versehentliche Entwicklung neuer Fehlvorstellungen) ist die Umsetzung dieses Handlungsspielraums im Unterricht eher selten zu empfehlen. Stattdessen erweisen sich Aufbaustrategien nach aktuellem Stand fachdidaktischer Forschung als wirksamer. Die zentralen Phasen dieser Strategie werden in Abbildung 7 veranschaulicht. Nach einer Einführung eines Konzepts durch die Lehrperson und dessen Festigung durch Anwendung auf diverse Kontexte ließe sich hier beispielsweise die Konfrontationsstrategie anwenden, um die Gültigkeit des erarbeiteten Konzepts zu überprüfen. (1, S.57-59)

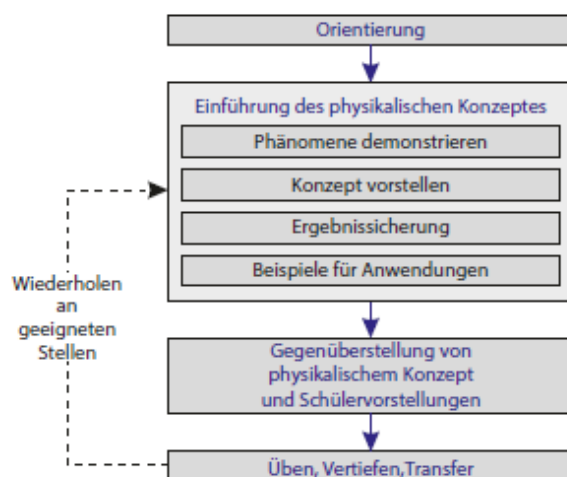


Abbildung 7.: Phasen der Aufbaustrategie (1, S.58)

4.4. Schülervorstellungen zum Thema Mechanik

In literarischen Werken, wie (1), (10), (13) oder (16), werden typische Schülervorstellungen im Bereich der Newton'schen Mechanik festgehalten. Diese sind in der Regel auf Verständnisschwierigkeiten der Newton'schen Axiome zurückzuführen sowie auf einen fehlenden Vektoraspekt bei den Größen Kraft und Impuls. Im folgenden Abschnitt werden bereits erforschte Schülervorstellungen aus der Mechanik angeführt, welche eine zumindest grundlegende Verbindung zum physikalischen Reibungskonzept aufweisen und demnach das Verständnis des Reibungskonzepts maßgeblich beeinflussen könnten. Auf dieser Wissensbasis an Präkonzepten aufbauend werden in einem späteren Teil der Arbeit Hypothesen zu möglichen Schülervorstellungen im Kontext Reibung und Reibungskräfte entwickelt (siehe Abschnitt 5.2). Mit nachstehenden Vorstellungen kommen (manche) Lernende erfahrungsgemäß in den Mechanikunterricht.

- *Ein bewegter Körper hat Kraft und verbraucht diese in der Bewegung*

Wird ein Körper in Bewegung versetzt, so nimmt dieser, entsprechend der Vorstellung mancher Lernenden, Kraft auf und speichert diese „Bewegungskraft“. Diese Bewegungskraft wirkt in Bewegungsrichtung und sei notwendig, um die Bewegung fortzusetzen. Mit der Zeit verliert der Körper an Bewegungskraft und sofern dieser Verlust nicht durch eine Antriebskraft ausgeglichen wird, kommt der Körper in weiterer Folge zur Ruhe. Da Körper ohne Einwirkung einer äußeren Kraft im alltäglichen Leben aufgrund der wirkenden Reibungskraft stets zur Ruhe kommen, nehmen die Lernenden an, dass die Bewegungskraft einfach immer abnimmt. Der Einfluss der Reibung des Körpers mit der Unterlage wird in der Regel nicht berücksichtigt. (1, S.72, 73), (13, S.30), (16, S.89)

- *Kraft ist ein Sammelbegriff*

Aus erstgenannter Schülervorstellung lässt sich entnehmen, dass Lernende von der Fähigkeit eines Körpers ausgehen, Kräfte speichern zu können. Stattdessen sollten einem Körper die Begriffe Impuls bzw. kinetische Energie zugeordnet werden. Für die Lernenden wirkt der Kraftbegriff als Sammlung der Begriffe Energie/Stärke/Wucht/Schwung.

Je nach Sachzusammenhang wird der Kraft eine unterschiedliche Bedeutung zugeordnet, wie folgende beiden Schüleraussagen zeigen. „Eine rollende Kugel hat Kraft gespeichert und wird beim Aufprall auf ein Hindernis sichtbar“ (Kraft statt kinetischer Energie). „Beim Stoß wird die Kraft der Kugel auf die ruhende Kugel übertragen“ (Kraft statt Impuls). Um diese Fehlvorstellung beseitigen zu können, benötigt es eine klare Trennung der Begriffe Kraft, Impuls und Energie im Physikunterricht. (1, S.70), (13, S.29)

- *Zur Aufrechterhaltung der Bewegung bedarf es einer Kraft in Bewegungsrichtung bzw. alle Körper kommen natürlicherweise zum Stillstand*

Diese Schülervorstellung deckt sich mit den Anmerkungen, welche zur erstgenannten Schülervorstellung gemacht wurden. Ein Körper nimmt die von außen einwirkende Antriebskraft auf und speichert diese in Form einer „inneren Kraft“. Mit der Zeit wird diese verbraucht, wodurch der Körper immer langsamer wird und schließlich zum Stillstand kommt. Da im alltäglichen Leben Körper ohne Einwirkung einer äußeren Antriebskraft mit der Zeit zum Stillstand kommen, wird dies von den Lernenden als natürlicher Bewegungsprozess aufgefasst. Dabei bleiben Reibungskräfte (Reibung mit der Unterlage, Luftwiderstand) durch die Lernenden in der Regel unberücksichtigt. (1, S.73), (13, S.29), (16, S.89)

- *Die stärkere Kraft gewinnt*

Wenn mehrere Kräfte gleichzeitig auf einen Körper einwirken, so denken Schüler*innen oftmals, dass sich die stärkste (betragsmäßig größte) Kraft durchsetzt und diese allein über den weiteren Bewegungszustand des Körpers entscheidet und nicht die Summe aller Kräfte. (1, S.75)

- *Das Beharrungsprinzip gilt nur für Spezialfälle*

„Wirkt auf einen Körper keine Kraft, so ändert er seinen Bewegungszustand nicht“ (1, S.76) Diese gängige, aber unpräzise Formulierung des 1. Newton'schen Axioms verleitet die Lernenden beim Lesen dieser Aussage dazu, dass mit „keine Kraft“ gemeint sei,

dass auf den Körper überhaupt keine Kraft wirke. Dies wäre nur im Weltall, in weiter Entfernung zu jeglichen Planeten, denkbar (Spezialfall). Stattdessen ist mit dieser Aussage vorwiegend gemeint, dass die Summe aller auf den Körper einwirkenden Kräfte gleich Null ist, sich die Kräfte also aufheben. (1, S.76, 77), (13, S.32) Eine präzise Formulierung des 1. Newton'schen Axioms könnte wie folgt lauten. „*Wirkt auf einen Körper keine äußere Kraft oder heben sich die angreifenden Kräfte gegenseitig auf, so behält der Körper seinen Bewegungszustand nach Tempo und Richtung bei.*“ (1, S.77)

- *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*

Das 3. Newton'sche Axiom (Wechselwirkungsprinzip) besagt: „Übt Körper A eine Kraft auf Körper B aus, so übt Körper B wiederum eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete, Kraft auf Körper A aus. Das Wechselwirkungsprinzip wird von Lernenden allerdings häufig wie folgt aufgefasst. „*Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an. Solange sie gleich sind oder die Kraft kleiner als die Gegenkraft ist, passiert nichts. Erst wenn die aktive Kraft etwas größer wird als die Gegenkraft, zeigt sich eine Wirkung.*“ (1, S.78) Beim Verschieben einer Kiste gehen die Lernenden von einem konstanten Widerstand (Haftreibungskraft) der Kiste aus. Zu Beginn sei aus ihrer Sicht die Schubkraft kleiner als der Widerstand der Kiste. Erst wenn die Schubkraft den Widerstand der Kiste übersteigt, beginnt sich die Kiste zu bewegen. Lernende fassen Reibungskräfte nicht als Kräfte auf sondern als Widerstände von Körpern. (1, S.77, 78)

- *Nur aktive Körper können Kräfte ausüben, passive Körper leisten Widerstand*

Aus Sicht der Lernenden können nur aktive, sich bewegende oder lebende Körper Kräfte ausüben. Passive Körper leisten aus ihrer Sicht hingegen Widerstand, welchen die Lernenden nicht als Kraft, wie z.B. die Reibungskraft, auffassen. Bei dieser Aktivitätsvorstellung ordnen die Lernenden Körpern eine aktive oder passive Rolle zu. Diese Rollenzuteilung widerspricht der Gleichberechtigung beider Körper als Grundsatz des Wechselwirkungsprinzips. (10, S.108, 111, 112)

4.5. Aktueller fachdidaktischer Forschungsstand zur Reibung

Im deutschsprachigen Raum hat sich in den letzten Jahren das Münchner Unterrichtskonzept zur Vermittlung der klassischen Mechanik im Physikunterricht durchgesetzt. Dieses umfasst die Themengebiete Reibung, mechanische Energie und Arbeit sowie Wärmelehre. (8, S.49). Im Folgenden wird allerdings nur auf das Thema Reibung Bezug genommen, da dies ansonsten den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

Wird ein Körper mit einem Kraftmesser über eine Unterlage gezogen, so lässt sich die wirkende Reibungskraft experimentell bestimmen. Denn entsprechend dem 1. Newton'schen Axiom bewegt sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit, wenn die Summe aller auf den Körper einwirkenden Kräfte gleich Null ist. Wird also ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit (dasselbe Tempo in dieselbe Richtung) unter Einwirkung einer Zugkraft bewegt, so lässt sich über das Ablesen der aufgewendeten Zugkraft am Kraftmesser die betragsmäßig gleich große Reibungskraft ermitteln. (8, S.51)

In weiterer Folge werden Faktoren (Geschwindigkeit, Größe der Kontaktfläche, Normalkraft) und deren Einfluss auf die wirkende Reibungskraft untersucht. Dazu sollen die Lernenden vor der Durchführung des Versuchs ihre Erwartungen an den Versuchsausgang schriftlich festhalten und diese anschließend mit der Versuchsbeobachtung vergleichen.

- *Reibungskraft hängt nicht von der Geschwindigkeit des Körpers ab*
Ein quaderförmiger Körper wird mehrmals mit unterschiedlichen, aber jeweils konstanten, Geschwindigkeiten über eine Unterlage gezogen. Es zeigt sich, dass in allen Fällen die Zugkraft und damit auch die Reibungskraft gleich groß ist. Somit hängt die Reibungskraft nicht von der Geschwindigkeit des Körpers auf einer ruhenden Unterlage ab bzw. der Relativgeschwindigkeit bei Bewegung beider Körper.
- *Reibungskraft hängt nicht von der Größe der Kontaktfläche der beiden Körper ab*
Ein quaderförmiger Körper wird einmal mit einer größeren und einmal mit einer kleineren Fläche auf die Unterlage gelegt und anschließend über diese gezogen. Es zeigt sich, dass sowohl die maximale Haftreibungskraft als auch die Gleitrei-

bungskraft, unter Variation der Größe der Kontaktfläche, jeweils dieselben Werte annehmen.

- *Reibungskraft hängt von der Normalkraft ab*

Werden auf dem quaderförmigen Körper nacheinander unterschiedlich große Massstücke platziert, so zeigt sich eine Veränderung der benötigten Zugkraft und damit der Reibungskraft. Die maximale Haftreibungskraft und die Gleitreibungskraft fallen umso größer aus, je größer der Betrag der Normalkraft ist. (8, S.51)

Ugo Besson et al. führen in der Literatur (3, S.1295), auf der Grundlage bestehender Forschung zur Vermittlung von Reibung im Physikunterricht, folgende Aspekte an, die es seitens der Lehrkraft bei der Vermittlung des Themas zu berücksichtigen gilt.

- *Reibung ist allgegenwärtig:* Die Thematisierung von Reibung zwischen Festkörpern, Reibungswiderständen in Flüssigkeiten bzw. Gasen und die innere Reibung soll eine schematische Betrachtung der Reibung verhindern.
- *Erwünschte und unerwünschte Reibung:* Bei der Behandlung von Anwendungskontexten von Reibung sollten Situationen aus dem Alltag und der Technik angeführt werden, in denen Reibung als Ressource bzw. als Störung aufgefasst wird.
- *Reibung kann Gleichgewicht bewirken:* Reibung ist notwendig, damit ein vorliegender Druck oder eine Bewegung eines Körpers in einen Gleichgewichtszustand übergeht.
- *Reibung als Bewegungswiderstand:* Reibung sollte als Widerstand gegen die Bewegung eines Körpers erfasst werden und durch Reibungskräfte dargestellt werden.
- *Vermeiden einer Überbetonung von Situationen mit horizontaler Unterlage:* Wird überwiegend bzw. ausschließlich nur die Situation betrachtet, dass sich ein Körper entlang einer horizontalen Unterlage bewegt, so verleitet dies die Lernenden zum Fehlschluss, die Normalkraft mit der Gewichtskraft gleichsetzen zu können. Diese Kräfte sind in der vorliegenden Situation zwar betragsmäßig gleich groß, dies gilt

jedoch nicht bei Bewegung eines Körpers entlang einer schiefen Ebene (siehe Abschnitt 5.2.2 „*Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*“). So sollte beispielsweise die Bewegung eines Körpers entlang einer vertikalen Ebene (z.B. Wand) betrachtet werden, da in diesem Fall die Normalkraft nicht von der Gewichtskraft abhängt.

- *Geeignete Strukturmodelle vorschlagen:* Die Einführung von Modellen zur Reibung im Physikunterricht ermöglicht den Lernenden Vorhersagen bzw. Schlussfolgerungen zu Alltagssituationen, in denen Reibung von Bedeutung ist, vorzunehmen. Dabei ist es zwingend notwendig diese Modelle kritisch zu reflektieren, um ein Gleichsetzen dieser Modelle mit der Realität durch die Schüler*innen vorzubeugen. (3, S.1295), (17, S.1107)

Auf diesen Tipps aufbauend wird zudem ein Unterrichtskonzept, bestehend aus sechs Teilschritten, angeführt, welches nachstehend in aller Kürze erläutert wird.

1. *Einleitung in das Thema:* Dies erfolgt in Anlehnung an die Frage "Wie würde unser Alltag aussehen, wenn es keine Reibung gäbe?"
2. *Einführung notwendiger Größen:* Die Begriffe Normalkraft, Reibungskraft und Kontaktfläche werden eingeführt. Anschließend wird die Bewegung eines Körpers entlang einer vertikalen Ebene betrachtet, um der Tendenz der Lernenden, die Normalkraft mit der Gewichtskraft gleichzusetzen, entgegenzuwirken.
3. *Haft- und Gleitreibung messen:* Ein Körper wird mittels Kraftsensor über eine horizontale Unterlage gezogen. Daraus sollen die Lernenden die Abhängigkeit der Reibungskraft von der Normalkraft und der Kontaktfläche beurteilen.
4. *Rollreibung:* An den beiden Enden eines Wagens wird je ein Bleistift senkrecht aufgestellt (in Kontakt mit dem Wagen). Anschließend wird eine Kraft auf einen Zylinder ausgeübt, sodass dieser über den Wagen rollt. Je nach Bewegungsrichtung des Zylinders fällt einer der beiden Bleistifte um. Daraus können die Lernenden ableiten, in welche Richtung Reibungskräfte wirken.

5. *Abweichungen zu den Reibungsgesetzen und Oberflächentopographie:* Den Lernenden werden Situationen vorgeführt, in denen Reibungskräfte nicht proportional zur Normalkraft ausfallen und zudem abhängig von der Größe der Kontaktfläche sind (Widerspruch zum Reibungsgesetz). Verzahnung der Unebenheiten (und deren Abnutzung bei Bewegung), Partikeln zwischen den sich berührenden Körpern als dritter Körper und die Anziehung der Oberflächenteilchen beider Körper werden als Reibungsursachen thematisiert.
6. *Reibungskräfte und Energieerhaltung:* Den Lernenden werden Situationen vorgeführt, in denen Reibungskräfte zu einer Energieumwandlung führen. Beispielsweise wird ein Wagen mit darauf vertikal befestigten Metallstäben betrachtet. Trifft der Wagen auf eine Wand, so wird der überwiegende Anteil der kinetischen Energie auf die Metallstäbe übertragen, die folglich zu schwingen beginnen (Rückprallgeschwindigkeit des Wagens ist annähernd Null). Die durch Reibungskräfte verursachte Umwandlung von kinetischer Energie in thermische Energie wird abschließend behandelt. (3, S.1296-1300)

Todd Campbell und Drew Neilson haben eine Unterrichtssequenz zum Thema Reibung entwickelt, die weitgehend mit dem soeben angeführten Unterrichtskonzept nach Ugo Besson übereinstimmt. Hierbei zieht die Lehrperson einen Körper mithilfe eines Kraftsensors über eine Unterlage. Daraus resultiert eine Zeit-Kraft-Kurve. Nachdem die Lernenden befragt wurden, welche Faktoren aus ihrer Sicht die Zugkraft beeinflussen, werden diese Faktoren experimentell überprüft. Dazu begeben sich die Lernenden in Kleingruppen, wobei jede Gruppe einen Faktor untersucht. Die Schüler*innen leiten folglich aus den Kurven ab, ob ihr Faktor (z.B. Größe der Kontaktfläche, Geschwindigkeit, Masse, Material der Körper) die wirkende Reibungskraft beeinflusst. Anschließend präsentieren die Lernenden ihre Erkenntnisse aus den Gruppen im Plenum. Im nächsten Schritt ist es Aufgabe der Lehrperson, die Erkenntnisse aus den Gruppen mit den Reibungsgesetzen (Gleichung (3) und 4)) zu verbinden. Zudem bietet es sich an, den untersuchten Einfluss einzelner Faktoren auf eine physikalische Größe (Variation eines Faktors unter Konstanthaltung aller anderen), in Hinblick auf naturwissenschaftliche Arbeitsweisen anzusprechen (Natur der Naturwissenschaften). (18, S.14-15)

Aus der Literatur (19, S.1086) geht hervor, dass die obere Darstellung in Abbildung 8 als problematisch einzustufen ist (obwohl diese Version aufgrund der Übersichtlichkeit die gängigste ist), im Gegensatz zu der darunter ersichtlichen Darstellung. Zum einen greifen im oberen Teil der Abbildung Kraft und Gegenkraft am selben Objekt (hier Auto) an, was im Widerspruch zum 3. Newton'schen Axiom steht (siehe Abschnitt 2.1), zum anderen müsste die Reibungskraft an der Kontaktfläche zwischen den beiden reibenden Körpern (hier Reifen und Boden) eingezeichnet werden, da diese dort in Erscheinung tritt. Diese beiden Aspekte werden durch die untere Darstellung in Abbildung 8 korrekt visualisiert. Denn einerseits wird die Situation für beide Körper separat beobachtet, sodass das Wechselwirkungsprinzip korrekt bzw. einfacher zugänglich ist, andererseits werden die tatsächlichen Angriffspunkte der Reibungskräfte berücksichtigt. (19, S.1086) In der Literatur (19) wird in Bezug auf das Separieren der Situationen eine positive Bilanz gezogen. Obwohl es sich anfänglich als schwierig herausstellte, die separaten Situationen für die Lernenden nachvollziehbar zu vermitteln (siehe untere Darstellung in Abbildung 8), konnte dadurch jedoch ein besseres Verständnis für das 3. Newton'sche Gesetz, insbesondere in Zusammenhang mit Reibungskräften, bei den Lernenden erzielt werden. (19, S.1091)

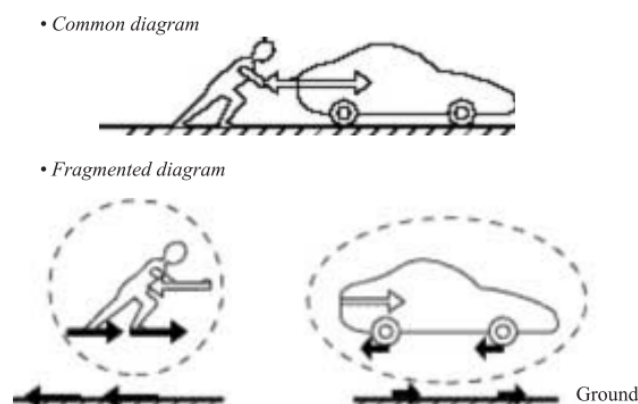


Abbildung 8.: (In-) korrekte Darstellung der wirkenden Reibungskräfte (19, S.1086)

In physikdidaktischen Publikationen zeigt sich ein Mangel an Unterrichtskonzepten sowie empirisch erfassten Schülervorstellungen in Hinblick auf die Vermittlung von Reibungskräften entlang einer schiefen Ebene. Hingegen ist Reibung, die bei Bewegung eines Körpers entlang einer horizontalen Unterlage auftritt, deutlich umfassender erforscht.

5. Forschungsziel

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einerseits aus wissenschaftlichen Untersuchungen bekannte Schülervorstellungen zum Thema Reibung zu untersuchen und andererseits Ausschau nach „neuen“ Präkonzepten in diesem Kontext zu halten. Wie sich der fachlichen Klärung (siehe Kapitel 2) entnehmen lässt, stellen Ursachen von Reibung, die vektorielle Darstellung von Reibungskräften, Einflussfaktoren auf die Reibung, Reibungsarten (Haft-, Gleit- und Rollreibung) sowie die schiefe Ebene unter Einwirkung von Reibung, Teilaspekte der Festkörperreibung dar. Diese Gesichtspunkte der Reibung sind es, auf welche sich die geplante Untersuchung (siehe Kapitel 6) fokussieren wird, um in diesen Teilbereichen mögliche Vorstellungen der Lernenden aufzudecken. Ausgangspunkt der Untersuchung sind sowohl Forschungsfragen als auch Hypothesen zu möglichen Schülervorstellungen, welche in den folgenden beiden Unterkapiteln näher ausgeführt werden.

5.1. Forschungsfragen

Neben dem eingangs erwähnten Hauptziel dieser Abhandlung, nämlich bereits bekannte Schülervorstellungen zum Thema Reibung zu untersuchen sowie neue zu erfassen, sollen auftretende Parallelen zwischen einzelnen Präkonzepten aufgezeigt werden. Darüber hinaus werden spezifische Merkmale der Lernenden, wie etwa das Geschlecht oder der Grad an Interesse an physikalischen Themen, bei der Datenauswertung berücksichtigt.

1. *Inwiefern stimmen die im Rahmen dieser Untersuchung erhobenen Schülervorstellungen mit den bereits in der Literatur vorliegenden Schülervorstellungen zum Thema Reibung überein?*
2. *Welche neuen Schülervorstellungen können zum Thema Reibung erfasst werden?*
3. *Welche Verbindungen zwischen einzelnen Schülervorstellungen zeichnen sich ab?*
4. *Welche Unterschiede lassen sich aus den erreichten Gesamtscores der Lernenden bei den Online-Fragebögen in Hinblick auf die Schulstufe, das Geschlecht, das Interesse an Themen des Physikunterrichts, die Physiknote und die Selbsteinschätzung des Verständnisses erkennen?*

5.2. Hypothesen zu möglichen Schülervorstellungen

Nachstehend werden mögliche Schülervorstellungen angeführt, welche entweder aus bereits durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen hervorgehen oder sich aus den fachlichen Grundlagen zum Thema Reibung logisch ableiten lassen. Die Vorstellungen werden dabei jener Online-Umfrage (Prätest oder Posttest) zugeordnet, in der diese in weiterer Folge auch untersucht werden (siehe Kapitel 6.1, Instrumente zur Datenerhebung).

5.2.1. Prätest

- *Reibung als Konsequenz klebriger Körperoberflächen*
- *Reibung als Konsequenz der Trägheit eines Körpers*

Während die Unebenheit von Körperoberflächen als Ursache für Reibung zwischen Festkörpern intuitiv als logisch erscheint, ist die Anziehung der Oberflächenteilchen ein deutlich abstrakterer Zugang. Bevor die Lernenden diesen Aspekt auf mikroskopischer Ebene berücksichtigen, lässt sich mutmaßen, ob Schüler*innen nicht eher auf der makroskopischen Ebene verbleiben, indem sie für die Klebrigkeit von Körperoberflächen oder die Trägheit des Körpers (Körper möchte bei Einwirkung einer äußeren Kraft im Ruhezustand verbleiben) argumentieren.

- *Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf*

Aus der Literatur (20, S.176, 177) lässt sich entnehmen, dass Schüler*innen Reibung tendenziell eher mit bewegten Körpern auf einer Unterlage verbinden als mit ruhenden. Das heißt, viele Lernende sehen die Bewegung eines Körpers auf einer Unterlage als Voraussetzung dafür, dass überhaupt Reibung auftreten kann.

- *Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung*

Die Bezeichnung Haftreibung könnte die Lernenden dazu verleiten, dass sie die Existenz einer Haftreibungskraft vorhersagen, auch wenn die beiden Reibungspartner zueinander in Ruhe sind (Relativgeschwindigkeit ist gleich Null) nach dem Motto „es tritt Haftreibung auf, da die beiden Körper aneinanderhaften“. Stattdessen entsteht erst mit dem Aufbringen einer äußeren Kraft auf den Körper eine betragsmäßig gleich große Haftreibungskraft, denn erst durch eine minimale Verschiebung des einen Körpers auf dem anderen „verhaken“ sich die beiden Körperoberflächen ineinander. Man sollte deshalb erst ab einer (winzigen) Bewegung von (Haft-) Reibung sprechen. (9, S.172)

- *Die Reibung hängt von der Größe der Kontaktfläche zwischen den beiden Körpern ab*

Diese Schülervorstellung liegt erfahrungsgemäß häufig in den Köpfen der Lernenden vor. Auf der Ursache des Auftretens von Reibungskräften, nämlich die Unebenheit der beiden in Berührung stehenden Flächen aufbauend, argumentieren die Schüler*innen, dass mit einer größeren Kontaktfläche eine höhere Chance besteht, dass sich die Körperoberflächen ineinander „verhaken“. Dieser Gedankengang könnte sie zur Fehlvorstellung verleiten, dass mit zunehmender Kontaktfläche der beiden Reibungspartner die wirkende Reibungskraft zunimmt.

- *Die Reibung hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird*

Die Vorstellung, dass sich die unebenen Körperoberflächen ineinander „verhaken“, könnte die Lernenden zur falschen Schlussfolgerung führen, dass Reibungskräfte zwischen Festkörpern geschwindigkeitsabhängig seien. So könnten Schüler*innen womöglich wie folgt argumentieren: „Mit zunehmender Geschwindigkeit brechen einerseits die Berge der Körperoberflächen (siehe Abbildung 2) immer stärker ab und andererseits kann durch die Geschwindigkeitserhöhung der bewegte Körper einfacher über die Unebenheiten „hüpfen“.“ (5, S.191)

- *Reibung möchte man stets verhindern („Reibung ist schlecht“)*

Die Lernenden kennen zumeist zahlreiche Beispiele aus dem Alltag, in denen Reibungskräfte dazu führen, dass Körper zum Stillstand kommen. So werden Reibungskräfte beispielsweise beim Radfahren, Skateboardfahren, Eishockey oder Bowling tendenziell als Hemmung der erwünschten Bewegung wahrgenommen. Die Notwendigkeit von Reibungskräften, um sich überhaupt zu Fuß fortbewegen zu können oder auf einer steilen Bergstraße stehen zu können, ist den Lernenden hingegen oftmals unbekannt. Diese Vorstellung geht auf eine Untersuchung zurück, in der gezeigt wurde, dass Schüler*innen Reibung in der Regel als Widerstandskraft ansehen und nur selten ihre Notwendigkeit erkennen. (17, S.1106), (21, S.1183)

- *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*

Wie in der Literatur (10, S.123) geschildert, schätzen viele Schüler*innen die Richtung der Reibungskraft so ein, dass diese normal auf die Kontaktfläche der beiden Festkörper steht (Pfeilspitze zeigt zur Kontaktfläche). Die Schüler*innen stützen diese Ansicht auf der festhaltenden Wirkung der Unterlage, im Sinne eines Haltens des Körpers durch die Unterlage.

- *Bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$*

Übt eine Person eine Kraft auf einen Kasten aus mit dem Ziel diesen zu verschieben, so übt der Kasten wiederum gemäß dem dritten Newton'schen Axiom eine gleich große (aber entgegengesetzt gerichtete) Kraft auf die Person aus. Schüler*innen, die dieses Wechselwirkungsprinzip nicht korrekt aufgefasst oder verinnerlicht haben, könnten der Auffassung sein, dass während der Krafteinwirkung durch die Person permanent die maximale Haftreibung auftritt und der Bewegung entgegenwirkt.

Diese Hypothese stellt eine Verbindung zu einer in der Literatur (1, S.78), geschilderten Schülervorstellung her. So lässt sich aus bereits durchgeführten Untersuchungen entnehmen, dass Lernende beim Verschieben eines Kastens die auf den Kasten ausgeübte Kraft anfangs als geringer ansehen als die Haftreibungskraft. Erst wenn der

Widerstand des Kastens (maximale Haftreibung) überwunden wird, indem die Schubkraft höher ausfällt als die maximale Haftreibung, beginnt sich der Kasten zu bewegen. Kurz gesagt gilt es zu überprüfen, ob die Lernenden die maximale Haftreibung als einen konstanten „Widerstand“ eines Körpers gegen seine Bewegung auffassen.

5.2.2. Posttest

Ab hier werden mögliche Schülervorstellungen festgehalten, welche im Zuge des Nachtests überprüft werden. Die schiefe Ebene soll zuvor im Unterricht thematisiert werden, damit die Lernenden über Anhaltspunkte zur Argumentation in diesem Kontext verfügen. Das dabei erworbene Vorwissen der Lernenden schließt das Auftreten von fehlerhaften Vorstellungen während des Posttests nicht aus.

- *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)*

Gleitet oder rollt ein Körper aufgrund einer auf ihn einwirkenden Kraft über einen anderen Körper, so wirken die Reibungskräfte entsprechend dem 3. Newton'schen Axiom auf beide Körper. Die Lernenden vermuten in der Regel jedoch, dass nur auf den oberen Körper Reibungskräfte wirken und nicht auf beide. (17, S.1106), (22, S.4)

- *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*

Diese Fehlvorstellung kommt erst dann zum Tragen, wenn sich ein Körper eine schiefe Ebene hinauf- oder hinabbewegt. Denn bei einem Verschieben eines Kastens auf einer waagrechten Unterlage ist die Gewichtskraft betragsmäßig gleich der Normalkraft, sodass, von der entgegengesetzten Richtung der beiden Kräfte abgesehen, die auftretende Reibungskraft über die wirkende Gewichtskraft berechnet werden kann. Dies ist allerdings bei der schiefen Ebene (siehe Kapitel 2.3.4) nicht mehr möglich, da sich hier die Beträge der Gewichtskraft und der Normalkraft voneinander unterscheiden und für die Berechnung von Reibungskräften die Normalkraft von Bedeutung ist. Die in der Literatur (17, S.1106) beschriebene Tendenz, dass Lernende die Normalkraft mit der Gewichtskraft gleichsetzen, betrifft diese und die folgende Schülervorstellung.

- *Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung*

Fehlerhafte Darstellungen der Normalkraft, wie beispielsweise in (5, S.190), aber auch in zahlreichen anderen Werken, in denen ein Kasten auf einer waagrechten Ebene verschoben wird, verleiten die Schüler*innen zur Annahme, dass die Gewichtskraft und die Normalkraft in dieselbe Richtung zeigen. Stattdessen zeigen diese beiden Kräfte, genauso wie die Zugkraft und die Reibungskraft, in die jeweils entgegengesetzte Richtung. Es gilt zu überprüfen, wie die Lernenden die Richtungen der Gewichts- und der Normalkraft hinsichtlich der, sich aus der Summe aller wirkenden Kräfte ergebenden, resultierenden Kraft beurteilen. Die fehlerhafte Darstellung der Normalkraft setzt sich in der Literatur (10, S.116) auch für die schiefe Ebene fort und ermöglicht in dieser Form kein Verständnis der physikalisch korrekten Sichtweise, nämlich die Hangabtriebskraft als die Summe aller auf den Körper einwirkenden Kräfte auf der schiefen Ebene zu betrachten.

- *Ruht ein Körper auf einer schiefen Ebene, so tritt keine Reibung auf*

Aus einer Untersuchung von Kiersten Stead und Roger Osborne im Jahr 1980 ging hervor, dass manche Lernenden annehmen, dass auf einen Körper, welcher auf einem Abhang ruht, keine Reibungskraft wirke. Es trete aus ihrer Sicht in diesem Fall keine Reibung auf, da die Körper aufgrund der fehlenden Bewegung nicht aneinander reiben würden. (16, S.85)

- *Ein Körper rutscht eine schiefe Ebene hinunter, weil eine Kraft parallel zur schiefen Ebene hinab zeigt*

Diese Kraft wirkt zwar tatsächlich und sorgt für das Hinabrutschen des Körpers, allerdings handelt es sich bei jener Kraft um die Resultierende aus der Hangabtriebskraft (ist die parallele Komponente der Gewichtskraft), der senkrechten Komponente der Gewichtskraft, der Normalkraft und der Reibungskraft. Dies deckt sich auch mit der Anmerkung im Werk (10, S.123), dass die Lernenden bei der Anweisung die wirkenden Kräfte auf einen, eine schiefe Ebene hinabrutschenden, Körper einzuzeichnen, in vielen Fällen zuerst oder alleinig die Hangabtriebskraft einzeichnen.

- *Reibungskräfte greifen an demselben Punkt des Körpers an, wie die auf den Körper ausgeübte Kraft*

Wird ein Körper auf einer horizontalen Unterlage bewegt, indem auf diesen eine Schubkraft ausgeübt wird, so wird die Reibungskraft oftmals als Vektor dargestellt, der am selben Punkt angreift wie die Schubkraft. Siehe dazu zum Beispiel in der Literatur (5, S.191), oder (7, S.130) für die schiefe Ebene. Diese Darstellung könnte die Lernenden zu einer fehlerhaften Interpretation des 3. Newton'schen Axioms, nämlich dass Kraft und Gegenkraft am selben Körper angreifen würden (siehe Abschnitt 4.4), verleiten oder sie in ihrer Fehlvorstellung sogar bestärken. Das Verschieben aller auf einen Körper einwirkenden Kräfte in einen Punkt, um die resultierende Kraft grafisch einfacher ermitteln zu können, ist zwar in der Physik ein probates Mittel, allerdings wird so die zuvor geschilderte Schülervorstellung explizit gefördert. Deshalb sind aus fachdidaktischer Sicht Darstellungen der Reibungskräfte wie jene im Münchner Unterrichtskonzept (8, S.50) zu bevorzugen.

6. Forschungsdesign

In diesem Abschnitt wird das Forschungsdesign der angestrebten Untersuchung näher beleuchtet. Das Forschungsdesign, alternativ auch Untersuchungsdesign oder Untersuchungsanordnung genannt, stellt die Grundlage einer wissenschaftlichen Untersuchung dar. Dieses beschreibt die Art und Weise, wie eine Forschungsfrage empirisch untersucht werden soll und hat Einfluss auf die durch die Untersuchung erhobenen Daten und deren Aussagekraft. Zentrale Elemente eines Forschungsdesigns stellen die Festlegung der Art der Forschung, der Messinstrumente, der Methoden der Datenauswertung und der Stichprobe dar. (23, S.125)

Die die Arbeit begleitende Untersuchung zur Erhebung von Schülervorstellungen zum Thema Reibung lässt sich der quantitativen Forschung zuordnen. Neben der Erhebung von Daten über Fragebögen als quantitative Forschungsmethode greift die Untersuchung auch auf Interviews als qualitative Forschungsmethode zurück. Da im Zuge der Interviews, welche lediglich Klarheit in der Formulierung der Fragestellungen gewährleisten sollen (siehe Abschnitt 6.1), jedoch keine Daten erhoben werden, handelt es sich hierbei um kein Mixed-Methods-Design.

6.1. Instrumente zur Datenerhebung

Die Schülervorstellungen werden mittels Online-Fragebogen (Prätest) in je zwei Klassen der Schulstufen 7, 8, und 9 an einer AHS erhoben. Um die Verständlichkeit der Aufgabenstellungen des Prätests bei den Lernenden zu gewährleisten, werden Schüler*innen aus der 7. Schulstufe vorab zu den Fragen des Prätests interviewt, woraufhin die Fragen auf der Grundlage des erhaltenen Feedbacks adaptiert werden. So kann eine altersadäquate Formulierung der Fragestellungen sichergestellt werden. Diese ist im Hinblick auf die Erhebung von Schülervorstellungen von zentraler Bedeutung, denn nur wenn die Lernenden die gestellten Fragen verstehen und auf der Grundlage ihres bestehenden Wissensnetzes reflektieren, lassen sich aus den Antworten auf die Fragen Rückschlüsse auf die in den Köpfen der Lernenden innewohnenden Vorstellungen ziehen. Zum Zeitpunkt der Durchführung des Online-Fragebogens wurde in einer der beiden Klassen der 7. Schulstufe das Thema Reibung im Unterricht noch nicht behandelt. Forschungsgegenstand sind also fünf Klassen, welche über Wissen zum Thema

Reibung aus dem Physikunterricht verfügen sowie eine Vergleichsklasse, die bei der Beantwortung der Fragen auf ihre Alltagsvorstellungen zurückgreifen muss. Dies soll einen Vergleich bezüglich des Vorliegens von Schülervorstellungen vor und nach dem Physikunterricht ermöglichen. Zudem findet in den beiden Klassen der 7. Schulstufe, die auch den Prätest durchgeführt haben, im Anschluss an das im Unterricht vermittelte Thema Reibung eine weitere Online-Umfrage (Posttest) statt. Der Posttest erfordert eine gewisse zeitliche Nähe zum erlernten Stoff, denn dieser umfasst komplexere Fragestellungen und bezieht sich auf spezielle Situationen unter Einwirkung von Reibung, wie etwa der schiefen Ebene.

Beide Online-Fragebögen (Prätest und Posttest) wurden auf Basis bestehender Schülervorstellungen und möglicher Hypothesen (siehe Kapitel 4.4, 4.5 und 5.2) erstellt. Die Fragestellungen (Items) wurden dabei konsistent in mehrere Teilfragen (Stufen) gegliedert, denn solche mehrstufigen Tests ermöglichen nicht nur eine Überprüfung des Wissensstands der Lernenden, sondern lassen zudem aus falschen Antworten der Lernenden Rückschlüsse auf Fehlvorstellungen zu. (24, S.217) Dabei müssen die Lernenden im ersten Schritt den Versuchsausgang eines gegebenen Experiments voraussagen, Vermutungen zur Beantwortung von Fragen anstellen oder Aussagen hinsichtlich ihrer Gültigkeit beurteilen. Im Rahmen der zweiten Stufe ist es Aufgabe der Schüler*innen zu ihren Vorhersagen, Vermutungen oder Einschätzungen (aus Stufe 1) logisch nachvollziehbare Erklärungen zu finden. Der letzte Schritt umfasst bei jedem Item die Konfrontation der Lernenden mit der Frage, wie sicher sie sich sind, ob ihre Antworten aus Stufe 1 und 2 korrekt sind. Dies ist für die Auswertung der Untersuchungsergebnisse von fundamentaler Bedeutung, da so Antworten von Lernenden, bei denen sie sich „sehr unsicher“ oder „unsicher“ sind, aus dem Datensatz ausgenommen werden können. Während des unvermeidbaren Umstandes, dass manche Lernende bei den einzelnen Testfragen womöglich ohne nachzudenken zufällig Antworten auswählen, lassen sich hingegen Antworten auf Fragen, zu denen Lernende keinen Bezug bzw. Vorstellung haben, einordnen, indem sie aus dem Datensatz entfernt werden.

Sowohl der Prätest als auch der Posttest starten mit persönlichen Angaben der Lernenden. Diese umfassen einen persönlichen Code, die Schulstufe (genauer die Klasse), das Geschlecht, das Interesse an Themen des Physikunterrichts, die Physiknote, sowie die

Selbsteinschätzung des Physikverständnisses für jede/n Schüler/in. Auf der Basis der daraus gewonnenen Daten wird in einem späteren Abschnitt die vierte Forschungsfrage (siehe Kapitel 5.1) diskutiert.

In weiterer Folge werden die Lernenden bei der Bearbeitung des Prätests mit sieben Items, wobei sechs davon dreistufig sind und eines zweistufig ist, konfrontiert. Durch diese Items werden die Ursache von Reibung, das Auftreten von Reibung, die Einflussfaktoren auf die Reibung, Erwünschtheit von Reibung im Alltag, der Vektoraspekt (die Darstellung) von Reibungskräften und die maximale Haftreibung als physikalische Aspekte angesprochen. Beim Posttest hingegen bearbeiten die Lernenden sechs dreistufige Items. Hierbei wird, im Anschluss an die persönlichen Angaben der Schüler*innen, einerseits der Ober-Unter-Effekt entlang einer horizontalen Unterlage, und andererseits die Richtung und der Betrag der Normalkraft, die resultierende Kraft, das Auftreten von Haftreibung und der Vektoraspekt (die Darstellung) von Reibungskräften auf einer schiefen Ebene thematisiert.

Interviews, als qualitative Forschungsmethode, lassen sich grundsätzlich in offen, halbstrukturiert und strukturiert einteilen. Diese drei Formen eines Interviews unterscheiden sich maßgeblich im Handlungsspielraum der interviewten Person. (25, S.214) Die in der 7. Schulstufe durchgeführten Interviews zum Fragebogen des Prätests haben halbstrukturierten Charakter. Denn einerseits soll den Lernenden Raum gegeben werden ihre Meinungen, Probleme und Erfahrungen hinsichtlich der Fragen des Prätests zu äußern, und andererseits soll durch den nachstehenden Interviewleitfaden sichergestellt werden, dass die befragten Schüler*innen zu den Merkmalen *Klarheit und sprachliche Verständlichkeit der Fragestellungen, grafische Darstellungen, Strukturierung der Fragen* und *logische Antwortkombinationen auf zusammenhängende Teilfragen*, ihre Eindrücke schildern.

Der Interviewleitfaden besteht aus folgenden Fragestellungen.

1. Welche Dinge hast du bei der Bearbeitung des Fragebogens als positiv bzw. als negativ empfunden? Welcher Gesamteindruck hat sich für dich ergeben?
2. Sind die Fragen für dich verständlich? Bei welcher Frage hattest du die größten Probleme? Müssen Fragen, deiner Meinung nach, sprachlich vereinfacht werden?

3. Findest du die Abbildungen hilfreich, um die Situationen besser verstehen zu können? Welche Abbildungen würdest du ändern und wie? Bei welcher Frage wäre, aus deiner Sicht, noch eine Abbildung zu ergänzen?
4. Sind die einzelnen Fragen anschaulich strukturiert? Wie gut kommst du mit der Einteilung der Fragen in jeweils drei Teilfragen zurecht?
5. Wie schwierig findest du es, aus den Teilfragen a und b die zusammengehörenden Antworten zu finden? Überlege dazu, welche Antwort aus Teilfrage a passt zu welcher Antwort bei Teilfrage b.

Bei den, auf Grundlage des Interviewleitfadens, durchgeführten Befragungen handelt es sich um narrative Interviews. Diese Interviewform ist charakterisiert durch eine Einstiegsfrage, die die/den Interviewte/n zu einer freien Erzählung ihrer/seiner Ansichten bzw. Erfahrungen einlädt (siehe Interviewleitfaden, Frage 1). In weiterer Folge stellt der/die Interviewer/in Nachfragen, um einen vertiefenden Einblick in die zu Beginn dargelegte Schilderung des/der Befragten zu generieren. Dies wird im Zuge der vorliegenden Interviewreihe realisiert, indem, in Anlehnung an die Fragen 2 bis 5 des Leitfadens, Nachfragen gestellt werden. (25, S.214, 215)

Vor der Durchführung der Tests wurden die Lehrpersonen gebeten, die Schüler*innen dazu aufzufordern, alle gestellten Testfragen allein und gewissenhaft zu beantworten. Zudem teilten die Lehrpersonen den Lernenden mit, dass es bei völliger Unwissenheit in Bezug auf eine Frage in Ordnung sei, die aus ihrer Sicht plausibelste Antwortkombination auszuwählen. In diesem Fall sollen die Lernenden jedoch bei der dritten Teilfrage des Items, bei welchem sie selbst einschätzen wie sicher sie sich hinsichtlich ihrer gewählten Antworten sind, „überhaupt nicht sicher“ ankreuzen. Sowohl der zuvor genannte Umstand, dass die Lernenden bei Unwissenheit „raten“ dürfen, als auch das Ausbleiben zeitlicher Vorgaben zur Bearbeitung der Tests soll den auf die Lernenden verübten Druck reduzieren. Um die Durchführbarkeit des Prä- und des Posttest in elektronischer Form zu gewährleisten, wurden manchen Personen elektronische Endgeräte (Laptop, Tablets oder Handys) zur Verfügung gestellt. Beide Tests wurden in der besagten Schule während der Unterrichtszeit umgesetzt.

In Hinblick auf den Posttest wurden den Lehrpersonen der beiden Klassen der 7. Schulstufe mitgeteilt, dass dieser Test auf die schiefe Ebene abzielt. Genauer gesagt soll im Zuge des Reibungsunterrichts, die Richtung und der Betrag der Gewichtskraft, der Normalkraft und der Haft- bzw. Gleitreibungskraft eines ruhenden bzw. bewegten Körpers auf einer schiefen Ebene angesprochen werden. Diese Hinweise an die Lehrkräfte sollen vermeiden, dass viele beim Test vorkommende Aspekte nie zuvor im Physikunterricht thematisiert wurden und die Schüler*innen demnach in völliger Unwissenheit den Test bearbeiten müssen. Diese, an die Lehrpersonen vermittelten Schwerpunkte des Reibungsunterrichts, schließen das Auftreten von Schülervorstellungen beim Posttest jedoch keineswegs aus.

6.2. Methoden zur Datenauswertung

In Bezug auf die Auswertung der aus den Fragebögen erhaltenen Daten ist es von zentraler Bedeutung, vorab den einzelnen Antwortkombinationen (aus den Stufen 1 und 2) entsprechende Schülervorstellungen zuzuordnen. So lässt sich in weiterer Folge, auf der Grundlage der gewählten Antwortkombination für das jeweilige Item, eine quantitative Aussage über die Häufigkeitsverteilung der betrachteten Schülervorstellungen gewinnen. Aus der Häufigkeit, mit der eine bestimmte Vorstellung im Rahmen der Untersuchung bei den Lernenden auftritt, können Lehrkräfte die Relevanz über die jeweilige Vorstellung Bescheid wissen zu müssen, einschätzen. (24, S.209)

In Tabelle 1 werden für jedes Item (Fragestellung) des Prätests falsche, aber plausible, Antwortkombinationen (AK) erfasst und der zugrundeliegenden Schülervorstellung zugeordnet. Für die Items des Posttests ist diese Zuordnung in Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 1.: Antwortkombinationen (AK) des Prätests

Item	AK	Beschreibung	Schülervorstellung
1	a2b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Körperoberflächen klebrig sind und sich diese deshalb aneinander reiben.	Reibung als Konsequenz klebriger Körperoberflächen.
	a4b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass die Trägheit von Körpern eine Kraft verursacht, die eine Bewegung von Körpern auf einer Unterlage hemmt.	Reibung als Konsequenz der Trägheit eines Körpers.
2	a1b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass eine Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Körpern vorliegen muss, sodass sich deren Oberflächen ineinander „verhaken“.	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.
	a2b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibung stets bei Kontakt zweier Körper auftritt, auch wenn beide Körper in Ruhe sind und auf sie keine Kraft wirkt. Zwischen den Körpern tritt Haftreibung auf, weil Körper im Allgemeinen aneinanderhaften.	Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung.
3	a1b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass zwischen zwei ruhenden Körpern immer Haftreibung auftritt, weil in Berührung stehende Körper im Allgemeinen aneinanderhaften (vgl. Item 2, a2b1).	Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung.
	a3b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass eine Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Körpern vorliegen muss, sodass sich deren Oberflächen ineinander „verhaken“ (vgl. Item 2, a1b3).	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.

4	a1b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass mit einer größeren Kontaktfläche zwischen zwei Körpern eine größere Chance besteht, dass sich die Unebenheiten der berührenden Körperoberflächen ineinander „verhaken“.	Die Reibung hängt von der Größe der Kontaktfläche zwischen den beiden Körpern ab.
	a2b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass sich die Unebenheiten der berührenden Körperoberflächen, je nach Form der Kontaktfläche mehr oder weniger „verhaken“.	Die Reibung hängt von der Form der Kontaktfläche ab.
	a5b4	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass sich ein Körper mit zunehmender Geschwindigkeit leichter über die Unebenheiten der Unterlage bewegen kann.	Die Reibung hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird.
5	a1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibung in jedem Kontext erwünscht ist.	Reibung möchte man immer haben.
	a2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibung in jedem Kontext unerwünscht (störend) ist.	Reibung möchte man stets verhindern („Reibung ist schlecht“).
6	a2b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibungskräfte in die Bewegungsrichtung von Körpern zeigen.	Reibung trägt zur Bewegung eines Körpers bei.
	a3b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibungskräfte senkrecht zur Kontaktfläche der beiden reibenden Körper stehen im Sinne eines Festhaltens des Körpers durch die Unterlage.	Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper.

7	a2b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass beim Bestreben eines Körpers ihn durch Krafteinwirkung zu verschieben, sich dieser aufgrund der Trägheit mit maximaler Haftreibung der Bewegung widersetzt.	Bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$.
	a3b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass beim Verschieben eines Kastens keine Haftreibung wirkt, da dieser im Alltag prompt in die Gleitphase übergeht.	Beim Verschieben eines Kastens wirkt keine Haftreibung.

Tabelle 2.: Antwortkombinationen (AK) des Posttests

Item	AK	Beschreibung	Schülervorstellung
1	a1b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass sich die Unebenheiten des rollenden Zylinders mit jenen der Unterlage ineinander „verhaken“, wodurch sich Zylinder und Unterlage in dieselbe Richtung bewegen.	Ein rollender Körper zieht die Unterlage, aufgrund der Reibung, in seine Bewegungsrichtung mit.
	a3b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibungskräfte immer nur auf den oberen der beiden Körper wirken. Demnach bewegt sich der Zylinder, aber nicht die Unterlage.	Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt).
2	a1b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass die Gewichtskraft und die Normalkraft in dieselbe Richtung zeigen. Beide Kräfte wirken also stets gemeinsam.	Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung.

	a2b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass sich die Gewichtskraft gegenüber der Normalkraft durchsetzt, da diese größer ist. Wirken mehrere Kräfte gleichzeitig auf einen Körper, so entscheidet allein die stärkste Kraft über die weitere Bewegung des Körpers.	Die stärkere Kraft gewinnt.
3	a1b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass die Normalkraft und die Gewichtskraft betragsmäßig immer gleich groß sind. Diese Gleichheit der Beträge wird von den Lernenden, von der horizontalen Ebene fälschlicherweise einfach auf die schiefe Ebene übernommen.	Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß.
	a2b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass sich die Gewichtskraft gegenüber der Normalkraft durchsetzt, da diese größer ist (vgl. Item 2, a2b1).	Die stärkere Kraft gewinnt.
4	a1b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass auf einen Körper auf einer schiefen Ebene nur die Hangabtriebskraft wirkt, denn schließlich bewegt sich der Körper genau in die Richtung der Hangabtriebskraft.	Ein Körper rutscht eine schiefe Ebene hinunter, weil eine Kraft parallel zur schiefen Ebene hinab zeigt.
	a2b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass auf einen Körper auf einer schiefen Ebene nur die Gewichtskraft wirkt, sie vergessen auf die Normalkraft oder sie zeigt aus ihrer Sicht in dieselbe Richtung wie die Gewichtskraft (vgl. Item 2, a1b3).	Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung.

5	a2b2	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Körper und der Unterlage (schiefe Ebene) vorliegen muss, sodass sich deren Oberflächen ineinander „verhaken“ (vgl. Prätest: Item 2, a1b3; Item 3, a3b3).	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.
6	a1b3	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Kraft und Gegenkraft am gleichen Körper angreifen (Fehlinterpretation des 3. Newton'schen Axioms).	Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an.
	a2b1	Lernende, die diese AK wählen, gehen davon aus, dass Reibungskräfte senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper stehen im Sinne eines Abbremsens des Körpers durch die Reibung mit der Unterlage (vgl. Prätest; Item 6, a3b3).	Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper.

In Hinblick auf die vierte Forschungsfrage (siehe Kapitel 5.1) hängt der Gesamtscore, welcher beim Prä- bzw. Posttest durch die Lernenden erzielt wird, maßgeblich von der Punktevergabe für die einzelnen Items ab. Diese erfolgt in der Form, dass für ein Item ein Punkt vergeben wird, wenn sowohl bei Stufe 1 als auch bei Stufe 2 die richtige Antwort ausgewählt wird. Hingegen werden null Punkte vergeben, sollte auf einer der beiden Stufen oder auf beiden Stufen eine falsche Antwort ausgewählt werden. Bei Items mit Multiple-Choice Format, gekennzeichnet in den einzelnen Stufen durch „mehrere Antworten ankreuzbar“, wird nur dann ein Punkt vergeben, sofern alle korrekten Antworten auf beiden Stufen ausgewählt wurden (es gibt keine Teilpunkte). Eine Ausnahme stellt Item 5 des Prätests dar, denn hier wird allein für die korrekte Antwort auf Stufe 1 ein Punkt vergeben (Stufe 2 existiert bei diesem Item nicht).

6.3. Beschreibung der Stichprobe

Die vorliegende Untersuchung von Schülervorstellung zum Thema Reibung wurde in Form von Interviews und Online-Fragebögen (Prätest und Posttest) an einem österreichischen Bundesoberstufenrealgymnasium (BRG/BORG) umgesetzt. Um sicherstellen zu können, dass die Fragen des Prätests für die Lernenden klar und verständlich sind, wurden neun Schüler*innen aus zwei Klassen der 7. Schulstufe zu diesen Fragen interviewt. Der Prätest wurde von insgesamt 126 Lernenden aus je zwei Klassen der Schulstufen 7, 8 und 9, online in elektronischer Form vollständig bearbeitet. Auf den Posttest, welcher von den beiden Klassen der 7. Schulstufe bearbeitet wurde, entfielen 48 Schüler*innen (vollständige Bearbeitung des Online-Fragebogens vorausgesetzt). Vom Prätest ferngebliebene Schüler*innen wurden zum Posttest zugelassen.

Eine Beschreibung der Stichprobe des Prätests, hinsichtlich der Schulstufe und der Klasse erfolgt über Tabelle 3 bzw. für den Posttest über Tabelle 4.

Tabelle 3.: Stichprobe des Prätests

Schulstufe	Klasse	Schüler*innen
7	(3C)	(25)
	3E	22
8	4A	20
	4C	25
9	5C	17
	5E	17

Tabelle 4.: Stichprobe des Posttests

Schulstufe	Klasse	Schüler*innen
7	3C	24
	3E	24

Der Umstand, dass die Schüler*innen der Klasse 3C im Gegensatz zu den anderen fünf Klassen das Thema Reibung im Unterricht noch nicht behandelt hatten als der Prätest durchgeführt wurde, soll eine Debatte über die Wirksamkeit des Physikunterrichts im Umgang mit Schülervorstellungen initiieren. Sofern im Text nicht anders erwähnt, wird

die Klasse 3C von der Stichprobe des Prätests ausgeschlossen und als Kontrollgruppe herangezogen.

Während die Beschränkung der Stichprobe auf einen Schulstandort keine Untersuchung schulformspezifischer Effekte zulässt, ermöglicht die vorliegende Stichprobe jedoch personenspezifische Merkmale (Alter, Geschlecht, Interesse am Physikunterricht, Physiknote und Selbsteinschätzung des Verständnisses) in den Blick zu nehmen (siehe Abschnitt 5.1, Forschungsfrage 4).

7. Gesammelte Daten

Die aus den Leitfadeninterviews und den beiden Online-Umfragen gewonnenen Daten werden in diesem Kapitel dargelegt. Im ersten Unterabschnitt werden die zentralen Erkenntnisse aus den Befragungen von Lernenden der 7. Schulstufe zum Prätest schriftlich festgehalten. Auf der Grundlage dieses Feedbacks wird der Prätest adaptiert, mit dem Ziel sprachliche Barrieren oder Verständnisschwierigkeiten seitens der Schüler*innen bei dessen Bearbeitung zu minimieren. Die am Prätest vorgenommenen Veränderungen, als Reaktion auf das erhaltene Feedback, werden aufgezeigt, wenngleich diese beim Gegenüberstellen der Erstversion und der überarbeiteten Version des Prätests (siehe Abschnitte B.3 und B.4) ohnehin deutlich werden sollten. Im zweiten Unterabschnitt werden die Ergebnisse der beiden Online-Umfragen präsentiert, welche in weiterer Folge für die Beantwortung der Forschungsfragen von fundamentaler Bedeutung sind.

7.1. Erkenntnisse aus Interviews

Insgesamt wurden neun Schüler*innen aus den beiden 3. Klassen (7. Schulstufe), auf der Grundlage des Interviewleitfadens (siehe Abschnitt 6.1), zum Online-Fragebogen des Prätests befragt. Die im Kapitel B.2 festgehaltenen Erkenntnisse aus den einzelnen Interviews werden nachstehend für jede Frage des Interviewleitfadens zusammenfassend dargestellt. Insbesondere die von den Lernenden vorgebrachten Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge sowie die daraus resultierenden Veränderungen des Prätests werden aufgezeigt.

1. *Gesamteindruck:* Insgesamt lässt sich ein durchwegs positiver Eindruck der Lernenden bezüglich des Prätests resümieren. Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge der Schüler*innen werden nachstehend festgehalten.
2. *Sprachliche Klarheit:* Aus der Sicht der Schüler*innen sind nahezu alle Fragen verständlich formuliert und erfordern demnach keine sprachliche Vereinfachung. Der Umstand, dass in einer der beiden 3. Klassen das Thema Reibung im Physikunterricht vermittelt wurde und in der anderen nicht zeigte sich bei den Interviews. Ausschließlich unter jenen Lernenden, welche noch keinen Reibungsunterricht „genießen“ durften, hatten manche Probleme mit Fachbegriffen. Ins-

besondere Frage 7 ist reich an Fachbegriffen, weshalb diese von den Befragten auch als die schwierigste Aufgabe wahrgenommen wurde. Es wurde dahingehend reagiert, dass manche Begriffe durch tendenziell leichter verständliche Begriffe ausgetauscht wurden. Vor allem durch das Ersetzen der Abbildung aus Teilfrage 7a (mehr dazu im nächsten Unterpunkt) wurden die Fachbegriffe „Haftreibungskoeffizient“ und „Normalkraft“ entfernt. Der Wunsch einer Person die Sätze in Aufgabe 7 kürzer zu verfassen, um diese so sprachlich zu vereinfachen, konnte auch mit Bemühen nicht realisiert werden.

3. *Visualisierung*: Die meisten Abbildungen trugen bei den Befragten zu einem höheren Verständnis der jeweiligen Aufgabe bei, da sie sich dadurch die vorliegende Situation bildlich besser vorstellen können. Basierend auf den Anmerkungen der Schüler*innen zur Abbildung bei Teilfrage 7a wurde diese entfernt und durch eine Veranschaulichung der auf den Kasten wirkenden Kräfte ersetzt. Aus den Interviews ging nämlich hervor, dass die Gleichung zur Berechnung der maximalen Haftreibung bei den Lernenden eher Verwirrung auslöst, als dass sie zur Beantwortung der Frage beiträgt. Eine interviewte Person vermerkte zudem, dass stattdessen eine Abbildung hilfreich wäre, welche die in der Situation auf den Kasten einwirkenden Kräfte darstellen würde (angelehnt an die Abbildung bei Aufgabe 6a). Dem Anliegen einer Person bei Aufgabe 4b eine Abbildung hinzuzufügen wird nicht nachgegangen. Eine solche würde nicht zu einem höheren Verständnis beitragen. Stattdessen müsste pro (vermeintlichem) Einflussfaktor auf die Reibung ein Bild hinzugefügt werden, was jedoch die Übersichtlichkeit der Teilfrage beeinträchtigen würde.
4. *Strukturierung der Fragen*: Der Aufbau des Fragebogens wird von den Lernenden als übersichtlich und gut strukturiert geschildert. Ein paar Schüler*innen empfinden die Unterteilung der Fragen in Teilfragen als störend bzw. verwirrend, in der Regel konnten sie sich aber nach kurzer Zeit mit dieser anfreunden, wodurch kein dringender Handlungsbedarf besteht. Das System mit den sich ergänzenden Teilfragen a und b wurde im Gegensatz dazu auch von mehreren Lernenden positiv wahrgenommen. Dass die Teilfrage c als störend empfunden wird, ist zwar nachvollziehbar, dennoch ist diese Stufe ein unverzichtbarer Bestandteil der an die Durchführung des Prätests folgenden Datenanalyse. Ein wichtiger Gesichtspunkt

bezüglich der 3. Stufe wurde von einer Person eingebracht. In Übereinstimmung mit seiner/ihrer Aussage, dass es nicht immer einfach sei einzuschätzen, wie sicher man sich bezüglich der Korrektheit der gewählten Antwort sein kann, werden positive und negative Punkte für eine hohe bzw. niedrige Sicherheitseinschätzung vergeben (siehe Abschnitt 8.1). Die dabei herangezogene vierstufige Skala schließt zudem eine Tendenz zur Mitte aus.

5. *Zusammengehörende Teilfragen:* Den meisten der befragten Lernenden gelang es auf Anhieb, den Antworten auf Stufe 1 die jeweils dazu logische Erklärung auf Stufe 2 zuzuordnen. Genaues Lesen der Fragen vorausgesetzt, war es nach einer kurzen Einfindungsphase für alle interviewten Schüler*innen möglich, die Antworten mit den dazu passenden Erklärungen zu verbinden, weshalb in diese Richtung keine Adaption vorgenommen wurde.

7.2. Daten aus Online-Umfragen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus den beiden Online-Fragebögen vorgestellt. Die absoluten Häufigkeiten, mit denen die Schüler*innen die einzelnen Antwortkombinationen für jedes Item des Prätests (Klasse 3C ausgenommen) bzw. Posttests ausgewählt haben, sind in Abbildung 9 bzw. 10 dargestellt. Von besonderer Bedeutung für die weitere Datenanalyse sind die richtigen Antwortkombinationen (Felder sind dunkelgrau markiert) und die falschen Antwortkombinationen, die auf Schülervorstellungen hindeuten (Felder sind hellgrau markiert). Letztere entsprechen genau den in Tabelle 1 bzw. 2 festgehaltenen Schülervorstellungen.

Item 1		Stufe 1			
		a1	a2	a3	a4
Stufe 2	b1	x	6	x	x
	b2	x	x	x	24
	b3	47	x	x	x
	b4	x	x	64	x

Item 2		Stufe 1	
		a1	a2
Stufe 2	b1	5	21
	b2	5	20
	b3	47	3

Item 3		Stufe 1		
		a1	a2	a3
Stufe 2	b1	6	20	7
	b2	19	10	3
	b3	2	8	26

Item 4		Stufe 1				
		a1	a2	a3	a4	a5
Stufe 2	b1	x	x	x	51	x
	b2	50	x	x	X	x
	b3	X	16	x	X	x
	b4	x	x	x	x	12
	b5	x	x	54	x	x

Item 5		Stufe 1		
		a1	a2	a3
		4	3	94

Item 6		Stufe 1		
		a1	a2	a3
Stufe 2	b1	2	15	1
	b2	44	5	1
	b3	2	2	29

Item 7		Stufe 1		
		a1	a2	a3
Stufe 2	b1	6	3	7
	b2	12	20	2
	b3	46	5	0

Abbildung 9.: Kreuztabellen zu den Items des Prätests

Item 1		Stufe 1		
		a1	a2	a3
Stufe 2	b1	2	1	8
	b2	3	18	1
	b3	12	1	2

Item 2		Stufe 1		
		a1	a2	a3
Stufe 2	b1	1	20	0
	b2	2	7	8
	b3	3	4	3

Item 3		Stufe 1	
		a1	a2
Stufe 2	b1	1	21
	b2	5	6
	b3	1	14

Item 4		Stufe 1	
		a1	a2
Stufe 2	b1	7	1
	b2	3	9
	b3	4	24

Item 5		Stufe 1	
		a1	a2
Stufe 2	b1	42	1
	b2	1	4

Item 6		Stufe 1		
		a1	a2	a3
Stufe 2	b1	2	11	3
	b2	7	8	7
	b3	4	3	3

Abbildung 10.: Kreuztabellen zu den Items des Posttests

In weiterer Folge werden einerseits den richtigen Antwortkombinationen und andererseits den falschen Antwortkombinationen, aus denen Rückschlüsse auf Schülervorstellungen möglich sind (siehe Tabelle 1 und 2), die absoluten und relativen Häufigkeiten, mit denen diese beim Prätest (siehe Tabelle 5) bzw. beim Posttest (siehe Tabelle 6) ausgewählt wurden, zugeordnet.

Tabelle 5.: Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Prätests

Item	AK	Schülervorstellung	abs. H.	rel. H.
1	a2b1-f	Reibung als Konsequenz klebriger Körperoberflächen.	6	0,059
	a4b2-f	Reibung als Konsequenz der Trägheit eines Körpers.	24	0,238
	a1b3-r		47	0,465
	a3b4-r		64	0,634
2	a1b3-f	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.	47	0,465
	a2b1-f	Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung.	21	0,208
	a2b2-r		20	0,198
3	a1b2-f	Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung.	19	0,188
	a3b3-f	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.	26	0,257
	a2b1-r		20	0,198
4	a1b2-f	Die Reibung hängt von der Größe der Kontaktfläche zwischen den beiden Körpern ab.	50	0,495
	a2b3-f	Die Reibung hängt von der Form der Kontaktfläche ab.	16	0,158
	a5b4-f	Die Reibung hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird.	12	0,119

	a3b5-r		54	0,535
	a4b1-r		51	0,505
5	a1-f	Reibung möchte man immer haben.	4	0,040
	a2-f	Reibung möchte man stets verhindern („Reibung ist schlecht“).	3	0,030
	a3-r		94	0,931
6	a2b1-f	Reibung trägt zur Bewegung eines Körpers bei.	15	0,149
	a3b3-f	Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper.	29	0,287
	a1b2-r		44	0,436
7	a2b2-f	Bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$.	20	0,198
	a3b1-f	Beim Verschieben eines Kastens wirkt keine Haftreibung.	7	0,069
	a1b3-r		46	0,455

Tabelle 6.: Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Posttests

Item	AK	Schülervorstellung	abs. H.	rel. H.
1	a1b3-f	Ein rollender Körper zieht die Unterlage, aufgrund der Reibung, in seine Bewegungsrichtung mit.	12	0,250
	a3b1-f	Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt).	8	0,167
	a2b2-r		18	0,375
2	a1b3-f	Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung.	3	0,063
	a2b1-f	Die stärkere Kraft gewinnt.	20	0,417
	a3b2-r		8	0,167
3	a1b2-f	Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß.	5	0,104

	a2b3-f	Die stärkere Kraft gewinnt.	14	0,292
	a2b1-r		21	0,438
4	a1b1-f	Ein Körper rutscht eine schiefe Ebene hinunter, weil eine Kraft parallel zur schiefen Ebene hinab zeigt.	7	0,146
	a2b2-f	Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung.	9	0,188
	a2b3-r		24	0,500
5	a2b2-f	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.	4	0,083
	a1b1-r		42	0,875
6	a1b3-f	Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an.	4	0,083
	a2b1-f	Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper.	11	0,229
	a3b2-r		7	0,146

Die Verteilung des Gesamtscores beim Prätest (ohne Klasse 3C) wird in Abbildung 11 veranschaulicht. Der Mittelwert des Gesamtscores, welcher sich auf einen Wert von rund 2,4 Punkte beläuft, ist im Säulendiagramm als Linie dargestellt. Hinsichtlich der Items 1 und 4 des Prätests, welche vom Format Multiple-Choice sind, gilt es zu erwähnen, dass diese Items nur dann als korrekt gewertet wurden, wenn auf beiden Stufen alle richtigen Antworten ausgewählt wurden. Für die Klasse 3C, in welcher zum Zeitpunkt der Durchführung des Prätests noch kein Reibungsunterricht stattgefunden hatte, wird eine separate Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores dargestellt (siehe Abbildung 12). Der Mittelwert beträgt rund 2,1 Punkte.

Die Verteilung des Gesamtscores für den Posttest findet sich in Abbildung 13 wieder. Der Mittelwert des Gesamtscores beläuft sich beim Posttest auf rund 2,5 Punkte. Hierbei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass beim Posttest maximal sechs Punkte erzielt werden konnten im Gegensatz zum Prätest mit sieben Punkten.

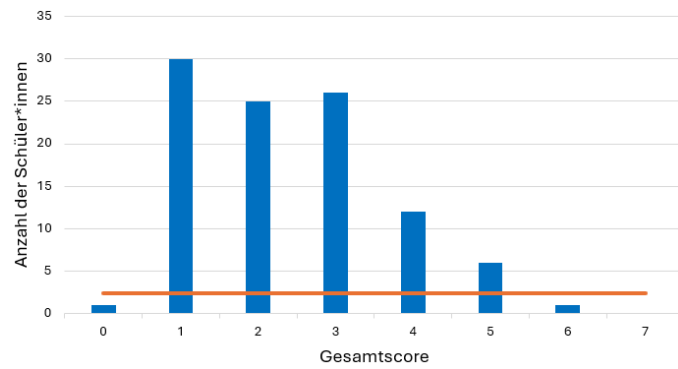


Abbildung 11.: Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores beim Prätest

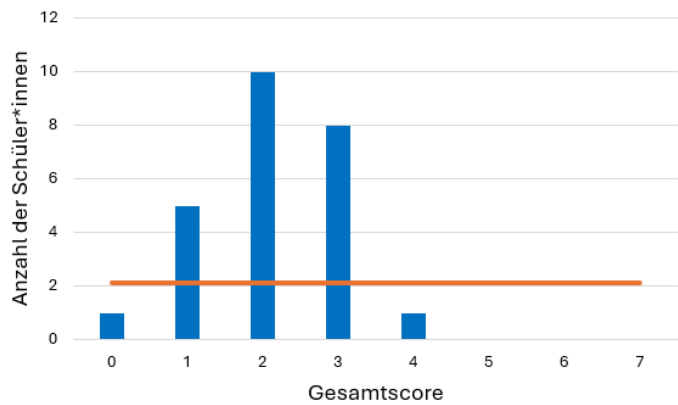


Abbildung 12.: Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores beim Prätest - Klasse 3C

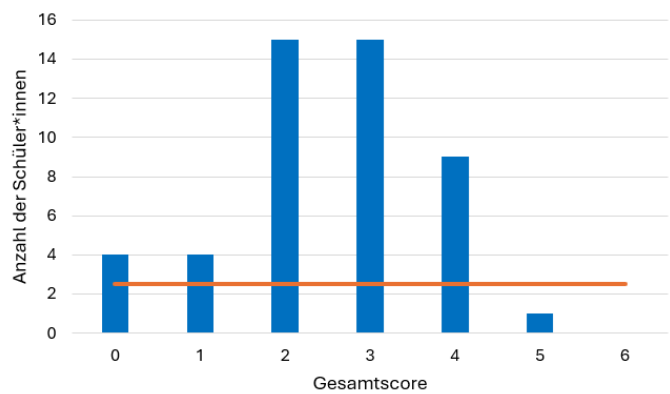


Abbildung 13.: Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores beim Posttest

Eine Beschreibung der personenspezifischen Merkmale (Geschlecht, Interesse am Physikunterricht, Physiknote und Selbsteinschätzung des Physikverständnisses) der Lernenden, die den Prätest bearbeitet haben (alle sechs Klassen), ist in Abbildung 14 ersichtlich. Hierbei zeigt sich, dass die Geschlechter männlich und weiblich in einem „relativ“ ausgewogenen Verhältnis zueinander vertreten sind. Bezüglich der Angaben der Schüler*innen zu ihrem persönlichen Interesse an Themen des Physikunterrichts lässt sich bei über 70% ein ausgeprägtes Interesse erkennen. Darüber hinaus kann aus Abbildung 14 entnommen werden, dass über zwei Drittel der Schüler*innen im vergangenen Schuljahr im Unterrichtsfach Physik mit Note 1 oder 2 beurteilt wurden. Dieser Umstand deckt sich auch mit der persönlichen Einschätzung der Lernenden bezüglich ihres Physikverständnisses, denn etwa 57% der Schüler*innen erachten ihr Verständnis über physikalische Konzepte als hoch bis sehr hoch. In der Stichprobe des Posttests zeigt sich eine vergleichbare Ausprägung der Merkmale. Ausgehend vom Umstand, dass die beiden Klassen des Posttests auch in der Stichprobe des Prätests vertreten sind und die Prozentsätze bei Prä- und Posttest näherungsweise übereinstimmen, werden die Merkmalsausprägungen der Schüler*innen des Posttests nicht explizit angeführt.

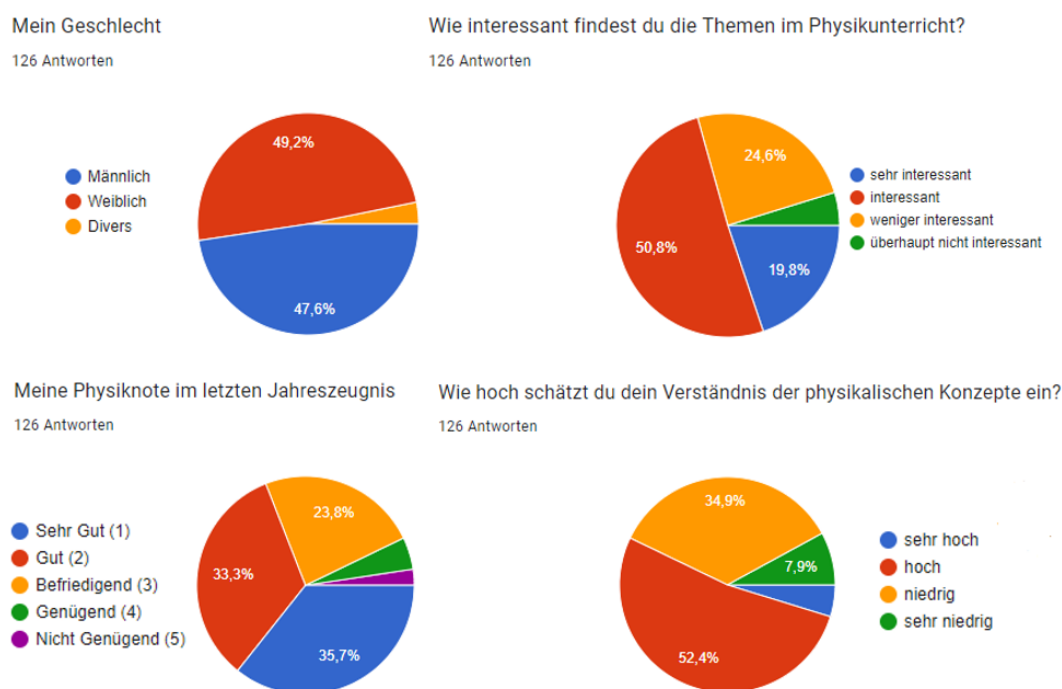


Abbildung 14.: Merkmale der Schüler*innen des Prätests

8. Datenanalyse und Gültigkeit der Forschungsergebnisse

Um die Forschungsfragen im Zuge der Diskussion (siehe Kapitel 9) beantworten zu können, müssen die aus den beiden Tests hervorgehenden Daten zuvor adäquat aufbereitet werden. Genau dieses Ziel wird in diesem Kapitel verfolgt. Tabellarische und grafische Darstellungen der Datensätze sollen die Interpretation dieser in weiterer Folge erleichtern.

8.1. Datenanalyse

In den Abbildungen 9 bzw. 10 wurden die von den Lernenden, beim Prätest bzw. Posttest, gewählten Antwortkombinationen für jedes Item präsentiert. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Auswahl einer richtigen oder falschen, aber nachvollziehbaren, Antwortkombination (siehe Tabelle 5 bzw. 6) nicht zwangsläufig bedeutet, dass der/die Lernende die richtige Antwort auf die Frage wusste oder die gewählte Schülervorstellung in seinem/ihrer Kopf vorliegt, da die Person basierend auf völliger Unwissenheit auch zufällig gekreuzt haben könnte. Um diesen Zufall auszuschließen, wurde bei beiden Fragebögen eine 3. Stufe entwickelt. (24, S.224) Wie bereits erwähnt, wurden die Schüler*innen bei völliger Unwissenheit in Bezug auf ein Item dazu aufgefordert, auf Stufe 3 „überhaupt nicht sicher“ auszuwählen. Die 3. Stufe wird nun bei der Datenauswertung wie folgt berücksichtigt. Kreuzen die Schüler*innen „sehr sicher“ an, so wird die Zahl 2 zugeordnet, bei „sicher“ 1, bei „weniger sicher“ -1 und bei „überhaupt nicht sicher“ -2. Nur wenn ein/e Schüler/in bei einem Item die korrekte Antwortkombination ausgewählt hat und sich zumindest „sicher“ ist (also „sicher“ oder „sehr sicher“), dass die Antwortkombination stimmt, kann davon ausgegangen werden, dass der/die Schüler/in die richtige Antwortkombination wusste (kein „Raten“). Völlig analog dazu, kann nur dann von einem Vorliegen einer Schülervorstellung ausgegangen werden, wenn ein/e Schüler/in eine falsche, aber plausible Antwortkombination angekreuzt hat und sich wiederum zumindest „sicher“ ist, dass diese auch korrekt ist.

Berücksichtigt man nun die 3. Stufe in der Form, dass nur jene gewählten Antwortkombinationen gewertet werden, sofern die Schüler*innen auf Stufe 3 des jeweiligen Items „sicher“ oder „sehr sicher“ ausgewählt haben, so kommt es zu einer Änderung der absoluten- und relativen Häufigkeiten. In Anlehnung an die Tabellen 5 und 6, werden die neuen Häufigkeiten für den Prätest in Tabelle 7 und für den Posttest in Tabelle 8 festgehalten.

Tabelle 7.: Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Prätests - inklusive 3. Stufe

Item	AK	Schülervorstellung	abs. H.	rel. H.
1	a2b1-f	Reibung als Konsequenz klebriger Körperoberflächen.	2	0,044
	a4b2-f	Reibung als Konsequenz der Trägheit eines Körpers.	11	0,244
	a1b3-r		13	0,289
	a3b4-r		30	0,667
2	a1b3-f	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.	19	0,487
	a2b1-f	Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung.	11	0,282
	a2b2-r		7	0,179
3	a1b2-f	Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung.	6	0,182
	a3b3-f	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.	9	0,273
	a2b1-r		8	0,242
4	a1b2-f	Die Reibung hängt von der Größe der Kontaktfläche zwischen den beiden Körpern ab.	23	0,657
	a2b3-f	Die Reibung hängt von der Form der Kontaktfläche ab.	4	0,114

	a5b4-f	Die Reibung hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird.	3	0,086
	a3b5-r		23	0,657
	a4b1-r		26	0,743
5	a1-f	Reibung möchte man immer haben.	0	0,000
	a2-f	Reibung möchte man stets verhindern („Reibung ist schlecht“).	0	0,000
	a3-r		54	1,000
6	a2b1-f	Reibung trägt zur Bewegung eines Körpers bei.	3	0,091
	a3b3-f	Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper.	12	0,364
	a1b2-r		15	0,455
7	a2b2-f	Bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$.	5	0,161
	a3b1-f	Beim Verschieben eines Kastens wirkt keine Haftreibung.	1	0,032
	a1b3-r		18	0,581

Tabelle 8.: Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Posttests - inklusive 3. Stufe

Item	AK	Schülervorstellung	abs. H.	rel. H.
1	a1b3-f	Ein rollender Körper zieht die Unterlage, aufgrund der Reibung, in seine Bewegungsrichtung mit.	2	0,087
	a3b1-f	Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt).	3	0,130
	a2b2-r		10	0,435
2	a1b3-f	Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung.	1	0,042
	a2b1-f	Die stärkere Kraft gewinnt.	15	0,625

	a3b2-r		4	0,167
3	a1b2-f	Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß.	3	0,150
	a2b3-f	Die stärkere Kraft gewinnt.	7	0,350
	a2b1-r		10	0,500
4	a1b1-f	Ein Körper rutscht eine schiefe Ebene hinunter, weil eine Kraft parallel zur schiefen Ebene hinab zeigt.	1	0,042
	a2b2-f	Die Gewichtskraft und die Normalkraft zeigen in dieselbe Richtung.	1	0,042
	a2b3-r		18	0,750
5	a2b2-f	Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf.	1	0,030
	a1b1-r		32	0,970
6	a1b3-f	Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an.	2	0,091
	a2b1-f	Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper.	6	0,273
	a3b2-r		1	0,045

Aus analytischer Sicht besonders interessant sind Antwortkombinationen, bei denen Schüler*innen auf Stufe 1 (Versuchsausgänge vorhersagen, Fragen beantworten, Richtigkeit von Aussagen beurteilen) die korrekte Antwort gewählt haben, aber eine falsche Auswahl auf Stufe 2 (Erklärung des Sachverhalts) getroffen haben. (24, S.217)

Unter diesem Aspekt gilt es beim Prätest nur Item 2 zu analysieren, da hier eine Antwort bei Stufe 1 zwei verschiedene dazu logisch passende Antworten auf Stufe 2 bereithält. Bei den übrigen Items sollte, sofern ein entsprechend hohes Leseverständnis vorliegt, eine gewählte Antwort auf Stufe 1 nur genau eine entsprechende Antwort auf Stufe 2 zulassen (siehe Abschnitt B.4). Aus Abbildung 9 lässt sich entnehmen, dass bei Item 2 von 101 Personen 44 Stufe 1 richtig beantwortet haben (dies sind rund 43,6%) und 20 Schüler*innen die dazu korrekte physikalische Erklärung ausgewählt haben (dies sind rund 19,8%).

Wird ein Blick auf den Posttest geworfen (siehe Abschnitt B.5), so gilt es die Items 3 und 4 näher zu betrachten, da hierbei die Auswahl der korrekten Antwort auf Stufe 1 nicht die Auswahl der richtigen Antwort auf Stufe 2 impliziert, denn hier müssen sich die Schüler*innen nach korrekter Auswahl auf Stufe 1 auf Stufe 2 noch zwischen zwei Antworten entscheiden. Obwohl diese beide nachvollziehbar mit der Auswahl auf Stufe 1 kombinierbar wären, ist nur eine der beiden Antworten korrekt. Für die übrigen Items des Posttests gilt, wie schon zuvor beim Prätest, dass pro gewählter Antwort auf Stufe 1 nur eine dazu logisch passende Antwort auf Stufe 2 existiert. Wird ein Blick auf Abbildung 10 geworfen, so zeigt sich, dass bei Item 3 von 48 Personen 41 Stufe 1 richtig beantwortet haben (dies sind rund 85,4%) und 21 Schüler*innen die dazu korrekte physikalische Erklärung ausgewählt haben (dies sind rund 43,8%). Bei Item 4 haben 34 der 48 Personen die richtige Antwort auf Stufe 1 gewählt (dies sind rund 70,8%) und 24 Schüler*innen haben beide Stufen korrekt beantwortet (dies sind rund 50,0%).

Die relativen Häufigkeiten, mit denen die Schüler*innen bei den zuvor angesprochenen Items aus Prä- und Posttest die richtige Antwort auf Stufe 1 bzw. auf Stufe 1 & 2 ausgewählt haben, wird in Abbildung 15 grafisch veranschaulicht. Hierbei zeigt sich (Item 4 des Posttests ausgenommen) in Übereinstimmung mit der Literatur (24, S.217), dass eine korrekte Vorhersage zu einem physikalischen Sachverhalt (Stufe 1 ist richtig) durch die Lernenden noch lange nicht garantiert, dass dieser Aussage auch eine physikalisch korrekte Vorstellung zugrunde liegt (auch Stufe 2 ist richtig).

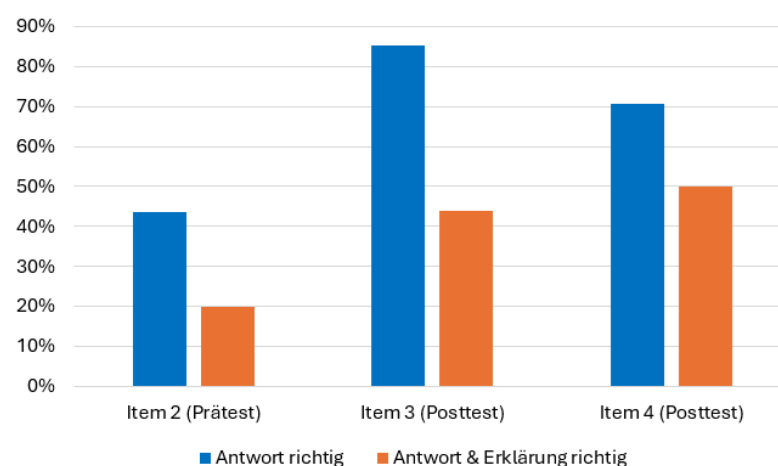


Abbildung 15.: Richtige Antwort und Erklärung für ausgewählte Items beider Tests

Zu Beginn dieses Kapitels wurde über die Zuordnung der Zahlen -2, -1, 1, oder 2 (auf Stufe 3 jedes Items) gesprochen, je nachdem wie sicher sich die Schüler*innen sind, dass ihre gewählte Antwortkombination korrekt ist. Wird nun für jede/n Schüler/in die Summe dieser Zahlen bestimmt und anschließend der Mittelwert von diesen Summen gebildet, so kann auf der Grundlage dieses Werts eine Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit der von den Lernenden gewählten Antwortkombinationen gemacht werden. Beim Prätest mussten die Lernenden bei jedem der sieben Items ihre Sicherheitseinschätzung kundtun, wodurch sich für jede Person ein Zahlenwert im Intervall $[-14,14]$ ergibt. Ausgehend von diesen Zahlenwerten wird der Mittelwert berechnet. Je positiver dieser Mittelwert ausfällt, desto eher kann davon ausgegangen werden, dass die Antwortkombinationen von den Lernenden aus ihrer Überzeugung heraus ausgewählt wurden und nicht aufgrund von Unwissenheit oder Raten entstanden sind. Es gilt zu betonen, dass es eventuell auch Schüler*innen gibt, die rein zufällige Antworten auswählen, um den Test bzw. die Tests möglichst schnell hinter sich zu bringen. Dieser Umstand kann bei diesem Wert nicht berücksichtigt werden. Der Mittelwert der Sicherheitseinschätzung beim Prätest beläuft sich auf einen Wert von rund -2,3. Völlig analog wird dieser Mittelwert auch für die sechs Items des Posttests bestimmt, welcher mit einem Wert von rund -0,1 im Intervall $[-12,12]$ zu liegen kommt. Daraus lässt sich ein eher unsicherer Gesamteindruck bezüglich der von den Lernenden gewählten Antworten bei beiden Tests ableiten, wobei der Wert beim Posttest im Vergleich zum Prätest anstieg.

Die Mittelwerte der Gesamtscores beim Prätest, geclustert nach personenspezifischen Merkmalen (Schulstufe, Geschlecht, Interesse am Physikunterricht, Physiknote und Selbsteinschätzung des Physikverständnisses), lassen sich in Tabelle 9 betrachten. Da, wie in Abschnitt 7.2 über die Mittelwerte der Gesamtscores beschrieben, die Klasse 3C nicht signifikant schlechter abgeschnitten hat als die übrigen fünf Klassen, wurden die Prätests der Schüler*innen der 3C bei den in Tabelle 9 präsentierten Ergebnissen berücksichtigt.

Jene des Posttests sind in Tabelle 10 dargestellt, wobei eine Clusterung nach der Schulstufe hier keinen Sinn ergibt, da nur Schüler*innen der 7. Schulstufe am Posttest teilnahmen. Bei den Angaben zum Posttest gilt es zu betonen, dass jeweils nur eine Person vertreten ist, die bei der Geschlechtsangabe Divers auswählte bzw. das eige-

ne Physikverständnis als sehr hoch einschätzte. Darüber hinaus gibt es keine Person, welche im letzten Jahreszeugnis negativ beurteilt wurde.

In beiden Tabellen wurden dieselben Abkürzungen (s.i. = sehr interessant, i. = interessant, w.i. = weniger interessant und ü.n.i. = überhaupt nicht interessant) vorgenommen.

Tabelle 9.: Mittelwerte der Gesamtscores - Prätest

Schulstufe	7	8	9		
Mittelwert	1,98	1,93	3,38		
Geschlecht	Männlich	Weiblich	Divers		
Mittelwert	2,13	2,58	1,75		
Interesse am Physikunterricht	s.i.	i.	w. i.	ü. n. i.	
Mittelwert	2,40	2,38	2,35	1,67	
Physiknote	1	2	3	4	5
Mittelwert	2,58	2,24	2,30	1,83	1,67
Verständniseinschätzung	sehr hoch	hoch	niedrig	sehr niedrig	
Mittelwert	2,50	2,41	2,36	1,70	

Tabelle 10.: Mittelwerte der Gesamtscores - Posttest

Geschlecht	Männlich	Weiblich	Divers		
Mittelwert	2,63	2,43	1,00		
Interesse am Physikunterricht	s.i.	i.	w. i.	ü. n. i.	
Mittelwert	3,88	2,48	1,88	1,40	
Physiknote	1	2	3	4	5
Mittelwert	2,94	2,82	2,27	1,00	-
Verständniseinschätzung	sehr hoch	hoch	niedrig	sehr niedrig	
Mittelwert	4,00	2,76	1,75	1,60	

Da jedem Schüler bzw. jeder Schülerin ein persönlicher Code zugeteilt wurde, ist für jede/n Lernende/n der Klasse 3C ein Vergleich zwischen seinen/ihren Leistungen beim Prätest (vor dem Reibungsunterricht) und beim Posttest (nach dem Reibungsunterricht) möglich, vorausgesetzt die Person hat an beiden Tests teilgenommen. Folglich werden drei verschiedene Extremfälle näher betrachtet. „Hohe Leistung bei beiden

Tests“, „niedrige Leistung beim Prätest und hohe Leistung beim Posttest (stark positive Leistungsentwicklung)“ sowie „hohe Leistung beim Prätest und niedrige Leistung beim Posttest (stark negative Leistungsentwicklung)“. Anschließend werden die Leistungen der Schüler*innen in Verbindung zu ihren Angaben zum Interesse am Physikunterricht und zur Selbsteinschätzung des Physikverständnisses gebracht. Beim Prätest konnten maximal sieben Punkte erreicht werden, beim Posttest maximal sechs Punkte.

- *hohe Leistung bei beiden Tests*

Zwei Schüler erzielten einen finalen Gesamtscore (Summe der Gesamtscores aus beiden Tests) von sieben Punkten. Während der eine Lernende beim Prätest drei Punkte und beim Posttest vier Punkte erreichen konnte, fiel die Punktausbeute bei der anderen Person genau umgekehrt aus. Besonders auffällig ist, dass beide Schüler ein sehr hohes Interesse an physikalischen Themen aufweisen und eine hohe bzw. sehr hohe Selbsteinschätzung bezüglich des eigenen Physikverständnisses zeigen. Bei den nächstbesten Testergebnissen (finaler Gesamtscore von sechs Punkten) zeigt sich ebenso eine positive Korrelation zwischen dem Interesse bzw. der Verständniseinschätzung der Schüler*innen und ihren Lernleistungen.

- *niedrige Leistung beim Prätest und hohe Leistung beim Posttest*

Einem Lernenden gelang zwischen Prä- und Posttest mit einem Anstieg des Gesamtscores in der Höhe von drei Punkten eine deutliche Leistungssteigerung. Zudem zeigt er sich an physikalischen Themen sehr interessiert und schätzt sein Physikverständnis als hoch ein. Weitere drei Schüler*innen, welche beim Posttest immerhin zwei Punkte mehr erreichen konnten als noch beim Prätest, deuten auf einen ähnlichen Zusammenhang zwischen einem hohen Interesse bzw. einer hohen Verständniseinschätzung und einer positiven Leistungsentwicklung hin.

- *hohe Leistung beim Prätest und niedrige Leistung beim Posttest*

Sechs Schüler*innen erzielten beim Posttest einen Punkt weniger als noch beim Prätest. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass die mögliche Gesamtpunktezahl beim Posttest um einen Punkt niedriger lag als beim Prätest, kann bei keiner Person von einer negativen Leistungsentwicklung gesprochen werden.

Um die oben geschilderten Szenarien der Leistungsentwicklung besser verstehen zu können, wird nun der Einfluss des Interesses und der Selbsteinschätzung des Verständnisses auf die Lernleistung aus lerntheoretischer Perspektive beleuchtet.

In der Literatur (26) wird die Hattie-Studie, eine Meta-Studie unter dem Titel „Visible Learning“, welche im Jahr 2009 vom Bildungswissenschaftler John Hattie veröffentlicht wurde, aufgearbeitet. Mit der Publikation der Studie wurde ein regelrechter Hype ausgelöst, da zu diesem Zeitpunkt noch keine vergleichbare Studie vorlag, die eine so umfassende Zusammenstellung von Einflussfaktoren auf den schulischen Lernerfolg enthielt. (26, S.98) Die Studie wird jedoch auch kritisiert. Gängige Kritikpunkte an der Hattie-Studie sind unter anderem, dass sich diese nicht auf den deutschsprachigen Bildungsraum beziehe, die Ergebnisse veraltet seien, Hattie nur die Lernleistungen der Schüler*innen berücksichtigt und andere Faktoren außer Acht lässt sowie manche Studien, auf die sich Hattie bezieht, von überschaubarer Qualität sind. Die ersten beiden Kritikpunkte lassen sich jedoch deutlich von der Hand weisen, da aktuelle Studien aus dem deutschsprachigen Raum ähnliche Ergebnisse hervorbringen wie die Hattie Studie. (26, S.125, 126) Alle von Hattie erfassten Merkmale, welche einen Einfluss auf die Lernleistung der Schüler*innen haben könnten, werden in die Bereiche Lernende, Lehrperson, Elternhaus, Curriculum, Schule und Unterrichten eingeteilt. (26, S.99)

Die im Zuge dieser Arbeit betrachteten Faktoren „Interesse“ bzw. „Selbsteinschätzung des Verständnisses“, lassen sich am ehesten den Merkmalen „Motivation“ bzw. „Selbsteinschätzung des eigenen Leistungsniveaus“ zuordnen, welche in Hatties Studie beide im Bereich Lernende angeführt werden. Während in der Studie dem Merkmal „Selbsteinschätzung des eigenen Leistungsniveaus“ die höchste Effektstärke zugeschrieben wird, findet sich das Merkmal der „Motivation“, in der nach absteigender Effektstärke geordneten Rangliste der Einflussfaktoren auf den Lernerfolg deutlich weiter hinten wieder, wobei ihr dennoch ein deutlicher Effekt vorausgesagt wird. (26, S.103) Die Zuordnung des Interesses zur Motivation wird damit begründet, dass das Interesse mit der Motivation korreliert. Denn hohes Interesse an einem Lerngegenstand geht in der Regel auch mit hoher Bereitschaft einher, sich mit diesem auseinanderzusetzen. Als intrinsische Lernmotivation wird in der Literatur (27, S.41) die Bereitschaft bezeichnet, eine bestimmte Lernhandlung aufgrund von damit assoziierten positiven Erlebenszuständen zu vollziehen. Solche positiven Erlebnisse stellen beispielsweise das Wahrnehmen der

eigenen Kompetenz, Verfallen in einen flow-ähnlichen Zustand, erlebte Spannung oder gewecktes Interesse dar.

8.2. Literaturvergleich und neue Schülervorstellungen

Nun soll ein Vergleich zwischen Schülervorstellungen aus Tabelle 7 bzw. 8 mit der Literatur (Kapitel 4.4, 4.5 und 5.2) hergestellt werden, sowie Ausschau nach neuen Präkonzepten zum Thema Reibung gehalten werden.

Aus Tabelle 7 lässt sich bilanzieren, dass die Klebrigkeit von Körperoberflächen als Ursache von Reibung nur sehr selten dem Wissensstand von Lernenden entspricht. Dieser Erklärungsansatz für Reibung wurde ohne jegliche wissenschaftliche Voruntersuchung und rein auf einem logischen Erklärungsansatz basierend in die Umfrage miteinbezogen.

Im Gegensatz dazu findet sich die Fehlvorstellung, dass Reibung eine Konsequenz der Trägheit sei, bei nahezu jedem vierten Lernenden wieder. Dieses Präkonzept ist so zu verstehen, dass ein ruhender Körper, entsprechend dem Trägheitsprinzip, unter Einwirkung einer äußeren Kraft im ruhenden Zustand verbleiben möchte und sich deshalb in Form einer Reibungskraft einer Bewegung widersetzt. Diese Fehlvorstellung blieb bis dato in wissenschaftlichen Erhebungen unberücksichtigt.

Während etwa zwei Drittel der Schüler*innen korrekterweise die Unebenheit von Körperoberflächen als Ursache von Reibungskräften ansehen, wird die Wechselwirkung zwischen den Atomen an der Kontaktfläche zweier Körper nur von weniger als 30% der Lernenden als Ursache von Reibung aufgefasst. Dies lässt sich womöglich dadurch erklären, dass der mikroskopischen Ebene in der Fachliteratur und damit auch im Reibungsunterricht zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird, indem raue Oberflächen synonym für das Auftreten einer Reibungskraft betrachtet werden und glatten Oberflächen mit vernachlässigbar kleinen Reibungskräften assoziiert werden. (4, S.1035) Das Auftreten von Reibungskräften lässt sich jedoch nur über ein Wechselspiel aus Unebenheiten von Körperoberflächen und Adhäsion zwischen Oberflächenteilchen der aneinanderreibenden Körper physikalisch korrekt erklären. (4, S.1038), (21, S.1180-1183)

Fast die Hälfte der Befragten ist der falschen Auffassung, dass Reibung nur bei Bewegung eines Körpers auftreten könne. Hierbei zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus der Literatur (20, S.176, 177), in der festgehalten wird, dass Schüler*innen Reibung tendenziell eher mit bewegten Körpern auf einer Unterlage verbinden als mit ruhenden. Somit zeigt sich in den fünf Klassen ein etwas geringerer, aber ähnlicher, Prozentsatz an Schüler*innen mit dieser Fehlvorstellung, im Vergleich zu den in der Literatur beschriebenen Untersuchungsergebnissen. Diese Vorstellung scheint in den Köpfen der Lernenden so stark verankert zu sein, dass nur ca. 20% der Schüler*innen der richtigen Auffassung waren, dass auf einen ruhenden Körper, auf welchen eine Schubkraft aufgebracht wird, eine Reibungskraft wirkt.

Zudem sagen etwa ein Viertel der Schüler*innen das Vorliegen einer Haftreibung vorher, wenn sich zwei Körper ohne jeglicher Krafteinwirkung in Ruhelage berühren. Dieser nicht zu vernachlässigende Anteil an Lernenden könnte durch den Begriff Haftreibung zur falschen Ansicht verleitet worden sein, dass Haftreibung bedeute, dass zwischen zwei in Kontakt stehenden Körpern stets Reibung wirke. Dazu lagen bislang keine Untersuchungsergebnisse in der Literatur vor.

Dass die auftretende Reibung von der Größe der Kontaktfläche der beiden aneinander reibenden Körper abhängt, wird von beinahe zwei Drittel der Lernenden vermutet. Dies deckt sich mit dem Umstand, dass die experimentelle Aufarbeitung dieser Fehlvorstellung in Unterrichtskonzeptionen, wie etwa dem Münchner Mechanikkonzept, Einzug hält. (8, S.51) In der Klasse 3C, welche zum Zeitpunkt der Durchführung des Prätests noch keinen Reibungsunterricht hatte, ist diese Fehlvorstellung mit etwa 55% weniger oft vertreten, weshalb nicht von einer Beseitigung des Präkonzepts im Zuge des Reibungsunterrichts gesprochen werden kann.

Die Fehlvorstellungen, dass die Form der Kontaktfläche bzw. die Geschwindigkeit Einflussfaktoren auf die Reibung seien, sind mit vergleichsweise geringen Prozentsätzen von ca. 11% bzw. 9% vertreten. Die Abhängigkeit der Reibung von der Geschwindigkeit wurde allerdings in der 3C (vor dem Reibungsunterricht) von rund einem Viertel der Befragten als richtig eingeschätzt. Während bei beiden Schülervorstellungen, aufgrund fehlender Untersuchungsergebnisse, kein Literaturvergleich angestellt werden kann, so findet sich die Geschwindigkeit als vermeintlicher Einflussfaktor auf die Reibung im Münchner Mechanikkonzept (8, S.51) wieder.

Annähernd drei Viertel bzw. zwei Drittel der Lernenden betrachten die Reibungskraft richtigerweise als abhängig von der Masse des Körpers (Normalkraft) bzw. der Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper.

Alle Schüler*innen, die sich zumindest „sicher“ in ihrer gewählten Antwort waren, haben bei Item 5 die korrekte Antwort ausgewählt, nämlich, dass Reibungskräfte je nach Situation erwünscht bzw. störend sind. Damit zeigt sich eine signifikante Abweichung zu den Werken (17, S.1106) und (21, S.1183), in denen Untersuchungsergebnisse angeführt werden, die auf eine negative Konnotation bezüglich Reibungskräfte (Reibung sei störend) seitens der meisten Lernenden hinweisen. Auch in der 3C Klasse ist der Anteil der Lernenden, die Reibung als einen störenden Faktor erachten, mit 8% gering.

Die Fehlvorstellung, dass Reibungskräfte senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper wirken würden, konnte im Rahmen dieser Untersuchung bei rund jedem/jeder dritten Lernenden nachgewiesen werden. Somit zeigt sich übereinstimmend mit der Literatur (10, S.123), dass manche Schüler*innen von einer festhaltenden Wirkung der Unterlage überzeugt sind.

Während in der 3C etwa 16% der Schüler*innen die Reibungskraft in die Bewegungsrichtung des Körpers einzeichnen, sind es nach dem Reibungsunterricht in den fünf Klassen immer noch rund 9%.

Bei Item 7 zeigt sich, dass alle bis auf 3% der Schüler*innen beim Verschieben einer Box von der Existenz einer Haftreibungskraft überzeugt sind. Somit lässt sich nicht von einer gängigen Schülervorstellung sprechen, dass beim Verschieben eines Körpers keine Haftreibung wirke.

Dass sich ein ruhender Körper, sofern auf diesen eine äußere Kraft ausgeübt wird, sofort mit der maximalen Haftreibung einer Bewegung widersetzt, da er seinen aktuellen Bewegungszustand beibehalten möchte (Trägheitsprinzip), konnte als Fehlvorstellung immerhin bei ca. 16% der Lernenden nachgewiesen werden. Aus bisherigen Untersuchungen gingen vergleichbare Ergebnisse hervor, in der Form, dass Schüler*innen beim Verschieben eines Körpers die Schubkraft anfangs als geringer erachten als die maximale Haftreibungskraft. Erst wenn diese durch einen Anstieg der Schubkraft überwunden werden kann, beginnt sich der Körper zu bewegen. (1, S.78)

Nachstehend werden alle Schülervorstellungen des Prätests als Liste angeführt. Neue Präkonzepte werden nur dann in die Liste aufgenommen, sofern sie mit einem Prozentsatz von mindestens 10% aufgetreten sind. Bei einem niedrigeren Prozentsatz als diesem Schwellenwert sollte es nicht zwingend notwendig sein als Lehrperson über diese Fehlvorstellung Bescheid zu wissen bzw. diese im Unterricht explizit aufzugreifen. Zudem werden neue Schülervorstellungen mit einem (*) gekennzeichnet. Dies sind Präkonzepte, welche entweder aus der empirischen Untersuchung dieser Arbeit hervorgingen und bisher keine Erwähnung in literarischen Werken fanden, oder zwar bei Unterrichtskonzeptionen berücksichtigt wurden, jedoch keine Angaben zur Häufigkeit mit der diese Vorstellungen auftreten, vorliegen.

- *Reibung als Konsequenz der Trägheit eines Körpers (*)*
- *Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf*
- *Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung (*)*
- *Die Reibung hängt von der Größe der Kontaktfläche zwischen den beiden Körpern ab (*)*
- *Die Reibung hängt von der Form der Kontaktfläche ab (*)*
- *Die Reibung hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird (*)*
- *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*
- *Bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$*

In völliger Analogie zum Prätest werden nun die aufgetretenen Schülervorstellungen beim Posttest, siehe Tabelle 8, mit jenen aus der Literatur (Kapitel 4.4, 4.5 und 5.2) verglichen.

Beinahe jede zehnte befragte Person geht davon aus, dass ein rollender Körper die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mitziehe, da sich die Oberflächen der beiden Körper „verhaken“ würden. Bislang blieb diese Fehlvorstellung durch die Fachdidaktik unberücksichtigt.

Dies trifft auf die Fehlvorstellung des Ober-Unter-Effekts (Reibungskräfte wirken immer nur auf den oberen Reibungspartner), welche bereits in der Literatur (17, S.1106) bzw. (22, S.4) angeführt wurde, nicht zu. Jenes Präkonzept lässt sich, den Ergebnissen des Posttests zufolge, bei über 10% der Lernenden auffinden.

Der Literatur (17, S.1106) zufolge setzen Lernende tendenziell die Normalkraft mit der Gewichtskraft gleich. Dies lässt sich im Rahmen des Posttests nicht bestätigen, da lediglich ca. 5% der Lernenden davon ausgehen, dass die Gewichtskraft und die Normalkraft in dieselbe Richtung zeigen (siehe Tabelle 8, Item 2 bzw. 4)

Jedoch muss erwähnt werden, dass von etwa 15% der Befragten der Betrag der Normalkraft und der Gewichtskraft stets als gleich groß erachtet wird (selbst auf einer schiefen Ebene).

„Die stärkere Kraft gewinnt“ konnte durch Item 2 bzw. 3 mit einer Häufigkeit von etwa 60% bzw. 35% eindeutig als gängige Schülervorstellung nachgewiesen werden. Dass bei zeitgleichem Einwirken mehrerer Kräfte auf einen Körper allein die betragsmäßig größte Kraft über den weiteren Bewegungszustand des Körpers entscheide, wurde als Präkonzept bereits in der Literatur (1, S.75) erfasst. Somit zeigt sich hinsichtlich dieser Fehlvorstellung eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Untersuchungsergebnissen und der fachdidaktischen Literatur.

Eine Hangabtriebskraft als Ursache für das Hinunterrutschen eines Körpers auf einer schiefen Ebene stellte sich mit einer Häufigkeit von ca. 4% nicht als gängige Fehlvorstellung heraus. Dieser Umstand deckt sich nicht mit der Literatur (10, S.123), da in dieser davon gesprochen wird, dass Lernende in vielen Fällen zuerst oder alleinig die Hangabtriebskraft auf einen Körper, welcher eine schiefe Ebene hinunterrutscht, einzeichnen.

Ruht ein Körper auf einer schiefen Ebene, so trifft Haftreibung auf. Dieser korrekte Sachverhalt wurde auch von ca. 97% der Befragten so aufgefasst. Lediglich 3% der befragten Schüler*innen meinen, dass in dieser Situation keine Reibungskraft wirke, da Reibung nur bei Bewegung eines Körpers auftrete. In der Literatur (16, S.85) wird von dieser Schülervorstellung gesprochen, allerdings ohne konkrete Angabe bezüglich der Auftrittshäufigkeit.

Beinahe 10% der Befragten geben bei Item 6 an, dass Kraft und Gegenkraft am selben Körper angreifen würden. Fehlerhafte Darstellungen, wie etwa im Werk (5, S.191), verleiten die Schüler*innen zu diesem Präkonzept bzw. bestärken sie in diesem. Diese falsche Auffassung des 3. Newton'schen Axioms, welche bereits in der Literatur (1, S.78) angesprochen wurde, zeigt sich auch im Zuge des Posttests.

Mit einer relativen Häufigkeit von über 25% trat die Schülervorstellung, dass die Reibungskraft senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper wirke, in Erscheinung. Beim Prätest waren es sogar über 35%. Hierbei zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit der Literatur (10, S.123), in der von vielen Lernenden gesprochen wird, die den Vektorpfeil der Reibungskraft senkrecht zur Kontaktfläche der beiden Festkörper einzeichnen und Reibung als ein Festhalten des Körpers durch die Unterlage auffassen.

Nach demselben Schema wie beim Prätest wird nachstehend eine zweite Liste an Schülervorstellungen, welche aus dem Posttest hervorgingen, festgehalten. Präkonzepte, die bereits beim Prätest aufgetreten sind, werden in dieser Aufzählung nicht erneut angeführt.

- *Ein rollender Körper zieht die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mit (*)*
- *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)*
- *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*
- *Die stärkere Kraft gewinnt*
- *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*

8.3. Schülervorstellungen zusammenführen

Ziel dieses Abschnitts soll es sein, die bei den Items beider Tests aufgetretenen Schülervorstellungen (siehe Listen in Abschnitt 8.2) so weit wie möglich inhaltlich zusammenzuführen (zu clustern). Dies soll dadurch realisiert werden, dass die Verweise auf inhaltlich zusammenhängende Antwortkombinationen, welche aus theoretischen Überlegungen hervorgingen und in den Tabellen 1 und 2 festgehalten wurden, berücksichtigt werden. Die Argumentation, mit der einzelne Vorstellungen vereint werden, wird während des Clusterungsprozesses offengelegt. Im Abschnitt 9.1 werden die inhaltlich geclusterten Schülervorstellungen zusammenfassend präsentiert, um Physiklehrkräften eine Übersicht über Präkonzepte zum Thema Reibung zur Verfügung zu stellen, so dass diese Fehlvorstellungen in weiterer Folge von Lehrpersonen im Reibungsunterricht berücksichtigt werden können.

- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Größe der Kontaktfläche, der Form der Kontaktfläche und der Geschwindigkeit, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird, ab (*)*

Da diese drei vermeintlichen Einflussfaktoren auf die Reibung als unabhängig angesehen werden können, lassen sich diese problemlos clustern.

- *Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf*

Entsprechend dieser Fehlvorstellung kann zwischen einem Körper und einer Unterlage nur dann Reibung auftreten, wenn sich der Körper bewegt.

- *Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung (*)*

Dieses und vorheriges Präkonzept schließen einander aus und können somit nicht inhaltlich geclustert werden, denn betreffend der vorherigen Schülervorstellung ist für das Vorliegen einer Reibungskraft eine Bewegung des Körpers erforderlich, während

entsprechend diesem Präkonzept Reibung auch zwischen zwei ruhenden Körpern (ohne Krafteinwirkung) in Erscheinung tritt.

- *Bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper widersetzt sich dieser einer Bewegungsänderung gemäß dem Trägheitsprinzip und zwar in Form einer sofort wirkenden maximalen Haftreibung (*)*

Wirkt auf einen ruhenden Körper eine Kraft, so möchte er entsprechend dem Trägheitsprinzip seinen aktuellen Ruhezustand beibehalten und widersetzt sich deshalb einer Bewegung. Schüler*innen könnten dies so interpretieren, dass der Körper eine maximale (Haft-) Reibungskraft erzeugt, die der angreifenden Kraft entgegenwirkt. Somit wurden die Fehlvorstellungen, dass Reibung eine Konsequenz der Trägheit eines Körpers sei und bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper sich dieser sofort mit der maximalen Haftreibung widersetzt, zusammengeführt.

- *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*

Schüler*innen mit dieser Fehlvorstellung gehen von einem Festhalten des Körpers durch die Unterlage aus und zeichnen deshalb den Vektor der Reibungskraft senkrecht zur Kontaktfläche (Pfeilspitze zeigt zur Kontaktfläche) der beiden Reibungspartner ein.

- *Ein rollender Körper zieht die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mit (*)*

Diese Fehlvorstellung korreliert mit dem zuvor festgehaltenen Präkonzept. Dass ein Körper aufgrund von Reibung durch die Unterlage (Reibungskraft wirkt senkrecht zur Kontaktfläche) festgehalten werde, schlägt sich auch in jener Situation nieder, in der ein Körper über eine Unterlage rollt. Den Vorstellungen so manchem Schüler bzw. so mancher Schülerin entsprechend „verhaken“ sich die beiden Körperoberflächen an der Kontaktfläche, wodurch sich die Unterlage mit dem Körper mitbewegt.

- *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)*

Für Lernende mit der Fehlvorstellung, dass Reibungskräfte senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper wirken würden und in diesem Zusammenhang von einem Festhalten des Körpers durch die Unterlage sprechen, ist es naheliegend, dass diese daraus die falsche Schlussfolgerung ziehen, Reibungskräfte würden immer nur auf den oberen Reibungspartner wirken.

- *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*

Eine Überfokussierung der Reibung eines Körpers auf einer waagrechten Unterlage im Unterricht, kann bei den Lernenden zur falschen Schlussfolgerung führen, dass die Gewichtskraft und die Normalkraft stets gleich groß wären (trifft nur bei einer waagrechten Unterlage zu). Dass Schüler*innen die Normalkraft und die Gewichtskraft als gleich (in Betrag und Richtung) auffassen, konnte im Zuge der hier durchgeführten Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Den Untersuchungsergebnissen zufolge muss zwischen den beiden Begriffen Betrag und Richtung von Kräften differenziert werden, denn während etwa 15% der Befragten den Betrag der Normalkraft und der Gewichtskraft als stets gleich groß ansehen (auch auf der schiefen Ebene), gehen nur etwa 5% der Befragten davon aus, dass die beiden Kräfte auch in dieselbe Richtung wirken würden.

- *Die stärkere Kraft gewinnt*

Diese gängige Schülervorstellung aus der Mechanik (siehe (1, S.75)), dass bei gleichzeitigem Einwirken mehrerer Kräfte auf einen Körper allein die betragsmäßig größte Kraft über den weiteren Bewegungszustand des Körpers entscheidet, schlägt sich auch im Reibungsunterricht nieder. Dies ist angesichts der Tatsache, dass Reibungsphänomene über Kräfte beschrieben werden, nicht überraschend.

- *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*

Hierbei handelt es sich ebenfalls um eine bereits in der Literatur (1, S.78) erfasste Schülervorstellung aus der Mechanik. Dabei wird das 3. Newton'sche Axiom durch die Lernenden so aufgefasst, dass Kraft und Gegenkraft am selben Körper (in einem Punkt) angreifen würden. Im Kontext der Reibung führt dies zur Fehlvorstellung, dass die Schubkraft und die Reibungskraft (als Gegenkraft) am gleichen Körper in einem Punkt angreifen. Demzufolge könnte diese Schülervorstellung im Kontext der Reibung wie folgt festgehalten werden. *Reibungskräfte greifen an demselben Punkt des Körpers an, wie die auf den Körper ausgeübte Kraft.*

8.4. Gültigkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser empirischen Forschung erheben nicht den Anspruch auf Erfüllung der drei Gütekriterien quantitativer Forschung (Objektivität, Reliabilität und Validität). (28, S.490, 491, 496) Eine der Hauptgründe, die die Vertrauenswürdigkeit der Forschungsergebnisse in Frage stellen, ist die deutlich zu klein ausgefallene Stichprobe sowie die Beschränkung der Stichprobe auf einen einzigen Schulstandort. Es gilt jedoch zu betonen, dass es nie Ziel der Untersuchung war Forschungsergebnisse zu erzielen, welche einer Generalisierbarkeit auf die Grundgesamtheit aller betreffenden Schüler*innen standhalten müssten. Stattdessen soll die Arbeit für Lehrkräfte eine Sammlung von Schülervorstellungen zum Thema Reibung bereithalten, sodass Lehrpersonen einen Überblick darüber bekommen, mit welchen Fehlvorstellungen Lernende in den Reibungsunterricht kommen könnten.

Die relativen Häufigkeiten, mit denen gewisse Schülervorstellungen im Rahmen dieser Untersuchung aufgetreten sind (siehe Tabelle 7 und 8), gilt es ebenfalls kritisch zu betrachten. So lässt sich aus diesen höchstens abschätzen, welche Vorstellungen aufgrund einer sehr geringen Prozentpunktezahl von der Lehrperson im Unterricht nicht explizit thematisiert werden sollten. An eine Ordnung der Schülervorstellungen nach ihrer Auftrittshäufigkeit ist auf der Grundlage des bestehenden Datensatzes jedenfalls nicht zu denken. Im Zuge weiterführender Studien mit größer angelegten Stichproben ließe sich eine höhere Vertrauenswürdigkeit der relativen Häufigkeiten erzielen. Dies deckt sich auch mit der in der Einleitung (siehe Kapitel 1) formulierten Intention, einen wissenschaftlichen Beitrag zur Schließung der Forschungslücke zu leisten.

9. Diskussion der Forschungsergebnisse und Ausblick

Die in den Kapiteln 7 und 8 aufbereiteten Datensätze werden in diesem finalen Abschnitt diskutiert. Dies erfolgt in der Intention, die Forschungsfragen dieser Abhandlung (siehe Kapitel 5.1) beantworten zu können. Darüber hinaus wird Lehrkräften im Abschnitt 9.4 eine Möglichkeit aufgezeigt, wie mit den angeführten Schülervorstellungen zum Thema Reibung im Physikunterricht umgegangen werden könnte. Die Hauptaufgabe der Lehrperson ist dabei, die Lernenden von den wissenschaftlichen Vorstellungen zu überzeugen, sodass diese aus ihrer Überzeugung heraus und damit nachhaltig die Alltagsvorstellungen gegen wissenschaftliche Vorstellungen eintauschen.

9.1. Zusammenstellung der untersuchten Schülervorstellungen

Wie in der Einleitung (siehe Kapitel 1) erwähnt, ist das vorrangige Ziel dieser Arbeit, eine umfassende Zusammenstellung von Schülervorstellungen zum Thema Reibung zu konstruieren. Als Resultat zahlreicher Literaturrecherchen und der durchgeführten empirischen Untersuchung werden Schülervorstellungen zum Thema Reibung in nachstehender Auflistung festgehalten. Mit (*) werden „neue“ Präkonzepte markiert. Schülervorstellungen werden in dieser Arbeit als „neu“ deklariert, wenn sie aus der empirischen Untersuchung dieser Arbeit hervorgingen und bisher keine Erwähnung in literarischen Werken fanden oder zwar bei Unterrichtskonzeptionen berücksichtigt wurden, aber keine Angaben zur Häufigkeit, mit der diese Vorstellungen auftreten, vorlagen.

- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Größe der Kontaktfläche, der Form der Kontaktfläche und der Geschwindigkeit, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird, ab (*)*
- *Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf*
- *Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung (*)*
- *Bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper widersetzt sich dieser einer Bewegungsänderung gemäß dem Trägheitsprinzip und zwar in Form einer sofort wirkenden maximalen Haftreibung (*)*

- *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*
- *Ein rollender Körper zieht die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mit (*)*
- *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)*
- *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*
- *Die stärkere Kraft gewinnt*
- *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*

9.2. Beantwortung der Forschungsfragen

Forschungsfrage 1: *Inwiefern stimmen die im Rahmen dieser Untersuchung erhobenen Schülervorstellungen mit den bereits in der Literatur vorliegenden Schülervorstellungen zum Thema Reibung überein?*

Um diese Frage beantworten zu können, wird für alle untersuchten Schülervorstellungen, welche bereits zuvor in literarischen Werken vermerkt wurden, ein Vergleich zwischen Untersuchungsergebnis und Literatur hergestellt.

- *Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf*

Hinsichtlich dieses Präkonzepts zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit der Literatur (20, S.176, 177). Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen dieser Arbeit lässt sich nahezu der Hälfte der Lernenden diese Fehlvorstellung zuschreiben, während in der Literatur davon gesprochen wird, dass der Anteil der Schüler*innen, die an dieser Vorstellung festhalten, überwiegt.

- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Größe der Kontaktfläche ab*
- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Geschwindigkeit, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird, ab*

Beinahe zwei von drei befragten Personen sind von der Richtigkeit der erstgenannten Aussage überzeugt. Basierend auf dem Umstand, dass diese Fehlvorstellung in Unterrichtskonzeptionen, wie etwa dem Münchner Mechanikkonzept (8, S.51), explizit aufgearbeitet wird, kann von vergleichbaren Ergebnissen im Zuge bisheriger Untersuchungen ausgegangen werden.

Während die Geschwindigkeit als vermeintlicher Einflussfaktor auf die Reibung ebenfalls im Münchner Mechanikkonzept berücksichtigt wird, konnte diese Fehlvorstellung jedoch nur mit einem relativen Anteil von ca. 9% nachgewiesen werden (zu beiden Präkonzepten sind keine Untersuchungsergebnisse mit zugehörigen relativen Häufigkeiten bekannt).

- *Reibung möchte man stets verhindern („Reibung ist schlecht“)*

Bei keiner einzigen befragten Person lässt sich davon ausgehen, dass dieses Präkonzept vorliegt. Damit zeigt sich ein drastischer Widerspruch zu den literarischen Werken (17, S.1106) und (21, S.1183), in denen davon gesprochen wird, dass die meisten Lernenden von der Richtigkeit dieser Vorstellung überzeugt sind.

- *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*

Jeder dritten befragten Person konnte dieses Präkonzept nachgewiesen werden. Dies erfolgt übereinstimmend mit der Literatur (10, S.123), in der davon die Rede ist, dass viele Schüler*innen von dieser Fehlvorstellung überzeugt sind.

- *Bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$*

Dass beim Verschieben eines Kastens die Schubkraft anfangs geringer sei als die Haftreibungskraft, da sofort die maximale Haftreibungskraft wirke, konnte als Präkonzept im Zuge der Untersuchung bei ca. 16% der Lernenden aufgezeigt werden. Im Werk (1, S.78) wird zwar von diesem Präkonzept gesprochen, jedoch ohne Angabe einer Auftrittshäufigkeit.

- *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)*

Entsprechend der Literatur (17, S.1106) bzw. (22, S.4) vermuten die Lernenden in der Regel, dass nur auf den oberen Körper Reibungskräfte wirken. Basierend auf der empirischen Untersuchung dieser Arbeit lässt sich die Fehlvorstellung lediglich bei etwa 10% der Lernenden auffinden.

- *Normalkraft und Gewichtskraft zeigen in dieselbe Richtung*
- *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*

Wie sich der Literatur (17, S.1106) entnehmen lässt, setzen Lernende die Normalkraft tendenziell mit der Gewichtskraft (in Betrag und Richtung) gleich. Im Zuge der Untersuchung dieser Arbeit geben allerdings lediglich 5% der Lernenden an, dass die Gewichtskraft und die Normalkraft in dieselbe Richtung zeigen, weshalb von keiner guten Übereinstimmung mit der Literatur gesprochen werden kann. Dies trifft auch auf die zweitgenannte Vorstellung zu, welche mit einer Häufigkeit von etwa 15% bei der Umfrage als korrekt eingeschätzt wurde.

- *Die stärkere Kraft gewinnt*

Jenes Präkonzept wird in der fachdidaktischen Literatur (1, S.75) als gängige Schülervorstellung angeführt. Dieser Umstand ist angesichts der hohen relativen Häufigkeiten (etwa 60% bzw. 35% bei zwei verschiedenen Items des Posttests) nicht verwunderlich.

- *Ein Körper rutscht eine schiefe Ebene hinunter, weil eine Kraft parallel zur schiefen Ebene hinab zeigt*

Gemäß der Literatur (10, S.123) zeichnen Schüler*innen in vielen Fällen die Hangabtriebskraft zuerst oder als einzige Kraft auf einen Körper ein. Da diese Schülervorstellung in den Untersuchungsergebnissen des Posttests lediglich mit einer Häufigkeit von ca. 4% vertreten ist, ergibt sich keine gute Übereinstimmung mit den Angaben aus der Literatur.

- *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*

Diese Fehlvorstellung wird im Werk (1, S.78) ohne Angabe einer Auftrittshäufigkeit angeführt und ist beim Posttest mit einem relativen Anteil von 10% aufgetreten.

Forschungsfrage 2: *Welche neuen Schülervorstellungen können zum Thema Reibung erfasst werden?*

Aus der empirischen Untersuchung dieser Arbeit gingen neue Präkonzepte hervor, welche entweder bei Unterrichtskonzeptionen zum Thema Reibung berücksichtigt wurden, jedoch keine Forschungsergebnisse zur Häufigkeit, mit der diese bei Schüler*innen in der Regel auftreten, vorlagen, oder überhaupt noch keine Erwähnung in physikdidaktischen Publikationen fanden. Diese neu entdeckten Schülervorstellungen zum Thema Reibung werden in folgender Liste angeführt.

- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Größe der Kontaktfläche, der Form der Kontaktfläche und der Geschwindigkeit, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird, ab*
- *Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung*
- *Bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper widersetzt sich dieser einer Bewegungsänderung gemäß dem Trägheitsprinzip und zwar in Form einer sofort wirkenden maximalen Haftreibung*
- *Ein rollender Körper zieht die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mit*

Forschungsfrage 3: *Welche Verbindungen zwischen einzelnen Schülervorstellungen zeichnen sich ab?*

In Hinblick auf die Forschungsfrage wird der Clusterungsprozess als inhaltliches Zusammenführen von Vorstellungen, für alle geclusterten Präkonzepte in weiterer Folge offengelegt.

- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Größe der Kontaktfläche, der Form der Kontaktfläche und der Geschwindigkeit, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird, ab*

Davon ausgehend, dass diese drei vermeintlichen Einflussfaktoren auf die Reibung als unabhängig voneinander betrachtet werden können, lassen sich diese zu einer Aussage zusammenfassen.

- *Bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper widersetzt sich dieser einer Bewegungsänderung gemäß dem Trägheitsprinzip und zwar in Form einer sofort wirkenden maximalen Haftreibung*

Die Schülervorstellungen *Reibung als Konsequenz der Trägheit eines Körpers* und *bei Krafteinwirkung wirkt sofort die maximale Haftreibung F_H als $F_H = \mu_H \cdot F_N$* können inhaltlich zusammengeführt werden, woraus das angeführte Präkonzept resultiert. Wirkt auf einen ruhenden Körper eine Kraft, so möchte dieser, dem Trägheitsprinzip zufolge, im Ruhezustand verbleiben und widersetzt sich deshalb einer Bewegung mit maximaler Haftreibungskraft. Diese fehlerhafte Vorstellung lässt sich aus den in der Literatur (1, S.78) beschriebenen Untersuchungsergebnissen, dass Schüler*innen bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper die angreifende Kraft zu Beginn niedriger einschätzen als die Haftreibungskraft, ableiten.

Insgesamt lässt sich resümieren, dass es nur selten gelang, Schülervorstellungen sinnvoll zu vereinen. Zum einen, da die einzelnen Präkonzepte verschiedenste Aspekte von Reibung ansprechen und deshalb nur schwer in eine logisch nachvollziehbare Beziehung gesetzt werden können, zum anderen ist nicht gegeben, dass bei einer vorliegenden

Schülervorstellung zwangsläufig andere Fehlvorstellungen, welche aus der ersten resultieren, auftreten müssen, wie anhand von folgendem Beispiel gezeigt wird. Die Präkonzepte - *ein rollender Körper zieht die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mit* und *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)* - lassen sich beide als Konsequenz der Fehlvorstellung, dass Reibungskräfte senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper wirken würden, im Sinne eines Festhaltens des Körpers durch die Unterlage, auffassen. Dieses Festhalten durch die Unterlage kann sowohl als ein „Verhaken“ der beiden Körperoberflächen an der Kontaktfläche verstanden werden, wodurch sich die Unterlage mit dem Körper mitbewegt (erstgenannte Vorstellung) als auch als ein Bremsen der Bewegung des oberen Körpers, wobei die Unterlage keine Krafteinwirkung erfährt (zweitgenannte Vorstellung). Es gab Lernende, bei denen man den Untersuchungsergebnissen zufolge davon ausgehend muss, dass sie von der Fehlvorstellung - *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper* - überzeugt sind, jedoch keine Anzeichen auf das Vorliegen einer der beiden daraus logisch ableitbaren Fehlvorstellungen ersichtlich waren. Auf Basis dieser Unstimmigkeit werden diese Präkonzepte nicht zusammengeführt.

Forschungsfrage 4: *Welche Unterschiede lassen sich aus den erreichten Gesamtscores der Lernenden bei den Online-Fragebögen in Hinblick auf die Schulstufe, das Geschlecht, das Interesse an Themen des Physikunterrichts, die Physiknote und die Selbsteinschätzung des Verständnisses erkennen?*

Wird ein Blick auf Tabelle 9 geworfen, so wird deutlich, dass der Mittelwert des Gesamtscores mit zunehmender Schulstufe tendenziell ansteigt. Während zwischen der 7. und 8. Schulstufe mit Werten von knapp unter 2 kein signifikanter Unterschied aufgetreten ist, haben die Lernenden der 9. Schulstufe mit einem Wert von rund 3,4 im Mittel deutlich besser abgeschnitten. Man könnte meinen, dass die Schüler*innen der 9. Schulstufe im Vergleich zu den beiden anderen Jahrgängen schlechter abschneiden müssten, da für sie der Reibungsunterricht weitaus länger zurückliegt, wodurch Lerninhalte wieder in Vergessenheit geraten. Dem steht jedoch die Lesekompetenz als wichtiger Einflussfaktor auf den schulischen Lernerfolg gegenüber. Bei der Erlangung einer hohen Lesekompetenz ist die Schulbildung der zentralste Faktor. (29, S.462) Daraus lässt sich eine Steigerung des Leseverständnisses mit zunehmender Schulstufe ableiten, welche sich vermutlich hier in den Testergebnissen zu Buche schlägt.

Das Geschlecht betreffend (siehe Tabelle 9 bzw. 10) erreichen die weiblichen Schülerinnen beim Prätest im Mittel einen höheren Gesamtscore als die männlichen Schüler. Beim Posttest zeigt sich ein genau umgedrehtes Bild, weshalb sich im Zuge dieser Untersuchung keine geschlechterspezifischen Unterschiede bezüglich des Gesamtscores ergeben. Im Falle signifikanter geschlechterspezifischer Leistungsunterschiede bei beiden Tests ließe sich dahingehend für die Schülerinnen argumentieren, dass diese entsprechend der Pisa-Studie des Jahres 2022 über eine signifikant höhere Lesekompetenz verfügen als die Burschen. (30, S.52) Letztere haben jedoch bei beiden Tests ein höheres Interesse an physikalischen Themen geäußert, was wiederum für ein besseres Abschneiden der Schüler spricht.

Die Mittelwerte der Gesamtscores weisen die Tendenz auf, mit zunehmendem Interesse der Lernenden am Physikunterricht anzusteigen. Diese direkte Proportionalität zwischen dem persönlichen Interesse der Lernenden und ihrer schulischen Leistungen ist keineswegs überraschend, da in der Hattie-Studie (26, S.103) Motivation (als Folge von Interesse) als zentraler Faktor für den Lernerfolg nachgewiesen wurde.

Aus Tabelle 9 und 10 geht hervor, dass die Physiknoten der Schüler*innen ihr Verständnis in diesem Unterrichtsfach relativ gut einordnen können, denn die Lernenden mit der besten (schlechtesten) Note haben tendenziell auch die meisten (wenigsten) Punkte bei beiden Tests erzielt. Es gilt den zuvor angestellten Vergleich jedoch dahingehend kritisch zu reflektieren, dass Lernleistungen zum Thema Reibung mit jenen zu verschiedensten, innerhalb eines Jahres erarbeiteten, Themengebieten verglichen werden.

Eine gute Korrelation zwischen den Testergebnissen und der Literatur zeigt sich beim Vergleich der Selbsteinschätzung der Schüler*innen bezüglich ihres Physikverständnisses mit ihren erbrachten Lernleistungen. Schüler*innen mit einer hohen persönlichen Verständniseinschätzung haben durchschnittlich mehr Punkte bei den Tests erreicht als jene, die ihr Physikverständnis als vergleichsweise niedrig erachten. Dies deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen der Hattie-Studie (26, S.103), in welcher die „Selbsteinschätzung des eigenen Leistungsniveaus“ als der zentralste Einflussfaktor auf den Lernerfolg aufgezeigt wird.

9.3. Weitere Aspekte aus den gewonnenen Datensätzen

Interessante Aspekte aus den Kapiteln 7 und 8, die nicht Teil der Forschungsfragen sind, werden in diesem Abschnitt diskutiert.

- Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores

Während die Mittelwerte der Gesamtscores 2,4 Punkte (fünf Klassen) bzw. 2,1 Punkte (3C Klasse) eine ähnliche Häufigkeitsverteilung der Gesamtscores beim Prätest vermuten lassen, zeigen sich bei Gegenüberstellung von Abbildung 11 mit Abbildung 12 jedoch große Abweichungen. Zum Beispiel sind in den fünf Klassen mit Reibungsunterricht deutlich mehr Schüler*innen mit 4 oder mehr Punkten vertreten. Dass die Ergebnisse der Schüler*innen der 3C (ohne Reibungsunterricht) in diesem Vergleich deutlich schlechter ausfallen, kommt keineswegs überraschend, da beim Prätest Fachbegriffe vertreten sind, die bei Lernenden ohne entsprechende Aufarbeitung im Zuge des Physikunterrichts für Verständnisprobleme sorgen können. Andererseits lässt sich die Vielzahl an Schüler*innen, die trotz Reibungsunterricht nur einen Punkt beim Prätest erreichen konnten (siehe Abbildung 11) im Vergleich zur Klasse 3C nur schwer erklären.

Da der Mittelwert der Gesamtscores in den fünf Klassen (mit Reibungsunterricht) nicht signifikant höher ausfällt als jener in der 3C Klasse (ohne Reibungsunterricht), kann im Rahmen dieser Untersuchung von keiner hohen Effektivität bei der Beseitigung von Schülervorstellungen im Physikunterricht gesprochen werden.

Der Mittelwert der Gesamtscores beim Posttest fällt mit einem Wert von rund 2,5 Punkten nahezu identisch zu jenem des Prätests aus. Bei diesem Vergleich gilt es jedoch zu betonen, dass die mögliche Gesamtpunktezahl beim Posttest um einen Punkt niedriger lag als beim Prätest, wodurch das Ergebnis des Posttests besser ausfiel als es in diesem Vergleich zunächst scheint. Die Häufigkeitsverteilung nimmt bei beiden Tests eine ähnliche Form an. Wie beim Prätest (in den fünf Klassen) konnten einige Schüler*innen beim Posttest eine hohe Punktezahl erreichen, jedoch ist der relative Anteil der Personen, die beim Posttest null Punkte erzielt haben, im Vergleich zum Prätest stark angestiegen.

- Selbsteinschätzung des Verständnisses nach Geschlecht

Bei der Auswertung der Ergebnisse des Prätests zeigt sich, dass Mädchen ihr Physikverständnis deutlich schlechter einschätzen als Burschen, obwohl die Schülerinnen beim Prätest durchschnittlich besser abgeschnitten haben als ihre männlichen Kollegen. Denn während 30 von 62 Schülerinnen (das sind rund 48%) ihr Verständnis als „sehr hoch“ oder „hoch“ einschätzen, tun dies 42 von 60 Schülern (das sind rund 70%). Aus Tabelle 9 geht jedoch ein höherer Mittelwert der Gesamtscores bei den Mädchen hervor.

Analog zum Prätest schätzen die Mädchen auch bei der Bearbeitung des Posttests ihr Physikverständnis deutlich schlechter ein als die Burschen. Sind es bei den Mädchen lediglich 15 von 23 Schülerinnen (das sind rund 65%), die ihr Verständnis als „sehr hoch“ oder „hoch“ einschätzen, so tun dies 20 von 24 Burschen (das sind rund 83%). Mit dem Unterschied, dass diesmal die Burschen tatsächlich auch ein besseres Ergebnis vorweisen können als die Mädchen (siehe Tabelle 10).

- Hartnäckigkeit von Schülervorstellungen

Die Hartnäckigkeit, mit der Schüler*innen an ihren Alltagsvorstellungen festhalten und der daraus resultierenden niedrigen Effektivität des Physikunterrichts hinsichtlich des Vorhabens, die Lernenden von Fehlvorstellungen zu wissenschaftlich korrekten Vorstellungen zu führen (14, S.127, 128), zeigt sich insbesondere an der Schülervorstellung *die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*. Denn sechs Lernende der Klasse 3C (ohne Reibungsunterricht beim Prätest), mit einer Teilnahme an beiden Tests, haben bei Item 6 des Prätests die Antwortkombination a3b3 (siehe Tabelle 1) gewählt und vier davon haben zudem bei Item 6 des Posttests die Antwortkombination a2b1 (siehe Tabelle 2) für richtig eingeschätzt. Dies entspricht einem relativen Anteil von rund 67%. Somit konnte diese Fehlvorstellung durch den Unterricht nicht (entscheidend) aus dem Weg geräumt werden.

9.4. Konsequenzen für den Physikunterricht

Wie bereits zu Beginn der Arbeit (siehe Kapitel 1) erwähnt wurde, steht das Thema Reibung im Physikunterricht in keinem angemessenen Verhältnis zur hohen Bedeutsamkeit der Reibung im Alltag und in der Technik. Deshalb sollte diese Thematik nach der in diesem Werk erbrachten wissenschaftlichen Diskussion im Unterricht einen größeren Platz einnehmen.

In zahlreichen Studien konnten die Vorstellungen, die Schüler*innen aus ihrer Alltagserfahrung heraus entwickeln, als entscheidender Faktor für das Erlernen physikalischer Konzepte ausgemacht werden. (14, S.127) Um einen Physikunterricht zu realisieren, welcher einerseits den aktuellen Anforderungen an die Gesellschaft, die Natur und die Technik Rechnung tragen soll und andererseits das Verständnis der Schüler*innen fördern soll, ist es unausweichlich, die Vorstellungen und Sichtweisen der Schüler*innen im Lernprozess zu berücksichtigen, da neue Sachverhalte nur auf dem individuell bestehenden Wissensnetz erarbeitet werden können. Demnach wird es wohl auch zukünftig Aufgabe fachdidaktischer Forschung sein, gängige Präkonzepte zu den verschiedensten Teilbereichen der Physik zu erheben, welche es in weiterer Folge von Lehrkräften im Unterricht zu berücksichtigen gilt. Obwohl die in dieser Arbeit präsentierten Schülervorstellungen zum Thema Reibung noch weitere größer angelegte Untersuchungen erfordern, so geben sie Lehrpersonen dennoch einen Überblick über Fehlvorstellungen, mit denen sie im Reibungsunterricht konfrontiert sein könnten. Während manche der hier thematisierten Präkonzepte in bestehenden Unterrichtskonzeptionen (siehe Abschnitt 4.5) berücksichtigt werden, trifft dies für andere wiederum nicht zu. Wie zum Beispiel die Fehlvorstellung *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*, welche sich erst auf der schiefen Ebene als problematisch herausstellt (auf einer horizontalen Unterlage nicht). Genau diese schiefe Ebene ist es, die eine zukünftige Aufgabe der Physikdidaktik darstellt, da zu ihr bislang nahezu keine Unterrichtskonzepte vorliegen.

Nun werden Aspekte diskutiert, die es im Umgang mit den zuvor festgehaltenen Schülervorstellungen im Reibungsunterricht zu berücksichtigen gilt, um die Schüler*innen dazu zu bewegen, sich in ihrer persönlichen Überzeugung von diesen (oder ähnlichen) Vorstellungen abzuwenden und sich stattdessen wissenschaftlich tragfähigen Vorstel-

lungen anzunähern. Wie bereits in Kapitel 4.3 geschildert ist die Bereitschaft der Schüler*innen sich von ihren Fehlvorstellungen zu verabschieden, wenn überhaupt, erst dann gegeben, sofern die wissenschaftlichen Vorstellungen von den Lernenden als verständlicher, plausibler, fruchtbarer, tragfähiger oder weitreichender wahrgenommen werden. (14, S.127, 128) Falls Lernende nicht bereit sind ihre Alltagsvorstellungen aufzugeben, so sollten sie entsprechend dem Zitat auf S.25 zumindest die wissenschaftliche Vorstellung verstehen, um Situationen in denen alltägliche Vorstellungen nicht weiterhelfen, erklären zu können (Koexistenz von Schülervorstellung und wissenschaftlicher Vorstellung). (1, S.40)

Eine solche überzeugende Sichtweise auf wissenschaftliche Vorstellungen könnte erreicht werden, indem den Lernenden eine Situation vorgelegt wird, die zunächst durch eine Schülervorstellung erklärt werden kann, der daraufhin präsentierte Sachverhalt jedoch auf die im wissenschaftlichen Konsens als korrekt angesehene Vorstellung zur Erklärung angewiesen ist.

Folglich werden Zugänge präsentiert, wie die Schülervorstellungen zum Thema Reibung (siehe Liste in Abschnitt 9.1) im Unterricht thematisiert werden könnten. Ziel soll es dabei sein, anhand von Alltagssituationen oder realen Experimenten bzw. Gedankenexperimenten, diese Alltagsvorstellungen zu entkräften und sie durch wissenschaftliche Vorstellungen abzulösen.

- *Die Reibung zwischen zwei Festkörpern hängt von der Größe der Kontaktfläche, der Form der Kontaktfläche und der Geschwindigkeit, mit der ein Körper über die Unterlage gezogen wird, ab*

Anhand einer Versuchsanordnung wie etwa beim Münchner Mechanikkonzept (8, S.51), wobei ein Körper mittels Kraftmesser über eine Unterlage gezogen wird, kann aufgezeigt werden, dass die Reibungskraft von keiner der drei genannten Faktoren abhängt. Zu Beginn stellen die Schüler*innen die Abhängigkeit der Reibungskraft von der Normalkraft und der Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper experimentell fest. Anschließend wird ein Körper (z.B. quaderförmiger Holzblock) zweimal, unter Variation der Größe der Kontaktfläche, über die Unterlage gezogen. Daraufhin wird der Versuch mit zwei Körpern derselben Masse, aber einer unterschiedlichen Form der Kontaktfläche (z.B. Quader und dreiseitiges Prisma) wiederholt. Abschließend wird ein Körper

zweimal mit unterschiedlicher Geschwindigkeit über die Unterlage gezogen. Vorausgesetzt Messunsicherheiten wurden bereits im Unterricht thematisiert, so sollten die Lernenden die Reibungskraft in diesen Situationen als unverändert deuten können.

- *Reibung tritt nur bei Bewegung eines Körpers auf*

Diese Schülervorstellung ließe sich anhand eines Gedankenexperiments entkräften, indem sich die Schüler*innen vorstellen, dass sie auf einer steilen Bergstraße stehen. Auf sie wirke die Gewichtskraft, weshalb sie die schiefe Ebene hinunterrutschen müssten, das könnte die Anweisung der Lehrperson sein. Anschließend sollen die Schüler*innen in Kleingruppen brainstormen, welche Kraft das Hinunterrutschen verhindern könnte. Beachte, dass sich die Situation, in der ein Körper auf einer horizontalen Unterlage ruht, hierbei nicht gut anbietet, da, sofern keine Kraft auf den Körper wirkt, auch keine Reibungskraft auftritt.

- *Zwischen zwei ruhenden und sich berührenden Körpern wirkt (ohne Krafteinwirkung) Haftreibung*

Diese Fehlvorstellung wird durch den Begriff Haftreibung hervorgerufen bzw. verstärkt. Anhand von Abbildung 2 lässt sich die Unebenheit von Körperoberflächen thematisieren. Dass es erst durch einer seitlich auf den Körper einwirkenden Kraft und einer entsprechenden (minimalen) seitlichen Bewegung des Körpers über die Unterlage zu einem „Verhaken“ der Berge und Täler an der Kontaktfläche kommt, sollte für die Lernenden ersichtlich sein.

- *Bei Krafteinwirkung auf einen ruhenden Körper widersetzt sich dieser einer Bewegungsänderung gemäß dem Trägheitsprinzip und zwar in Form einer sofort wirkenden maximalen Haftreibung*

Zunächst sollte beim Einstieg in das Thema Reibung die Unebenheit der Körperoberflächen und die Anziehung der Atome an der Kontaktfläche als Ursachen von Reibung

besprochen werden. In diesem Zusammenhang sollte explizit thematisiert werden, dass die Trägheit bei der Reibung keine Rolle spielt.

Die Situation des Kastenverschiebens wird experimentell durch einen Holzblock, welcher mit einem Kraftsensor über eine Unterlage gezogen wird, realisiert. (18, S.14, 15) Die Zugkraft auf den Holzblock wird langsam gesteigert, bis sich dieser schließlich zu bewegen beginnt und über die Unterlage gleitet. Mittels erhaltener Zeit-Kraft-Kurve ist es Aufgabe der Lehrperson über das 1. Newton'sche Gesetz zu vermitteln, dass zu Beginn die Zugkraft gleich der (Haft-) Reibungskraft ist, da sich der Körper nicht bewegt. Mit zunehmender Zugkraft steigt die Reibungskraft dementsprechend an, bis die Zugkraft schließlich die maximale Haftreibungskraft (kann aus der Kurve entnommen werden) übersteigt und sich der Körper zu bewegen beginnt. Dieser Prozess, inklusive der wirkenden Kräfte, lässt sich zudem über die Simulation (31) veranschaulichen. Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass die Darstellung der Kräfte in der Simulation die Fehlvorstellung *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*, explizit fördert.

- *Die Reibungskraft wirkt senkrecht auf die Kontaktfläche der beiden reibenden Körper*

An der Tafel wird ein ruhender Körper auf einer horizontalen Unterlage skizziert. Die Lernenden sollen die, ihrer Meinung nach, auf den Körper wirkenden Kräfte einzeichnen. Die Gewichtskraft und die Normalkraft sollten die Schüler*innen korrekt darstellen können. Dabei geht die Lehrperson auf das 3. Newton'sche Axiom ein und betont zudem, dass die beiden Kräfte an der Kontaktfläche zwischen Körper und Unterlage angreifen. Anschließend zeichnet die Lehrperson eine Zugkraft ein, wobei betont wird, dass sich der Körper aufgrund der Reibungskraft nicht bewegt. In weiterer Folge sollen die Lernenden die Reibungskraft, entsprechend ihren Vorstellungen, in der Skizze an der Tafel darstellen. Unter Anwendung des 1. Newton'schen Axioms wird gemeinsam mit den Lernenden erarbeitet, dass die Reibungskraft entgegengesetzt zur Zugkraft wirken muss. Angenommen die Reibungskraft wirke senkrecht auf die Kontaktfläche (Pfeilspitze zeigt zur Kontaktfläche), dann würde der Körper die Unterlage zusammendrücken.

- *Ein rollender Körper zieht die Unterlage in seine Bewegungsrichtung mit*
- *Reibung wirkt nur auf den oberen Körper (Ober-Unter-Effekt)*

Die beiden Präkonzepte lassen sich über ein Experiment gemeinsam falsifizieren. Dazu benötigt es einen experimentellen Aufbau wie im Unterrichtskonzept von Ugo Besson et al. (3, S.1298) Hierbei ruht ein Zylinder auf einem Rollwagen. An den beiden Enden des Rollwagens steht je ein Bleistift. Folglich wird auf den Zylinder eine Kraft ausgeübt, sodass dieser über den Wagen rollt. Augenblicklich, nachdem sich der Zylinder beispielsweise nach rechts bewegt, fällt der linke Stift um, da sich der Zylinder (durch Reibung) am Rollwagen abstößt. Dies widerspricht der erstgenannten Schülervorstellung grundlegend, da hierbei die Schüler*innen davon ausgehen, dass sich die beiden Körperoberflächen so stark „verhaken“, dass der Rollwagen die Bewegung des Zylinders übernimmt und sie sich folglich gemeinsam nach rechts bewegen, was zum Umfallen des rechten Stifts führen würde. Lernende, die von der zweitgenannten Fehlvorstellung überzeugt sind, gehen davon aus, dass beide Stifte stehen bleiben. Da Reibungskräfte immer nur auf den oberen Reibungspartner (hier der Zylinder) wirken würden, bliebe der Rollwagen im Ruhezustand, wodurch auch kein Bleistift umfallen würde.

- *Normalkraft und Gewichtskraft sind immer gleich groß*

Dieses Präkonzept, welches auf der Überfokussierung der Bewegung eines Körpers auf einer horizontalen Unterlage im Reibungsunterricht basiert, lässt sich unter anderem über die Bewegung eines Körpers entlang einer vertikalen Ebene (z.B. Wand) beseitigen. In diesem Fall ist die Normalkraft nämlich unabhängig von der Gewichtskraft und ergibt sich stattdessen über die Kraft, mit der der Körper gegen die Wand gedrückt wird. (3, S.1295) Alternativ lässt sich diese Fehlvorstellung durch einen ruhenden Körper auf einer schiefen Ebene aufarbeiten. Durch das Zerlegen der Gewichtskraft in eine zur schiefen Ebene parallelen und normalen Komponente sollte für die Lernenden nachvollziehbar sein, dass die Normalkraft betragsmäßig kleiner ist als die Gewichtskraft. Schließlich ist die Normalkraft, gemäß dem 3. Newton'schen Axiom, gleich groß wie die normale Komponente der Gewichtskraft. Im Vergleich zum vorherigen Zugang erfordert dieser zusätzlich das Konzept der Kräftezerlegung.

- *Die stärkere Kraft gewinnt*

Beim Verschieben eines Kastens auf einer waagrechten Unterlage ist diese Vorstellung noch tragfähig, denn falls die Schubkraft größer als die maximale Haftreibungskraft ausfällt, so bewegt sich der Körper in Richtung der Schubkraft. Aber wenn wir mit einem Boot einen Fluss überqueren und annehmen, dass die Antriebskraft größer ist als die Strömung des Flusses, so würde man nach obiger Fehlvorstellung auf derselben Flusshöhe am anderen Ufer ankommen. Dem ist nicht so, was den Lernenden ebenfalls aus ihrer Alltagserfahrung klar sein sollte, denn entscheidend ist hier, wie sonst auch in der Physik, wenn mehrere Kräfte gleichzeitig auf einen Körper einwirken, die Kräfte-*tesumme* und nicht die betragsmäßig größte Kraft.

- *Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an*

Zwei Boote befinden sich auf einem See im Ruhezustand. Diese sind mit einem Seil nebeneinander zusammengebunden. Nach der Zusammenkunft wird das Seil entfernt und einer der beiden Fahrerinnen stößt sich mit der Hand vom anderen Boot ab. Dadurch bewegen sich beide Boote, entsprechend dem 3. Newton'schen Axiom, voneinander weg (Anschließend fährt eine der beiden los. Durch das Abstoßen wird sichergestellt, dass beide Boote beim Wegfahren keinen Schaden nehmen). Anhand dieses Beispiels lässt sich unter Anfertigung einer Skizze, inklusive der dabei wirkenden Kräfte, das Wechselwirkungsprinzip zwischen zwei Körpern anschaulich erklären. Darauf folgend wird betont, dass die Kraft und die Gegenkraft niemals am selben Körper angreifen. Dazu werden die Lernenden gefragt, was aus ihrer Sicht passieren würde, wenn die Fahrerin des ersten Bootes auf das zweite Boot eine Kraft ausübt und die Gegenkraft ebenfalls auf das zweite Boot wirke.

Nach dem Einüben des Prinzips durch weitere Beispiele, wie etwa Gehen, Schwimmen, frontaler Crash zwischen zwei Autos, Raketen- bzw. Jetantrieb oder Rückstoß eines Gewehrs, bietet es sich an, statische Situationen zu betrachten wie etwa eine Vase, die auf einem Tisch steht. Eine Festigung des 3. Newton'schen Axioms durch die dynamischen Beispiele zuvor ist aus fachdidaktischer Sicht sinnvoll, damit Lernende durch fehlerhafte Darstellungen, in denen die Gewichtskraft und die Normalkraft am selben Punkt der Vase angreifen, nicht in die genannte Fehlvorstellung abrutschen.

Umso wichtiger ist es, die in der Situation wirkenden Kräfte korrekt einzuzeichnen und klar zu kommunizieren, dass in der Physik Kräfte häufig verschoben werden, um die resultierende Kraft (z.B. hier auf die Vase) zu ermitteln.

Jetzt wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie die Aspekte von Reibung im Unterricht chronologisch aufgearbeitet werden könnten, um in den Köpfen der Schüler*innen die jeweils für ein Verständnis erforderliche Wissensbasis zu schaffen. Eine solche zeitliche Reihung ist nachstehend dargestellt. Im Abschnitt 4.5 sind Tipps und Unterrichtssequenzen zu diesen einzelnen Teilaspekten von Reibung festgehalten, denen bei der Planung und Durchführung des Unterrichts Beachtung geschenkt werden sollte.

1. *Kraftbegriff, vektorielle Darstellung von Kräften, Zerlegung von Kräften, Kräfte-summe, Gewichtskraft, geradlinig gleichförmige- bzw. gleichmäßig beschleunigte Bewegung, Newton'sche Axiome:* Diese Konzepte sollten zuvor intensiv eingeübt werden, da sich diesbezügliche Fehlvorstellungen sonst auch im Reibungskontext niederschlagen.
2. *Ursachen von Reibung*
3. *Anwendung im Alltag und Technik:* Es werden Situationen gegenübergestellt, in denen Reibung erwünscht bzw. unerwünscht ist.
4. *Reibung als Widerstand gegen eine Bewegung und die entsprechende Vektordarstellung*
5. *Faktoren, von denen die Reibung (nicht) abhängt*
6. *Arten von Reibung:* Gemeinsamkeiten und Unterschiede hinsichtlich der Formeln werden verdeutlicht.
7. *Energieumwandlung durch Reibung:* Umwandlung von kinetischer Energie in Wärmeenergie, sowie Abnutzung wird thematisiert.
8. *Schiefe Ebene:* Ein ruhender und ein bewegter Körper werden betrachtet. Je nach zeitlicher Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Klasse kann auch der Haft-, Gleit- bzw. Rollreibungskoeffizient bestimmt werden.

In besonders leistungsstarken Klassen könnte zudem der Fokus auf die Beschreibung von Reibungsphänomenen auf der mikroskopischen Ebene gerichtet werden. Vorausgesetzt, es wurde im Unterricht der Regelfall, dass Reibungskräfte mit zunehmender Unebenheit der sich berührenden Körperoberflächen und Anziehung der Atome an denselben Flächen zunehmen, ausreichend vermittelt und eingeübt, kann den Lernenden in weiterer Folge aufgezeigt werden, dass diese Zusammenhänge nicht immer so in Erscheinung treten. Denn es zeigt sich, dass zwischen Festkörpern Reibung auftreten kann, die nicht im Einklang mit diesen Gesetzen steht. So hat bei durchschnittlicher Rauigkeit der Körperoberflächen diese Unebenheit nahezu keinen Einfluss auf die auftretende Reibungskraft. Bei deutlichem Anstieg der Rauigkeit der Körperoberflächen zeigt sich jedoch der zuvor beschriebene Regelfall der Schulphysik, dass mit zunehmender Unebenheit die Reibungskraft ebenfalls ansteigt. Nach diesem Zusammenhang müsste bei sehr geringer Rauigkeit der Körperoberflächen auch die Reibung vernachlässigbar klein sein, jedoch steigt diese gegenüber der Reibung bei der zuvor beschriebenen durchschnittlichen Rauigkeit signifikant an. Dieser Effekt lässt sich dadurch erklären, dass bei geringer Rauigkeit die Atome an den Kontaktflächen einen geringeren Abstand zueinander aufweisen, wodurch eine höhere Anziehungskraft zwischen diesen resultiert. In diesem Fall überwiegt also der Effekt der Anziehung der Atome gegenüber jenem, der Unebenheit der Körperoberflächen. (21, S.1182)

9.5. Fazit und Ausblick

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass der überwiegende Teil der aus der Literatur bekannten Schülervorstellungen sowie jener, die aus den fachlichen Inhalten logisch abgeleitet wurden (siehe Kapitel 5.2), in den Köpfen der Lernenden aus der Stichprobe aufgetreten ist. Darüber hinaus lässt sich bilanzieren, dass dem vorrangigen Ziel dieser Arbeit, nämlich eine umfassende Sammlung an Schülervorstellungen zum Thema Reibung (siehe Abschnitt 9.1) zu generieren, Rechnung getragen werden konnte und damit ein weiterer Beitrag zur Erforschung von Präkonzepten zum Thema Reibung geleistet wurde.

Die Untersuchung hinterlässt jedoch auch Schwächen bezüglich der Vertrauenswürdigkeit der relativen Häufigkeiten, mit denen die Schülervorstellungen bei den Lernenden in der Regel vorliegen. So muss die Gültigkeit der Untersuchungsergebnisse in Hinblick

auf die sehr kleine Stichprobe und den Umstand, dass sich diese nur auf einen Schulstandort bezieht, kritisch reflektiert werden.

Zuverlässigere Angaben zur Auftrittshäufigkeit dieser Präkonzepte sowie eine Erhebung von Schülervorstellungen zur Reibung auf der mikroskopischen Ebene können als Ausgangspunkt für weitere, größer angelegte Studien zum Thema Reibung angesehen werden. Darüber hinaus würde die Entwicklung eines Unterrichtskonzepts zum Thema Reibung, welches den aktuellen fachdidaktischen Forschungsstand (siehe Kapitel 4.5) mit den Präkonzepten dieser Arbeit in Einklang bringt, Lehrkräften ein wertvolles Werkzeug in Hinblick auf die Planung und die Durchführung des Reibungsunterrichts in die Hand geben.

Weitere Aspekte, welche im Zuge der Untersuchung aufgegriffen wurden, sind Verflechtungen zwischen einzelnen Präkonzepten, der Einfluss von personenspezifischen Merkmalen (Schulstufe, Interesse, Physiknote, etc.) auf die Lernleistung, die Selbsteinschätzung des Physikverständnisses nach Geschlecht, die Hartnäckigkeit von Schülervorstellungen sowie das Interesse und die Selbsteinschätzung des Verständnisses als zentrale Faktoren der Leistungsentwicklung von Lernenden.

A. Verzeichnisse

A.1. Literaturverzeichnis

- [1] Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (2018): *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Springer Spektrum.
- [2] Duit, R. (2010): *Schülervorstellungen und Lernen von Physik*. In: *PIKO-Brief*. Nr.1. IPN.
- [3] Besson, U., et al. (2010): *A Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction*. In: *International journal of science education*. Vol.32 (10), p.1289-1313. Routledge.
- [4] Besson, U. (2013): *Historical Scientific Models and Theories as Resources for Learning and Teaching: The Case of Friction*. In: *Science & education*. Vol.22 (5), p.1001-1042. Springer Netherlands.
- [5] Demtröder, W. (2008): *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. 5. Auflage, Berlin, Springer Spektrum.
- [6] Fritsche, O. (2020): *Physik für Chemiker I: Physikalische Grundlagen, Mechanik, Thermodynamik*. Berlin, Springer Spektrum.
- [7] Wagner, P., Reischl, G., Steiner, G. (2014): *Einführung in die Physik*. 3., erweiterte Auflage, Berlin, Springer Spektrum.
- [8] Bader, M. (2001): *Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrganges Einführung in die mechanische Energie und Wärmelehre*. München, Ludwig-Maximilians-Universität.
- [9] Lüders, K., Pohl, R.O. (2017): *Pohls Einführung in die Physik: Band 1: Mechanik, Akustik und Wärmelehre*. 21., gründlich überarbeitete Auflage, Berlin, Springer Spektrum.

- [10] Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (2011): *Schülervorstellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner*. 3., unveränderte Auflage, Berlin, Aulis Verlag.
- [11] Hopf, M., Schecker, H., Höttecke, D., Wiesner, H. (2022): *Physikdidaktik kompakt*. 1. vollständig neu bearbeitete Auflage, Hannover, Aulis Verlag.
- [12] Neuer Lehrplan der AHS-Unterstufe bzw. NMS (2023/24) und Lehrplan der AHS-Oberstufe
URL:<https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:EU:fecc0a5b-32ee-4894-a9cf-1c0764204bb6> (zuletzt abgerufen am 12.05.2024)
- [13] Weber, J. (2022): *Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich*. Berlin, Logos Verlag.
- [14] Wiesner, H. (1995): *Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert*. In: *Unterrichtswissenschaft*. Vol.23 (2), S. 127-145. Springer Spektrum.
- [15] Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (2010): *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. 2.Auflage, Berlin, Springer Spektrum.
- [16] Keeley, P., Harrington, R. (2010): *Uncovering Student Ideas in Physical Science, Volume 1:45 New Force and Motion Assessment Probes*. Arlington, National Science Teachers Association.
- [17] Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., Mascheretti, P. (2007): *How to teach friction: Experiments and models*. In: *American Journal of Physics*. Vol.75 (12), p.1106-1113. American Association of Physics Teachers.
- [18] Campbell, T., Neilson, D. (2009): *Student Ideas and Inquiries: Investigating Friction in the Physics Classroom*. In: *Science Activities*. Vol.46 (1), p.13-16. Heldref Publications.
- [19] Besson, U., Viennot, L. (2004): *Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics*. In: *International Journal of Science Education*. Vol.26 (9), p.1083-1110. Taylor and Francis Ltd.

- [20] Canlas, I. P. (2021): *Using visual representations in identifying students' preconceptions in friction*. In: *Research in science & technological education*. Vol.39 (2), p.156-184. Routledge.
- [21] Corpuz, E., Rebello, N. S. (2017): *Refining Students' Explanations of an Unfamiliar Physical Phenomenon-Microscopic Friction*. Dordrecht, Springer Netherlands.
- [22] De Ambrosis, A., Malgieri, M., Mascheretti, P., Onorato, P. (2015): *Investigating the role of sliding friction in rolling motion: a teaching sequence based on experiments and simulations*. In: *European Journal of Physics*. Vol.36 (3), p.35020-21. IOP-Publishing.
- [23] Baur, N., Blasius, J. (2022): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. 3. Auflage, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [24] Urban-Woldron, H., Hopf, M. (2012): *Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Vol.18, p.201-227.
- [25] Decker, O. (2018): *Sozialpsychologie und Sozialtheorie: Band 1: Zugänge*. 1. Auflage, Wiesbaden, Springer VS.
- [26] Lotz, M., Lipowsky, F. (2015): *Die Hattie-Studie und ihre Bedeutung für den Unterricht: Ein Blick auf ausgewählte Aspekte der Lehrer-Schüler-Interaktion*. In: *Begabungen entwickeln & Kreativität fördern*. Band 8, München, KREApplus.
- [27] Schiefele, U. (2008): *Lernmotivation und Interesse*. In: *Handbuch der pädagogischen Psychologie*. Göttingen, Hogrefe.
- [28] Krebs, D., Menold, N. (2019): *Gütekriterien quantitativer Sozialforschung*. In: *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [29] Fritz, A. (1988): *Lesekompetenz*. In: *Publizistik*. Volume 33, p.456–467.
- [30] Brandmair, K., Höller, I. (2023): *PISA 2022. Kompetenzen in Mathematik, Lesen und Naturwissenschaft am Ende der Pflichtschulzeit im internationalen Vergleich*. Salzburg, IQS.

[31] Simulation zu „Kräfte und Bewegung: Grundlagen; Reibung“: Phet interactive simulations.

URL:[https://phet.colorado.edu/sims/html/](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_all.html?locale=de)

[forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_all.](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_all.html?locale=de)

[html?locale=de](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_all.html?locale=de)

(zuletzt abgerufen am 12.05.2024)

A.2. Abbildungsverzeichnis

1.	Gravitationskräfte zwischen 2 Massen (5, S.54)	6
2.	Oberflächenrauigkeit als Ursache der Reibung (8, S.50)	9
3.	Messung der Haftreibung (5, S.190)	11
4.	Messung des Haft- bzw. Gleitreibungskoeffizienten (7, S.130)	14
5.	Messung des Rollreibungskoeffizienten (7, S.131)	15
6.	Phasen der Konfrontationsstrategie (1, S.57)	26
7.	Phasen der Aufbaustrategie (1, S.58)	27
8.	(In-) korrekte Darstellung der wirkenden Reibungskräfte (19, S.1086) .	35
9.	Kreuztabellen zu den Items des Prätests	58
10.	Kreuztabellen zu den Items des Posttests	58
11.	Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores beim Prätest	62
12.	Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores beim Prätest - Klasse 3C . . .	62
13.	Häufigkeitsverteilung des Gesamtscores beim Posttest	62
14.	Merkmale der Schüler*innen des Prätests	63
15.	Richtige Antwort und Erklärung für ausgewählte Items beider Tests . .	68

A.3. Tabellenverzeichnis

1.	Antwortkombinationen (AK) des Prätests	48
2.	Antwortkombinationen (AK) des Posttests	50
3.	Stichprobe des Prätests	53
4.	Stichprobe des Posttests	53
5.	Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Prätests	59
6.	Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Posttests	60
7.	Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Prätests - inklusive 3. Stufe	65
8.	Häufigkeitsverteilung der Antwortkombinationen des Posttests - inklu- sive 3. Stufe	66
9.	Mittelwerte der Gesamtscores - Prätest	70
10.	Mittelwerte der Gesamtscores - Posttest	70

B. Anhang

B.1. Einzelergebnisse der Interviews

Der Interviewleitfaden besteht aus folgenden Fragestellungen.

1. Welche Dinge hast du bei der Bearbeitung des Fragebogens als positiv bzw. als negativ empfunden? Welcher Gesamteindruck hat sich für dich ergeben?
2. Sind die Fragen für dich verständlich? Bei welcher Frage hattest du die größten Probleme? Müssen Fragen, deiner Meinung nach, sprachlich vereinfacht werden?
3. Findest du die Abbildungen hilfreich, um die Situationen besser verstehen zu können? Welche Abbildungen würdest du ändern und wie? Bei welcher Frage wäre, aus deiner Sicht, noch eine Abbildung zu ergänzen?
4. Sind die einzelnen Fragen anschaulich strukturiert? Wie gut kommst du mit der Einteilung der Fragen in jeweils drei Teilfragen zurecht?
5. Wie schwierig findest du es, aus den Teilfragen a und b die zusammengehörenden Antworten zu finden? Überlege dazu, welche Antwort aus Teilfrage a passt zu welcher Antwort bei Teilfrage b.

Das erhaltene Feedback zum Prätest wird folglich für jede/n interviewte/n Schüler/in, gegliedert nach den einzelnen Fragestellungen des Interviewleitfadens, festgehalten.

Schüler*in 1:

1. Das System mit den sich ergänzenden Fragen a und b finde ich gut. Die Teilfragen c hätte man aber weglassen können. Insgesamt hat sich bei mir ein guter Gesamteindruck ergeben.
2. Die Fragen sind für mich verständlich. Mir war zwar nicht immer klar, welche Antwort korrekt ist, aber die beschriebenen Situationen waren für mich nachvollziehbar.

3. Die Abbildung bei Frage 7a verstehe ich nicht. Was hat die Situation des Kastenverschiebens mit der Formel zu tun? Sonst sind die Abbildungen sehr hilfreich, da man sich die Situationen so bildlich besser vorstellen kann.
4. Die einzelnen Fragen sind gut strukturiert. Die Einteilung der Fragen in Teilfragen ist zwar etwas ungewöhnlich, aber da es bei allen Fragen gleich ist, habe ich kein Problem damit.
5. Der Schüler bzw. die Schülerin nannte bei einer Aufgabe zur jeweiligen Antwort bei Teilfrage a, die dazu logische Erklärung bei Teilfrage b.

Schüler*in 2:

1. Die Fragen waren eigentlich verständlich, aber manche Fachwörter habe ich noch nie gehört. Wie zum Beispiel maximale Haftreibung oder Normalkraft.
2. Sprachlich war die Aufgabe 7 am schwierigsten zu verstehen. Vielleicht könnte man die Fragen und Antworten in Aufgabe 7 durch kürzere Sätze schreiben. Bis auf diese Aufgabe muss, wie ich finde, sprachlich nichts vereinfacht werden.
3. Bei Frage 7a ist die Abbildung für mich zu kompliziert und unverständlich. Ich würde sie weglassen. Sonst sind die Abbildungen nützlich.
4. Die Erklärungen bei Teilfrage b helfen die Antworten bei Teilfrage a besser zu verstehen. Ich halte die Struktur und die Einteilung der Fragen für gelungen.
5. Der Schüler bzw. die Schülerin nannte bei einer Aufgabe zur jeweiligen Antwort bei Teilfrage a, die dazu logische Erklärung bei Teilfrage b. Es kommt auf die Frage an, aber bei den meisten war die Zuordnung der Teilfragen a und b sehr einfach.

Schüler*in 3:

1. Die Struktur des Fragebogens finde ich sehr übersichtlich. Jede Frage wird in drei Teilfragen eingeteilt. Die Möglichkeit sich selbst einzuschätzen, finde ich gut, jedoch habe ich das Gefühl, dass es nicht immer ganz einfach abzuschätzen ist, wie sicher man sich sein kann, ob die gekreuzte Antwort auch stimmt.

2. Die Aufgaben 1 und 4 waren für mich schwer zu beantworten, weil ich die Antwort nicht wusste. Aber sprachlich waren sie klar formuliert.
3. Durch die Abbildungen versteht man die Fragen besser. Ich würde die Abbildungen so lassen wie sie sind.
4. Dass eine Frage aus mehreren Teilfragen besteht, finde ich gut, da man so gezwungen wird genau zu lesen. Man muss sich überlegen welche Antworten bei den Teilfragen a und b zusammenpassen.
5. Die Zuordnung ist nicht schwer. Der Schüler bzw. die Schülerin nannte bei einer Aufgabe zur jeweiligen Antwort bei Teilfrage a, die dazu logische Erklärung bei Teilfrage b.

Schüler*in 4:

1. Als negativ empfinde ich die Aufteilung der Fragen in einzelne Unterfragen. Aber die Anzahl der Fragen finde ich in Ordnung, sodass man alle konzentriert beantworten kann.
2. Sprachlich würde ich nichts an den Fragen ändern. Die Fragen und die Antworten sind sehr verständlich. Die richtigen Antworten auf die Fragen zu finden war, im Gegensatz dazu, eine Herausforderung.
3. Bei Frage 7a finde ich die Abbildung mit der Formel zu kompliziert. Mir ist nicht klar, inwiefern ich die Formel brauche, um die Frage zu beantworten.
4. Die Aufteilung der Fragen in einzelne Teilfragen finde ich etwas verwirrend, da ich es so nicht gewohnt bin. Aber die Fragen sind grundsätzlich übersichtlich dargestellt.
5. Mir ist es nicht so einfach gefallen, die zusammengehörenden Antworten aus Teilfrage a und b zu finden. Man muss die Fragen und Antworten genau lesen, besonders bei den Fragen 3 und 7, um die zusammengehörenden Antworten zu finden.

Schüler*in 5:

1. Guter Gesamteindruck, da ich viele Dinge aus dem letzten Schuljahr wiederholen konnte. Die Fragen waren nicht so schwer und für mich interessant.
2. Sprachlich muss keine der Fragen vereinfacht werden. Ich kannte zwar nicht alle Fachbegriffe, aber die Sätze sind klar formuliert.
3. Die Abbildungen waren für mich sehr hilfreich, um die Situation verstehen zu können. Ich würde nichts daran ändern.
4. Das System, dass die Fragen jeweils unterteilt sind, ist anfangs etwas merkwürdig, man gewöhnt sich aber schnell daran.
5. Es war nicht so schwer die Teilfragen entsprechend zuzuordnen. Der Schüler bzw. die Schülerin nannte bei einer Aufgabe zur jeweiligen Antwort bei Teilfrage a, die dazu logische Erklärung bei Teilfrage b.

Schüler*in 6:

1. Der Gesamteindruck ist positiv, da bei allen Fragen klar ist was man tun soll bzw. was gemeint ist. Darüber hinaus finde ich es angenehm, dass man eigentlich nichts schreiben muss, sondern Antworten einfach angekreuzt werden.
2. Frage 7 war für mich eher schwierig zu verstehen, da hier sehr viele Fachbegriffe vorkommen. Vielleicht könnte man beim Schreiben der Fragen und Antworten weniger Fachbegriffe verwenden.
3. Würde man bei Frage 7a eine Abbildung der Situation hinzufügen, so wäre diese für mich verständlicher. Die Abbildung sollte, wie jene bei Beispiel 6a, die auf den Kasten wirkenden Kräfte darstellen.
4. Ich kam sehr gut mit den Fragen zurecht, da sie sehr strukturiert dargestellt sind. Mir ist zwar nicht klar, was das Einteilen der Fragen in Teilfragen bringen soll, aber es hat mich nicht gestört.
5. Ich hatte keine Probleme mit der Zuordnung der Teilfragen. Dies bestätigte sich, als er/sie die richtige Zuordnung der Teilfragen a und b, bei einer von mir ausgewählten Aufgabe, nannte.

Schüler*in 7:

1. Positiv ist, dass die Fragen verständlich formuliert sind. Bis auf Frage 7, bei der ich Probleme hatte. Denn gerade hier kommen viele Fachbegriffe vor, die ich nicht kenne. Außerdem habe ich nicht verstanden, wie mir die Formel bei Frage 7a weiterhelfen soll.
2. Die Fragen waren grundsätzlich sehr gut ausformuliert, aber da ich bei Frage 7 einige Begriffe nicht kannte, war diese Frage für mich am schwierigsten nachzuvollziehen.
3. Die Abbildungen sind aus meiner Sicht sehr nützlich. Bei Aufgabe 4b hätte ich mir ebenfalls eine Abbildung gewünscht.
4. Die Fragen selbst halte ich für sehr übersichtlich gestaltet. Die Einteilung der Fragen in Teilfragen gefällt mir nicht sonderlich gut. Anfangs hatte ich damit Probleme, mit der Zeit wurde es aber immer besser.
5. Aus meiner Sicht ist die Zuordnung der Teilfragen schaffbar, wenn man die Fragen und Antworten aufmerksam liest. Dies bestätigte sich, als er/sie die richtige Zuordnung der Teilfragen a und b, bei einer von mir ausgewählten Aufgabe, nannte.

Schüler*in 8:

1. Ich finde es gut, dass man nicht viel schreiben muss und nur Antworten angekreuzt werden. Mehr Fragen sollten es nicht sein, die Fragenanzahl ist schon etwas hoch.
2. Die Fragen sind für mich allgemein nicht so einfach zu verstehen. In anderen Unterrichtsfächern geht es mir aber auch so, da ich in Deutsch nicht so gut bin.
3. Die Formel bei Beispiel 7a verstehe ich nicht. Aber die anderen Abbildungen haben mir geholfen, mich für eine Antwort zu entscheiden.
4. Dass die Fragen in Teilfragen aufgeteilt sind, finde ich sehr gut, da man sich so mehr auf eine Frage konzentrieren kann. Die Fragen sind generell sehr übersichtlich dargestellt.

5. Eigentlich finde ich es nur bei Aufgabe 7 etwas schwierig, die zusammengehörenden Antworten zu finden. Der Schüler bzw. die Schülerin nannte bei einer anderen Aufgabe zur jeweiligen Antwort bei Teilfrage a, die dazu logische Erklärung bei Teilfrage b.

Schüler*in 9:

1. Die Fragen waren verständlich formuliert, aber nicht immer einfach zu beantworten. Die Zwischenfragen, wie sicher ich mir bin, ob die gewählten Antworten stimmen, waren aus meiner Sicht etwas nervig.
2. Ich würde an der Formulierung der Fragen nichts ändern. Mir war bei allen Aufgaben die Situation und die Fragestellung klar.
3. Bis auf Aufgabe 6a habe ich die Abbildungen nicht gebraucht, da die Fragen und Antworten so gut formuliert sind, dass sie auch ohne Abbildungen verständlich sind. Ich denke aber schon, dass die Abbildungen anderen Personen helfen könnten.
4. Durch die Einteilung der Fragen wird das Thema noch intensiver besprochen. Denn man muss eine Erklärung für die zuvor gewählte Antwort finden. Man lernt dadurch sehr viel.
5. Wenn man genau liest, kann man die Teilfragen a und b einfach zuordnen. Der Schüler bzw. die Schülerin nannte bei einer Aufgabe zur jeweiligen Antwort bei Teilfrage a, die dazu logische Erklärung bei Teilfrage b.

B.2. Prätest - Erstversion

Vorstellungen erheben - Reibung im Physikunterricht

* Gibt eine erforderliche Frage an

1. Mein persönlicher Code *
- (z.B. Lukas **M**üller, Geburtsdatum: **04.11**.2009;
hat den Code **LM0411**)

2. Meine Klasse (z.B. 3c) *

3. Mein Geschlecht *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Männlich
- ☐ Weiblich
- ☐ Divers

4. Wie interessant findest du die Themen im Physikunterricht? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr interessant
- ☐ interessant
- ☐ weniger interessant
- ☐ überhaupt nicht interessant

5. Meine Physiknote im letzten Jahreszeugnis *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Sehr Gut (1)
- ☐ Gut (2)
- ☐ Befriedigend (3)
- ☐ Genügend (4)
- ☐ Nicht Genügend (5)

6. Wie hoch schätzt du dein Verständnis der physikalischen Konzepte ein? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr hoch
☐ hoch
☐ niedrig
☐ sehr niedrig

7. 1a) Warum reiben Körper aneinander? *
(mehrere Antworten ankreuzbar)



2 Körper (Box und Unterlage)

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Anziehung der Atome an der Kontaktfläche der beiden Körper
☐ Körperoberflächen sind klebrig
☐ Unebenheit der Körperoberflächen (Rauigkeit der sich berührenden Flächen)
☐ Trägheit der sich berührenden Körper

8. 1b) Erklärung/en für deine gewählte/n Antwort/en *

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Körperoberflächen sind im Allgemeinen klebrig. Dadurch entsteht ein Widerstand, wenn eine Box auf einer Unterlage gleitet.
☐ Aufgrund der Trägheit möchte die Box in Ruhe bleiben, wodurch eine Reibungskraft entsteht, die eine Bewegung der Box verhindert.
☐ Die Atome an der Kontaktfläche, aus denen die Oberflächen der Box und der Unterlage bestehen, ziehen einander an.
☐ Körperoberflächen sind im Allgemeinen uneben. Die unebenen Oberflächen der Box und der Unterlage verhaken sich ineinander, wodurch Reibung entsteht.

9. 1c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

10. 2a) "Reibung zwischen zwei Körpern tritt nur dann auf, wenn sich zumindest einer der beiden Körper bewegt." *
- Ist diese Aussage richtig?

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja
☐ Nein

11. 2b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Wenn zwei Körper in Ruhe sind tritt auch immer Reibung auf. Deshalb auch der Begriff Haftreibung, weil die beiden Körper aneinander haften.
- ☐ Wenn zwei Körper in Ruhe sind und auf einen Körper wirkt eine Kraft, dann liegt Haftreibung vor.
- ☐ Nur wenn sich zumindest einer der beiden Körper bewegt, entsteht Reibung zwischen den Körperoberflächen.

12. 2c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

13. 3a) Ein Körper (Box) liegt in Ruhe auf einem anderen Körper (waagrechte Unterlage). Tritt in diesem Fall Reibung auf? *



2 Körper (Box und Unterlage)

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja, immer.
- ☐ Manchmal ja bzw. manchmal nein.
- ☐ Nein, niemals.

14. 3b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Sind zwei Körper in Ruhe, wobei auf einen Körper eine Kraft ausgeübt wird, so tritt Reibung auf. Wird hingegen keine Kraft ausgeübt, so tritt auch keine Reibung auf.
- ☐ Sind zwei Körper in Ruhe, so tritt immer Haftreibung auf. Es tritt Haftreibung auf, weil die beiden Körper aneinander haften.
- ☐ Nur wenn sich zumindest einer der beiden Körper bewegt, entsteht Reibung zwischen den Körperoberflächen.

15. 3c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

16. 4a) Wovon hängt die Reibung eines Körpers (Box) auf einem anderen Körper (waagrechte Unterlage) ab? *
(mehrere Antworten ankreuzbar)



2 Körper (Box und Unterlage)

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Größe der Kontaktfläche
- ☐ Form der Kontaktfläche (z.B. dreieckig oder viereckig)
- ☐ Oberflächenstruktur der beiden Körper (Unebenheit der sich berührenden Flächen)
- ☐ Masse der Box (Normalkraft)
- ☐ Geschwindigkeit, mit der die Box über die Unterlage gleitet

17. 4b) Erklärung/en für deine gewählte/n Antwort/en *

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Je größer die Masse der Box ist, desto stärker drückt diese auf die Unterlage, wodurch mehr Reibung entsteht.
- ☐ Je größer die Kontaktfläche, desto stärker verhaken sich die Unebenheiten der beiden Körperoberflächen, wodurch mehr Reibung entsteht.
- ☐ Je nach Form der Kontaktfläche verhaken sich die Unebenheiten der beiden Körperoberflächen mehr oder weniger, was zu mehr oder weniger Reibung führt.
- ☐ Mit zunehmender Geschwindigkeit hüpfte die Box leichter über die Unebenheiten der Unterlage hinweg.
- ☐ Je unebener (rauer) die sich berührenden Flächen sind, desto stärker verhaken sich diese, was zu mehr Reibung führt.

18. 4c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

19. 5a) Welche Aussage ist richtig? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Reibung ist immer erwünscht
- ☐ Reibung ist immer unerwünscht (störend)
- ☐ Reibung ist je nach Situation erwünscht oder unerwünscht

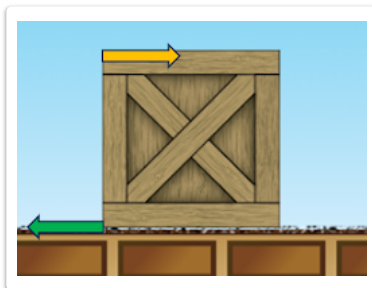
20. 5b) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählte Antwort stimmt? *

Markieren Sie nur ein Oval.

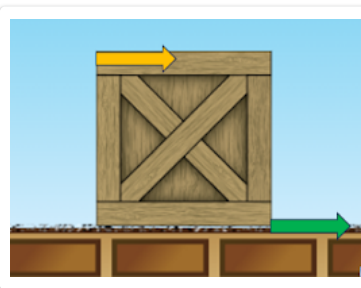
- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

21. 6a) Reibung wird durch Reibungskräfte dargestellt. Wir wollen eine Box verschieben und üben deshalb eine Kraft (oranger Pfeil) auf diese aus. In welchem Bild ist die Richtung der Reibungskraft (grüner Pfeil) korrekt dargestellt? *

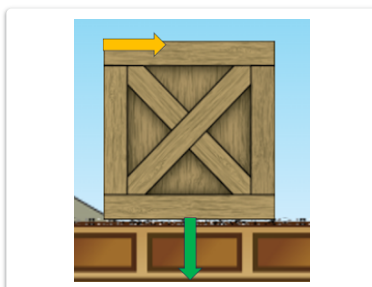
Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Option 1



☐ Option 2



☐ Option 3

22. 6b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Die Reibungskraft zeigt in die Bewegungsrichtung des Körpers.
- ☐ Die Reibungskraft zeigt entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Körpers.
- ☐ Da die Unterlage den Körper durch Reibung festhält, wird die Reibungskraft senkrecht zur Kontaktfläche der beiden reibenden Körper eingezeichnet.

23. 6c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

24. 7a) Wir wollen einen Kasten verschieben. Welche Aussage ist richtig? *

Maximale Haftreibung ist berechenbar als $F_H = \mu_H \cdot F_N$

F_H ... maximale Haftreibung
 μ_H ... Haftreibungskoeffizient
 F_N ... Normalkraft

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Bei Krafteinwirkung auf den Kasten entsteht eine zur Schubkraft gleich große Haftreibungskraft. Mit zunehmender Schubkraft steigt also die Haftreibungskraft gleichermaßen mit an, bis die Haftreibungskraft ihr Maximum erreicht hat.
- ☐ Bei Krafteinwirkung auf den Kasten wirkt sofort die maximale Haftreibung.
- ☐ Bei Krafteinwirkung auf den Kasten wirkt im Allgemeinen keine Haftreibung.

25. 7b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Da keine Haftreibung wirkt, beginnt sich der Kasten sofort zu bewegen, wenn wir auf diesen eine Schubkraft ausüben.
- ☐ Der Kasten möchte seinen Bewegungszustand aufrecht erhalten (Trägheitsprinzip) und widersetzt sich der Bewegung deshalb sofort mit der maximalen Haftreibung.
- ☐ Entsprechend des 3. Newton'schen Axioms wirkt auf den Kasten eine gleich große Haftreibungskraft, wie die von uns ausgeübte Schubkraft. Erst wenn die Schubkraft die maximale Haftreibung übersteigt, dann beginnt sich der Kasten zu bewegen.

26. 7c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

B.3. Prätest - überarbeitete Version

Vorstellungen erheben - Reibung im Physikunterricht

* Gibt eine erforderliche Frage an

1. Mein persönlicher Code *
- (z.B. Lukas **M**üller, Geburtsdatum: **04.11**.2009;
hat den Code **LM0411**)

2. Meine Klasse (z.B. 3c) *

3. Mein Geschlecht *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Männlich
- ☐ Weiblich
- ☐ Divers

4. Wie interessant findest du die Themen im Physikunterricht? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr interessant
- ☐ interessant
- ☐ weniger interessant
- ☐ überhaupt nicht interessant

5. Meine Physiknote im letzten Jahreszeugnis *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Sehr Gut (1)
- ☐ Gut (2)
- ☐ Befriedigend (3)
- ☐ Genügend (4)
- ☐ Nicht Genügend (5)

6. Wie hoch schätzt du dein Verständnis der physikalischen Konzepte ein? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr hoch
☐ hoch
☐ niedrig
☐ sehr niedrig

7. 1a) Warum reiben Körper aneinander? *
(mehrere Antworten ankreuzbar)



2 Körper (Box und Unterlage)

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Anziehung der Atome an der Kontaktfläche der beiden Körper
☐ Körperoberflächen sind klebrig
☐ Unebenheit der Körperoberflächen (Rauigkeit der sich berührenden Flächen)
☐ Trägheit der sich berührenden Körper

8. 1b) Erklärung/en für deine gewählte/n Antwort/en *

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Körperoberflächen sind im Allgemeinen klebrig. Dadurch entsteht ein Widerstand, wenn eine Box auf einer Unterlage gleitet.
☐ Aufgrund der Trägheit möchte die Box in Ruhe bleiben, wodurch eine Reibungskraft entsteht, die eine Bewegung der Box verhindert.
☐ Die Atome an der Kontaktfläche, aus denen die Oberflächen der Box und der Unterlage bestehen, ziehen einander an.
☐ Körperoberflächen sind im Allgemeinen uneben. Die unebenen Oberflächen der Box und der Unterlage verhaken sich ineinander, wodurch Reibung entsteht.

9. 1c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

10. 2a) "Reibung zwischen zwei Körpern tritt nur dann auf, wenn sich zumindest einer der beiden Körper bewegt."
Ist diese Aussage richtig? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja
☐ Nein

11. 2b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Wenn zwei Körper in Ruhe sind tritt auch immer Reibung auf. Deshalb auch der Begriff Haftreibung, weil die beiden Körper aneinander haften.
☐ Wenn zwei Körper in Ruhe sind und auf einen Körper wirkt eine Kraft, dann liegt Haftreibung vor.
☐ Nur wenn sich zumindest einer der beiden Körper bewegt, entsteht Reibung zwischen den Körperoberflächen.

12. 2c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

13. 3a) Ein Körper (Box) liegt in Ruhe auf einem anderen Körper (waagrechte Unterlage). Tritt in diesem Fall Reibung auf? *



2 Körper (Box und Unterlage)

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja, immer.
- ☐ Manchmal ja bzw. manchmal nein.
- ☐ Nein, niemals.

14. 3b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Sind zwei Körper in Ruhe, wobei auf einen Körper eine Kraft ausgeübt wird, so tritt Reibung auf. Wird hingegen keine Kraft ausgeübt, so tritt auch keine Reibung auf.
- ☐ Sind zwei Körper in Ruhe, so tritt immer Haftreibung auf. Es tritt Haftreibung auf, weil die beiden Körper aneinander haften.
- ☐ Nur wenn sich zumindest einer der beiden Körper bewegt, entsteht Reibung zwischen den Körperoberflächen.

15. 3c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

16. 4a) Wovon hängt die Reibung eines Körpers (Box) auf einem anderen Körper (waagrechte Unterlage) ab? *
(mehrere Antworten ankreuzbar)



2 Körper (Box und Unterlage)

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Größe der Kontaktfläche
- ☐ Form der Kontaktfläche (z.B. dreieckig oder viereckig)
- ☐ Oberflächenstruktur der beiden Körper (Unebenheit der sich berührenden Flächen)
- ☐ Masse der Box (Normalkraft)
- ☐ Geschwindigkeit, mit der die Box über die Unterlage gleitet

17. 4b) Erklärung/en für deine gewählte/n Antwort/en *

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Je größer die Masse der Box ist, desto stärker drückt diese auf die Unterlage, wodurch mehr Reibung entsteht.
- ☐ Je größer die Kontaktfläche, desto stärker verhaken sich die Unebenheiten der beiden Körperoberflächen, wodurch mehr Reibung entsteht.
- ☐ Je nach Form der Kontaktfläche verhaken sich die Unebenheiten der beiden Körperoberflächen mehr oder weniger, was zu mehr oder weniger Reibung führt.
- ☐ Mit zunehmender Geschwindigkeit hüpfte die Box leichter über die Unebenheiten der Unterlage hinweg.
- ☐ Je unebener (rauer) die sich berührenden Flächen sind, desto stärker verhaken sich diese, was zu mehr Reibung führt.

18. 4c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

19. 5a) Welche Aussage ist richtig? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Reibung ist immer erwünscht
- ☐ Reibung ist immer unerwünscht (störend)
- ☐ Reibung ist je nach Situation erwünscht oder unerwünscht

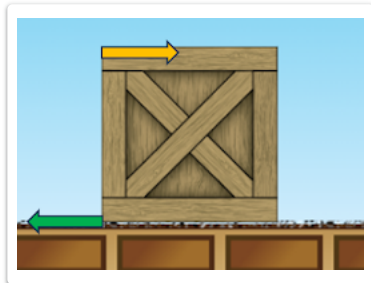
20. 5b) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählte Antwort stimmt? *

Markieren Sie nur ein Oval.

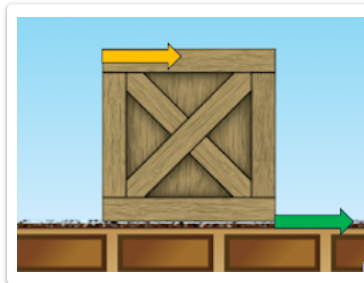
- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

21. 6a) Reibung wird durch Reibungskräfte dargestellt. Wir wollen eine Box verschieben und üben deshalb eine Kraft (oranger Pfeil) auf diese aus. In welchem Bild ist die Richtung der Reibungskraft (grüner Pfeil) korrekt dargestellt? *

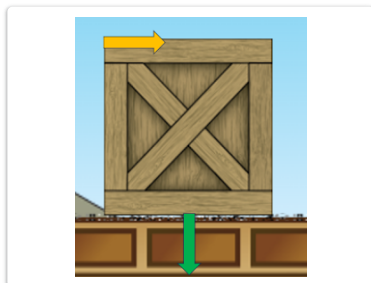
Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Option 1



☐ Option 2



☐ Option 3

22. 6b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Die Reibungskraft zeigt in die Bewegungsrichtung des Körpers.
- ☐ Die Reibungskraft zeigt entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Körpers.
- ☐ Da die Unterlage den Körper durch Reibung festhält, wird die Reibungskraft senkrecht zur Kontaktfläche der beiden reibenden Körper eingezeichnet.

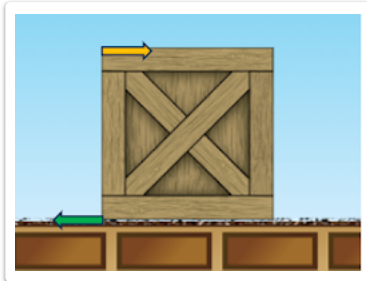
23. 6c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

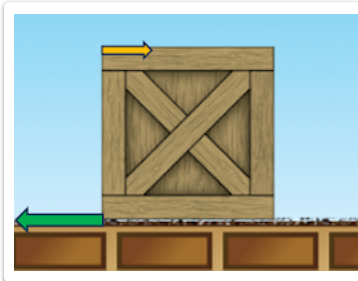
- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

24. 7a) Wir wollen eine Box verschieben und üben deshalb eine Kraft (oranger Pfeil) auf diese aus. Welche Aussage über die Haftreibungskraft (grüner Pfeil) ist richtig? *

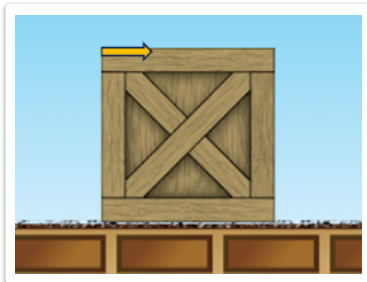
Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Wird auf den Kasten eine Kraft ausgeübt, so entsteht eine dazu gleich große Haftreibungskraft. Wenn die auf den Kasten ausgeübte Kraft erhöht wird, steigt die Haftreibungskraft gleichermaßen mit an, bis die Haftreibungskraft ihren größten Wert erreicht hat.



☐ Wird auf den Kasten eine Kraft ausgeübt, so wirkt sofort die maximale Haftreibung.



☐ Wird auf den Kasten eine Kraft ausgeübt, so wirkt im Allgemeinen keine Haftreibung.

25. 7b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Da keine Haftreibung wirkt, beginnt sich der Kasten sofort zu bewegen, wenn wir auf diesen eine Kraft ausüben.
- ☐ Der Kasten möchte seinen aktuellen Bewegungszustand beibehalten (Trägheitsprinzip) und widersetzt sich der Bewegung deshalb sofort mit der maximalen Haftreibung.
- ☐ Wie das 3. Newton' sche Axiom besagt, wirkt auf den Kasten eine gleich große Haftreibungskraft, wie die von uns auf den Kasten ausgeübte Kraft. Erst wenn wir eine höhere Kraft auf den Kasten ausüben als wie die maximale Haftreibungskraft, dann beginnt sich der Kasten zu bewegen.

26. 7c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ sehr sicher

☐ sicher

☐ weniger sicher

☐ überhaupt nicht sicher

B.4. Posttest

Nachtest - Reibung im Physikunterricht

* Gibt eine erforderliche Frage an

1. Mein persönlicher Code *
- (z.B. Lukas Müller, Geburtsdatum: 04.11.2009;
hat den Code LM0411)

2. Meine Klasse (z.B. 3c) *

3. Mein Geschlecht *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Männlich

☐ Weiblich

☐ Divers

4. Wie interessant findest du die Themen im Physikunterricht? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ sehr interessant

☐ interessant

☐ weniger interessant

☐ überhaupt nicht interessant

5. Meine Physiknote im letzten Jahreszeugnis *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Sehr Gut (1)

☐ Gut (2)

☐ Befriedigend (3)

☐ Genügend (4)

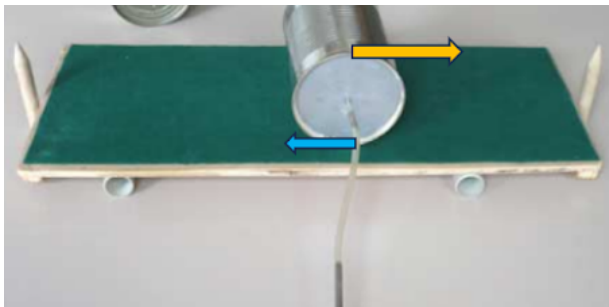
☐ Nicht Genügend (5)

6. Wie hoch schätzt du dein Verständnis der physikalischen Konzepte ein? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr hoch
☐ hoch
☐ niedrig
☐ sehr niedrig

7. 1a) Wir lassen einen Zylinder (Dose) auf einem Rollwagen abrollen, indem wir eine Kraft (oranger Pfeil) auf die Dose ausüben. Die Rollreibungskraft ist durch den blauen Pfeil dargestellt. An beiden Enden des Rollwagens ist je ein Stift senkrecht positioniert. Was passiert mit den beiden Stiften sofort nach Beginn des Abrollens des Zylinders?



Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Der rechte Stift fällt um (der andere bleibt stehen)
☐ Der linke Stift fällt um (der andere bleibt stehen)
☐ Keiner der beiden Stifte fällt um (beide bleiben stehen)

8. 1b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Beide Stifte bleiben stehen, denn Reibungskräfte wirken immer nur auf den oberen Körper, also hier den Zylinder. Der Rollwagen bewegt sich also nicht.
☐ Reibungskräfte wirken immer auf beide, sich berührende, Körper. Der Zylinder stößt sich (durch Reibung) am Rollwagen ab, wodurch sich der Rollwagen nach links bewegt.
☐ Reibungskräfte wirken immer auf beide, sich berührende, Körper. Die Unebenheiten in der Oberfläche des Zylinders und des Rollwagens verhaken sich, wodurch sich der Rollwagen mit dem Zylinder nach rechts mitbewegt.

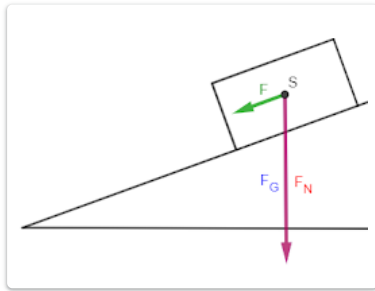
9. 1c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

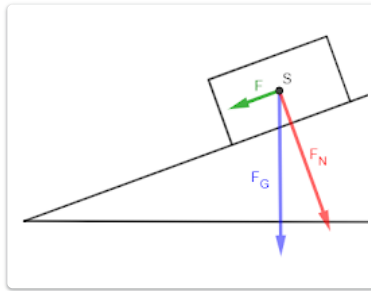
- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

10. 2a) Ein Körper mit Schwerpunkt S rutscht (angenommen ohne Reibung) eine schiefe Ebene hinunter. *
 F_G ist die Gewichtskraft. F_N ist die Normalkraft. F ist die Hangabtriebskraft. In welchem Bild ist die Richtung von F_N richtig dargestellt?

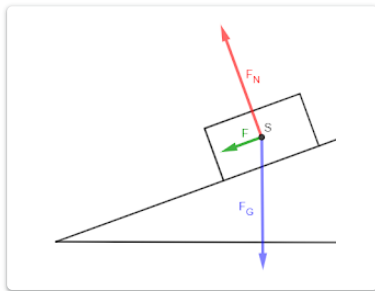
Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Option 1



☐ Option 2



☐ Option 3

11. 2b) Erklärung für die gewählte Richtung von F_N *

Markieren Sie nur ein Oval.

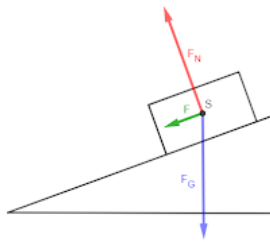
- ☐ Da F_G größer ist als F_N und sich die stärkste Kraft durchsetzt, wirkt auf den Körper nur F_G , die den Körper nach unten zieht. Da die Ebene nach links weghängt, kann sich der Körper nur in Richtung von F bewegen.
- ☐ Wird F_N so wie in Option 3 eingezeichnet, dann ergibt die Summe der Kräfte F_G und F_N die Hangabtriebskraft F , wodurch der Körper die schiefe Ebene hinunterrutscht.
- ☐ F_N und F_G zeigen in dieselbe Richtung. Da die schiefe Ebene nach links weghängt, kann der Körper sich nur entlang der Hangabtriebskraft F bewegen.

12. 2c) Wie sicher bist du, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher

13. 3a) Ein Körper mit Schwerpunkt S rutscht (angenommen ohne Reibung) eine schiefe Ebene hinunter. *
 F_G ist die Gewichtskraft. F_N ist die Normalkraft. F ist die Hangabtriebskraft. Welche Aussage über den Betrag (Stärke) von F_N ist richtig?

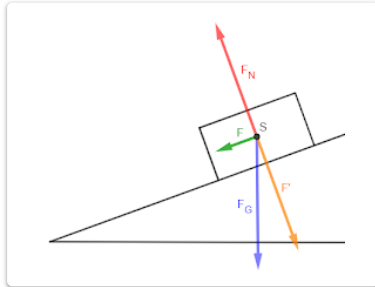


Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ F_G ist gleich F_N
- ☐ F_G ist größer als F_N

14. 3b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Der Betrag von F_G ist größer als der von F_N . Da sich F_G in die Komponenten F und F' aufspalten lässt und sich folglich F' und F_N kompensieren (gleich groß und entgegengesetzt gerichtet), wirkt nur F auf den Körper.

☐ Der Betrag von F_G und F_N ist immer gleich groß. Sowohl bei Bewegung eines Körpers auf einer waagrechten Fläche als auch entlang einer schiefen Ebene.

☐ Der Betrag von F_G ist größer als der von F_N . Wirken mehrerer Kräfte auf einen Körper, so setzt sich die stärkste Kraft durch, also hier F_G . Da die schiefe Ebene nach links weghängt, kann sich der Körper nur in die Richtung der Hangabtriebskraft F bewegen.

15. 3c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

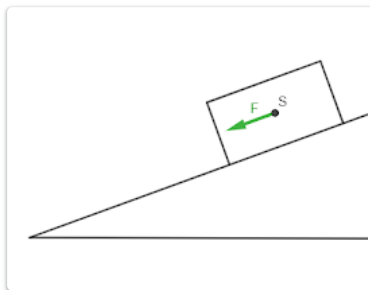
16. 4a) Ein Körper mit Schwerpunkt S rutscht (angenommen ohne Reibung) eine schiefe Ebene hinunter. Ist die folgende Aussage richtig? *
 "Ein Körper rutscht eine schiefe Ebene hinunter, weil auf ihn nur die Hangabtriebskraft F wirkt"

Markieren Sie nur ein Oval.

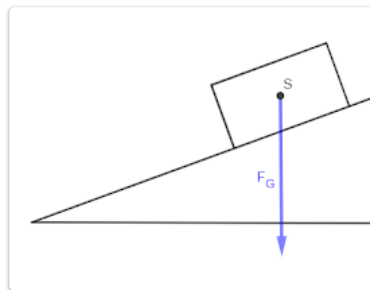
- ☐ Ja, die Aussage stimmt.
☐ Nein, die Aussage ist falsch.

17. 4b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

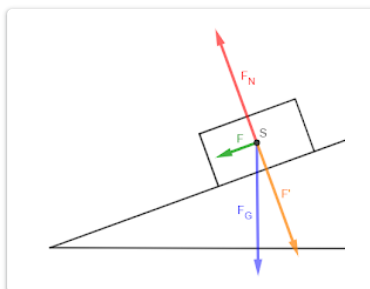
Markieren Sie nur ein Oval.



- ☐ Die Aussage ist richtig, denn auf einer schiefen Ebene wirkt nur die Hangabtriebskraft F auf den Körper. Durch diese gleitet der Körper die schiefe Ebene hinunter.



- ☐ Die Aussage ist falsch, es wirkt nur die Gewichtskraft F_G auf den Körper. Da die schiefe Ebene nach links weghängt kann der Körper nur nach links unten rutschen.



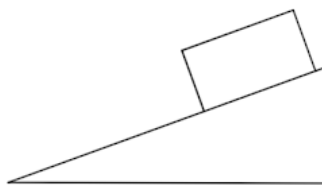
- ☐ Die Aussage ist falsch. Es wirkt die Gewichtskraft F_G auf den Körper. Diese lässt sich in die Komponenten F und F' zerlegen. Da sich die Normalkraft F_N und F' kompensieren, wirkt schlussendlich nur die Hangabtriebskraft F auf den Körper.

18. 4c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

19. 5a) Ein Körper ruht auf der schiefen Ebene. Welche Aussage ist richtig? *

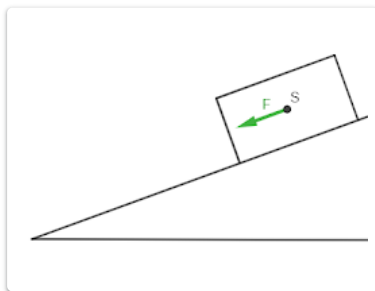


Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Es tritt Haftreibung auf
☐ Es tritt keine Reibung auf

20. 5b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Es tritt Haftreibung auf. Die Hangabtriebskraft F ist die Summe aller auf den Körper wirkenden Kräfte und diese verursacht eine dazu gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete, Haftreibungskraft.

☐ Es tritt keine Reibung auf, da der Körper auf der schiefen Ebene ruht. Reibung tritt erst dann auf, wenn sich der Körper bewegt (die schiefe Ebene hinunterrutscht).

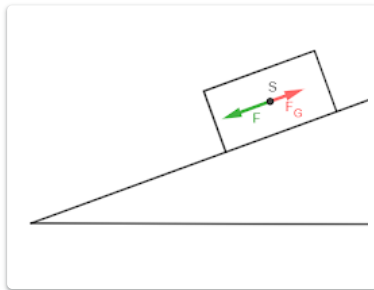
21. 5c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

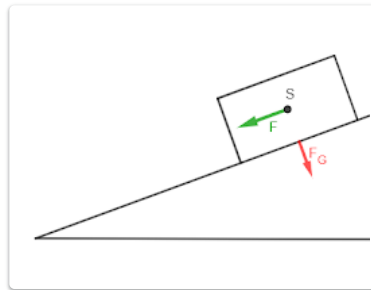
- ☐ sehr sicher
☐ sicher
☐ weniger sicher
☐ überhaupt nicht sicher

22. 6a) Ein Körper mit Schwerpunkt S rutscht eine schiefe Ebene hinunter. F ist die Hangabtriebskraft. In welchem Bild ist die Gleitreibungskraft F_G richtig dargestellt? *

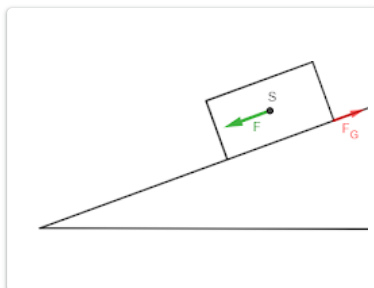
Markieren Sie nur ein Oval.



☐ Option 1



☐ Option 2



☐ Option 3

23. 6b) Erklärung für deine gewählte Antwort *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Da die Unterlage den Körper durch Reibung bremst, wird die Reibungskraft senkrecht zur Kontaktfläche der beiden reibenden Körper eingezeichnet.
- ☐ Reibungskräfte wirken immer entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung. Reibungskräfte werden an der Kontaktfläche der beiden Körper eingezeichnet, also dort wo sie wirken.
- ☐ Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an, nach dem 3. Newton'schen Axiom.

24. 6c) Wie sicher bist du dir, dass deine gewählten Antworten stimmen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ weniger sicher
- ☐ überhaupt nicht sicher