

## Fehlvorstellungen bei Studienanfängern: Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I?

Bärbel Fromme

Universität Bielefeld, Fakultät für Physik, Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld  
bfromme@physik.uni-bielefeld.de

### Kurzfassung

Wir haben 181 Studienanfänger<sup>1</sup> der Fächer Physik und Sachunterricht zu einfachen physikalischen Sachverhalten befragt. Die Untersuchung zeigt, dass viele Vorstellungen, die für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I bekannt sind, über die Schulzeit hinaus persistieren. Es lässt sich zu meist eine deutliche Abhängigkeit von der schulischen Vorbildung bzw. dem Interesse an physikalisch-naturwissenschaftlichen Themen ablesen. Es zeigt sich deutlich, dass an der Hochschule nachjustiert werden muss. Insbesondere muss verhindert werden, dass nicht-aufgearbeitete Fehlvorstellungen der angehenden Lehrerinnen und Lehrer noch den späteren Unterricht beeinflussen und so weiter tradiert werden.

### 1. Intention

Präkonzepte und Fehlvorstellungen zu unterschiedlichen physikalischen Themen sind bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I und der Primarstufe im Laufe der letzten Jahrzehnte vielfältig untersucht worden (Zusammenfassungen finden sich z. B. in [1] - [3]). Auch im internationalen Kontext wurden Studien durchgeführt (siehe z. B. [4] und [5]). Es ist bekannt, dass viele dieser Vorstellungen, die oft durch Alltagsvorstellungen und allgemeinen Sprachgebrauch hervorgerufen werden, durch Unterricht nicht oder nur kurzfristig geändert werden (siehe z. B. [6], [7]), so dass die alten, im Alltag bewährten und nicht hinterfragten Denkmuster langfristig bestehen können. Wir haben nun untersucht, in wie weit Präkonzepte/Fehlvorstellungen, die für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I typisch sind, auch noch bei Studienanfängern der Fächer Physik und Sachunterricht vorliegen.

Angeregt wurde die Untersuchung durch eine Beobachtung in unseren Didaktik-Lehrveranstaltungen: Hier werden sowohl mit Studierenden des Faches Physik (Lehramt Gymnasium/Gesamtschule und Lehramt Haupt-, Real-, Sekundar- und Gesamtschule) als auch mit Studierenden des Faches Sachunterricht typische Schülervorstellungen sowie der unterrichtliche Umgang damit besprochen. Dabei zeigt sich regelmäßig, dass diese Studierenden, die i. a. bereits am Ende ihres Bachelorstudiums stehen, selbst noch immer viele der für Schülerinnen und Schüler dokumentierten Fehlvorstellungen haben.

Auch während des Studiums werden diese Vorstellungen also nicht durch physikalisch korrekte ersetzt.

Wir haben nun alle Studienanfänger (nicht nur des Lehramts) befragt, um aus den Ergebnissen Hinweise zu gewinnen, welchen aus der Schule noch vorhandenen Fehlvorstellungen im Studium gezielt entgegengewirkt werden muss.

### 2. Befragte Gruppen

An der Befragung teilgenommen haben insgesamt 181 Studierende der Universität Bielefeld, davon 85 in der Vorlesung „Einführung in die Physik I“ und 96 in der Ringvorlesung „Natur- und Gesellschaftswissenschaften im Sachunterricht“. Bei beiden Veranstaltungen handelt es sich um die Einführungsveranstaltungen für Studienanfänger. Die Befragung fand in den ersten Wochen des Wintersemesters 2017/18 zu Beginn einer Vorlesung statt.

Zwischen den beiden befragten Gruppen gibt es gravierende Unterschiede – sowohl, was die schulische Vorbildung als auch das Interesse an Physik betrifft: Die Veranstaltung „Einführung in die Physik I“ wendet sich an die fachwissenschaftlichen Bachelorstudierenden des Faches Physik und die Studierenden des Lehramts mit Fach Physik (Lehramt Gymnasium/Gesamtschule und Lehramt Haupt-, Real-, Sekundar- und Gesamtschule). Dazu kommen einige Studierende aus anderen fachwissenschaftlichen Studiengängen (häufig MINT-Fächer), die Physik als Nebenfach gewählt haben. Die Vorlesung wird also von Studierenden besucht, die Physik freiwillig als Studienfach gewählt haben und bei denen deshalb ein

---

<sup>1</sup> Auf die Formulierung „StudienanfängerInnen“ o. ä wurde aus Gründen der besseren Lesbarkeit im gesamten Text verzichtet. Gemeint sind mit „Studienanfängern“ jeweils solche aller Geschlechter. Nach Geschlecht wurde in unserer Untersuchung nicht differenziert.

hohes Interesse an physikalischen und naturwissenschaftlichen Themen vorausgesetzt werden kann. Das zeigt sich auch in der schulischen Vorbildung: In dieser Gruppe haben knapp 83% derjenigen, die Angaben zu ihrer Vorbildung machen (81; 4 von 85 machen keine Angaben) das Fach Physik in der Schule als Grund- oder Leistungskurs in der Sekundarstufe II gewählt (Leistungskurs 41, Grundkurs 26). 14 hatten Physikunterricht nur in der Sekundarstufe I.

Im Sachunterricht sieht es ganz anders aus. Ein nicht unerheblicher Teil der Studierenden dieses Faches hat wenig Interesse an Physik. Viele nehmen nur gezwungenermaßen an den Pflichtveranstaltungen mit physikalischen/physikdidaktischen Inhalten teil. Eine Spezialisierung in Richtung Physik wird nur von Einzelnen gewählt. Die Mehrzahl studiert Sachunterricht zudem nicht als (vertieftes) Schwerpunktfach. Das liegt an der großen Anzahl von Studierenden der Sonderpädagogik, die an der Universität Bielefeld Bildungswissenschaften als Schwerpunktfach wählen müssen. Die geringe „Physikaffinität“ zeigt sich auch in der schulischen Vorbildung: Nur 17 der Sachunterrichtsstudierenden wählten Physik in der Sekundarstufe II (alle als Grundkurs); einen Leistungskurs absolvierte niemand. 69 wählten das Fach Physik nach der Sekundarstufe I ab. 10 sind nicht zuzuordnen. Hier haben also nur knapp 20% der Studierenden, die Angaben zur schulischen Ausbildung machen, am Physikunterricht der Sekundarstufe II teilgenommen.

Die Befragung erlaubt es, nach der schulischen Vorbildung der Gesamtheit der Teilnehmer (Summe aus Physik- und Sachunterrichtsstudierenden) zu differenzieren. Die Ergebnisse dieser Differenzierung müssen allerdings mit Vorsicht gedeutet werden, da nicht nur die schulische Vorbildung sondern auch das Interesse an Physik beim Testergebnis eine Rolle spielen kann: Aus Äußerungen vieler unserer Physikstudierenden wissen wir, dass nur darum ein Grundkurs absolviert wurde, weil an der besuchten Schule kein Leistungskurs zustande kam. Der Grundkurs wurde also durchaus im Hinblick auf ein nachfolgendes Physikstudium besucht. Die Grundkursabsolventen im Bereich Sachunterricht haben diesen Kurs jedoch offensichtlich nicht mit dem Ziel Physikstudium besucht. Interesse an physikalischen Themen kann bei den Sachunterrichts-Grundkursabsolventen also u. U. nicht in dem Maße als gegeben angenommen werden, wie bei den Physikstudierenden mit Grundkursvorbildung. Innerhalb der beiden Studierendengruppen (Physik oder Sachunterricht) ist eine Differenzierung nach Grundkursabsolventen und solchen, die nur am Physikunterricht der Sekundarstufe I teilgenommen haben, auf Grund der nur kleinen Zahlen (s. o.) jedoch nicht sinnvoll.

### 3. Befragung und Ergebnisse

Der Fragebogen für die Studierenden beinhaltete 10 Fragen, 4 davon zur Elektrizität, 3 zur Optik und jeweils eine zu Schwimmen und Sinken, Temperatur

und Wärme und zur physikalisch-naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung (Entstehung der Jahreszeiten). Außerdem sollten Angaben zur schulischen Vorbildung gemacht werden. Bei 6 der 10 Fragen sollte die Antwort begründet werden.

#### 3.1 Elektrizität

Hier ging es bei der Befragung um die Stromverbrauchsvorstellung, die Vorstellung „elektrischer Strom = Energie“ sowie Fragen zu einfachen Stromkreisen. Bei der Reihenschaltung wurde gezielt nach Helligkeitsunterschieden von fünf gleichen Lampen gefragt, um Korrelationen zur Stromverbrauchsvorstellung aufzudecken. Die Fragen waren nicht direkt hintereinander angeordnet, sondern durch Fragen zu anderen Themen unterbrochen, um so eventuell auch auf die Festigung/Vernetzung des physikalischen Wissens schließen zu können.

##### 3.1.1 Anschluss eines Lämpchens an eine Batterie

Insbesondere im Hinblick auf die Sachunterrichtsstudierenden wurden zum Thema Elektrizität zunächst Fragen nach dem Anschluss eines Lämpchens an eine Batterie gestellt, die ursprünglich für Grundschulkin- der entwickelt wurden [3]. Es wurden vier Abbildungen mit einem durch zwei Kabel an eine Batterie angeschlossenem Lämpchen vorgelegt ([3], S. 14) und nachgefragt, in welchem der dargestellten Fälle das Lämpchen leuchtet und in welchem nicht. Die Antworten sollten begründet werden. Dargestellt war 1. ein Kurzschluss, bei dem die beiden Pole der Batterie mit nur einem Kontakt des Lämpchens verbunden sind, 2. korrekter Stromkreis von Batterie und Lämpchen, 3. Stromkreis mit Unterbrechung eines Kabels und 4. korrekter Anschluss des Lämpchens mit Kreuzung der Kabel.

Die Fragen zum einfachen Stromkreis sind jedoch auch mit Blick auf unsere Physik-Studienanfänger interessant, denn eine Untersuchung bei Teilnehmern von Physik-Einführungskursen der University of Washington mit ähnlicher Fragestellung (hier sollte mit vorgegebenen Komponenten Batterie, Lämpchen, Draht ein funktionierender Stromkreis gezeichnet werden) zeigte, dass nur etwa 70% der Befragten eine physikalisch korrekte Vorstellung vom Stromkreis hatten [8].

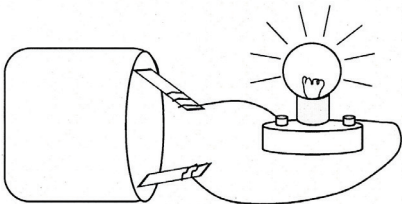
Erfreulicherweise wird unsere Aufgabenstellung von über 90% aller befragten Studierenden richtig beantwortet (91% beim Sachunterricht, 92% beim Fach Physik). Die meisten der falschen Antworten betreffen den Anschluss des Lämpchens mit der Kreuzung der Kabel. Die wenigen, die ihre falsche Entscheidung begründen, begründen hier im weitesten Sinne über einen falschen Anschluss/falsche Polung: „Im vierten Fall sind die Drähte ineinander verdreht und falsch herum an die Kontakte angebracht, weshalb der Stromkreislauf gestört wird“ – eine Argumentation die sich auch bei Grundschulkindern findet [3]. Oder: „Im vierten Fall leuchtet die Birne nicht, da die

Pole nicht aufeinander passen“. Beide Argumentationen fanden sich bei den Anfängern im Studiengang Sachunterricht. Bei den Anfängern im Fach Physik findet man an dieser Stelle zum Beispiel die Formulierung: „Nur 2 leuchtet, da nur hier der Stromkreis geschlossen ist und Plus minus richtig gesteckt sind.“ Oder: „Leuchtet bei 2.), da der Stromkreis nicht unterbrochen ist und die richtigen Pole verbunden sind.“ Hier wird zwar nicht über die „Verdrehung der Kabel“ oder das „Aufeinanderpassen der Pole“ argumentiert, allerdings wird die Polung als wichtig angesehen und dabei gleichzeitig vorausgesetzt, dass die Polung ohne die Verdrehung der Kabel die richtige sei. Zwei der Physikstudierenden erkennen den Kurzschluss im Fall 1 nicht und meinen, dass das Lämpchen leuchtet, da ein geschlossener Stromkreis vorliegt. Bei den Sachunterrichtsstudierenden ist sich eine(r) an dieser Stelle unsicher. Drei Studierende (zwei Sachunterricht, ein Physik) negieren das Leuchten der Birne im korrekten Fall 2, eine(r) (Fach Physik) bejaht das Leuchten beim Stromkreis mit Unterbrechung (3.) – die Begründungen sind jeweils nicht verständlich bzw. fehlen.

### 3.1.2 Stromverbrauchsvorstellung

Die Fragestellung zum Stromverbrauch ist in Abb. 1 dargestellt.

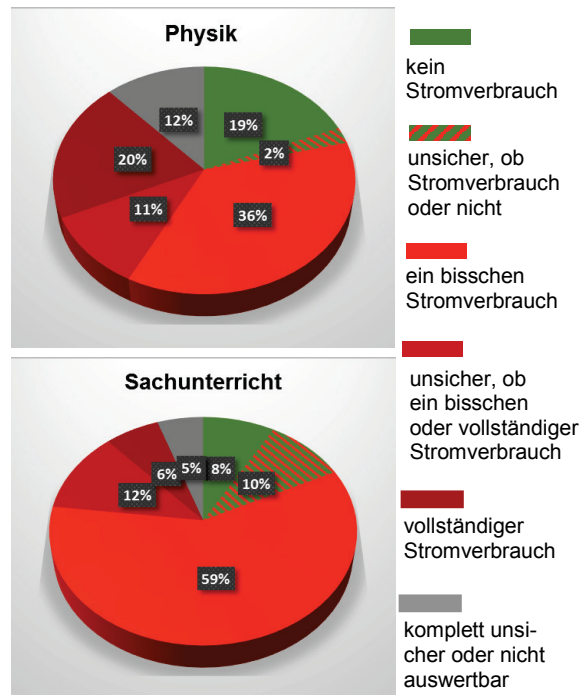
Sie sehen hier ein Lämpchen, das an eine Batterie angeschlossen ist. Das Lämpchen leuchtet. Kreuzen Sie an:



	stimmt	falsch	weiß nicht
1. Die Lampe verbraucht den elektrischen Strom vollständig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Die Lampe verbraucht den elektrischen Strom ein bisschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Der elektrische Strom kommt völlig unverbraucht von der Lampe zur Batterie zurück.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Abb. 1:** Fragestellung zur Stromverbrauchsvorstellung (nach [4])

Hier zeigen ca. 77% der Studienanfänger des Sachunterrichts und ca. 67% des Faches Physik eindeutige Stromverbrauchsvorstellungen (rot in Abb. 2). Kompletzt richtig beantworteten die Frage nur 8% der Sachunterrichtsanfänger und 19% der Physikanfänger. Das sind deutlich weniger als in der Literatur 1986 für eine nachunterrichtliche Untersuchung von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I gefunden wurde: Hier antworteten immerhin 26% richtig [4].



**Abb. 2:** Ergebnisse Stromverbrauchsvorstellung

Bei drei der Studierenden (davon zwei Studienanfänger des Faches Physik mit Grundkursvorbildung) lässt sich explizit vermuten, dass sie die auch für Schülerinnen und Schüler dokumentierte Vorstellung haben, der Strom sei in der Batterie gespeichert (siehe z. B. [2], [4], [7]). Sie kreuzen sowohl teilweisen als auch vollständigen Verbrauch als richtig an und schreiben dazu, dass es von der Dauer des Betriebs abhängt (z. B.: „kommt auf die Zeit an, sie verbraucht nicht alles sofort“). Die Vorstellung scheint hier also zu sein: Beim Betrieb der Glühlampe wird der Strom nach und nach verbraucht, bis die Batterie leer ist.

### 3.1.3 Identität von Strom und Energie?

Die Frage, ob Strom gleich Energie sei, bejahen 49% der Physikanfänger und 80% der Sachunterrichtsanfänger (Abb. 3a, b). Bei vielen besteht Unsicherheit. Es ist eine deutliche Tendenz feststellbar: Je besser die schulische Vorbildung, desto höher ist der Anteil richtiger Antworten (Abb. 3c). 1986 befragte Schülerinnen und Schüler bejahten die Frage zu 78%, 17% antworteten damals mit nein [4].

Die überwiegende Mehrheit der hier falsch antwortenden Studierenden zeigt, dass keine Verbindung zum Energieerhaltungssatz hergestellt wird: 30 der 38 mit „Strom ist Energie“ antwortenden Physikanfänger (davon 17 mit Leistungskursvorbildung, 8 Grundkurs) bejahen in der Aufgabenstellung der Abb. 1 den Stromverbrauch, damit also de facto den „Energieverbrauch“. Die fehlende Denkverbindung ist sicher teilweise forciert durch die räumliche – und damit in der Beantwortung auch zeitliche – Trennung der beiden Aufgaben, zeigt aber auch, dass das Wissen hier nicht

gefestigt ist. Bei den Sachunterrichtsstudienanfängern bejaht ein ähnlich hoher Prozentsatz der mit Strom = Energie Antwortenden den Strom- und damit also Energieverbrauch in der Aufgabe der Abb. 1 (53 von 69, davon 8 mit Grundkursvorbildung).

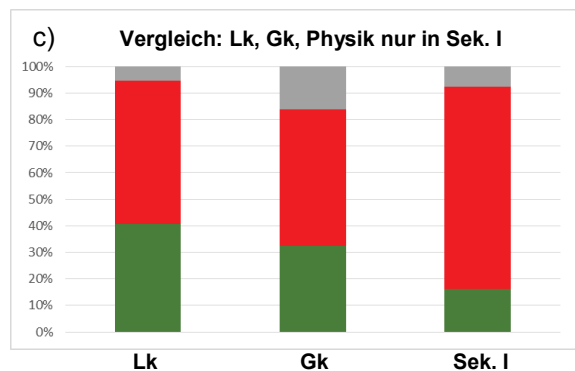
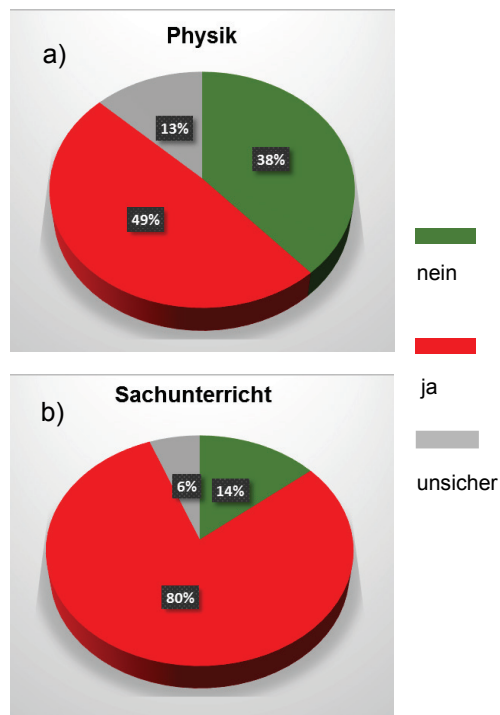


Abb. 3: Identität von Strom und Energie

3.1.4 Reihenschaltung

Ebenfalls in Richtung Stromverbrauchsvorstellung zielte eine Aufgabe zur Helligkeit bei der Reihenschaltung von fünf gleichen Lämpchen. Gefragt wurde hier, ob die erste und letzte Lampe in der Reihe gleich oder unterschiedlich hell leuchten (Aufgabenstellung analog zu [4], jedoch sollte hier noch begründet werden). Man würde erwarten, dass Studierende mit Stromverbrauchsvorstellung eine unterschiedliche Helligkeit annehmen. Im Widerspruch zum hohen Anteil mit expliziten Verbrauchsvorstellungen (Abb. 2) kreuzen jedoch 72% der Studienanfänger Physik (69% der Leistungskursabsolventen) und 82% der Studienanfänger Sachunterricht hier richtig „gleiche Helligkeit“ an (Abb. 4). Ein ähnliches Ergebnis

ist für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I dokumentiert (79% richtig angekreuzt [4]).

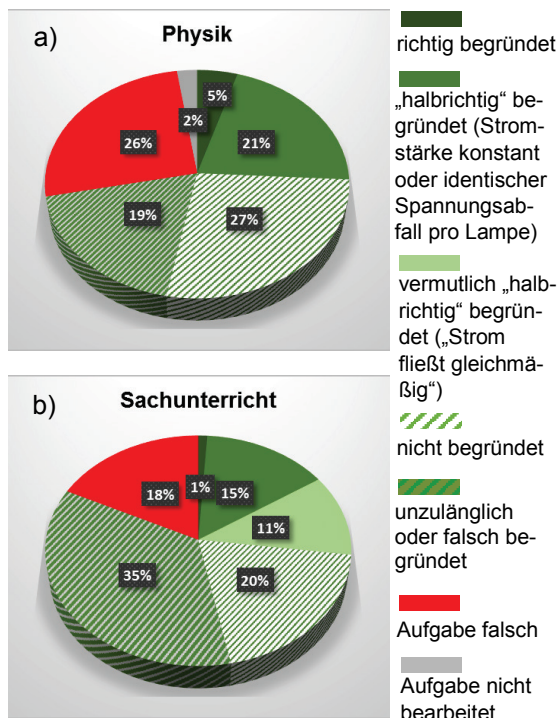


Abb. 4: Ergebnis Reihenschaltung. Richtige Ankreuzungen (grün) aufgeschlüsselt nach Begründungen.

Bei den Studierenden, die falsch ankreuzen und eine unterschiedliche Helligkeit der Lampen in der Reihenschaltung annehmen (rot in Abb. 4), ist der Anteil derjenigen, für die in 3.1.2 Stromverbrauchsvorstellungen festgestellt wurden, etwas höher als bei den richtig ankreuzenden. Diese Studierenden geben „Stromverbrauch“ auch sehr häufig explizit als Begründung für die Annahme der unterschiedlichen Helligkeit an. Bei den richtig Ankreuzenden ist das Bemerkens eines Konflikts zwischen dem Wissen von der gleichen Helligkeit der Lampen und der in 3.1.2 gezeigten Überzeugung vom Stromverbrauch in den Begründungen zumeist nicht erkennbar: Nur drei dieser Studierenden versuchen die konkurrierenden Vorstellungen ansatzweise in Einklang zu bringen. Sie geben als Begründung für gleiche Helligkeit der Lampen in der Reihenschaltung an: „Weil es bei der Reihenschaltung wie bei den anderen Stromkreisläufen nur einen geringen Stromverlust gibt.“, „Der Strom fließt gleichmäßig (in gleicher Stärke) durch den Kreislauf. Er wird nicht ganz von Lampe 1 - 4 verbraucht.“ und „Stromstärke (+Verbrauch) sind gleich groß, egal an welcher Stelle man messen würde.“

Sieht man von den Verbrauchsvorstellungen ab, scheint der hohe Prozentsatz richtiger Ankreuzungen auf gute Kenntnisse der Gesetzmäßigkeiten der Reihenschaltung hinzudeuten. Die Begründungen zeichnen jedoch ein ganz anderes Bild. Hier zeigt es sich, dass deutlich weniger als 30% den Sachverhalt einigermaßen richtig verstanden haben und dieses durch

eine richtige Begründung belegen können (Abb. 4). Bei den Anfängern im Fach Physik begründen 26% komplett richtig (über identische elektrische Energie oder Leistung bzw. konstante Stromstärke und identischen Spannungsabfall an jeder Lampe) oder halbwegs richtig (konstante Stromstärke *oder* gleicher Spannungsabfall pro Lampe). Bei den Leistungskursabsolventen begründen sogar nur etwa 20% einigermaßen richtig. Bei den Studienanfängern im Sachunterricht begründen 16% halbwegs richtig. Weitere 11% (hellstes grün in Abb. 4b) sind vermutlich noch dazu zu zählen. Diese Studierenden sprechen davon, dass der Strom „gleichmäßig fließt“ – was man wohlwollend als „mit konstanter Stromstärke“ werten kann.

Ein hoher Anteil von Studierenden gibt keine Begründung an. Sehr viele begründen unzulänglich oder wenig aussagekräftig. Beispielweise: „Reihenschaltung“, „Alle Lämpchen leuchten gleich hell“, „Der Gesamtwiderstand zählt“, „Da alle Lampen gleich angeschlossen sind“ oder „Bei einer Lichterkette leuchten alle Birnen gleich hell“. Hier wird offensichtlich aus der Erfahrung oder unterrichtlichem Vorwissen begründet, ohne dass ersichtlich ist, ob der Sachverhalt verstanden wurde. Bei einigen der Sachunterrichtsanfänger fanden sich auch Formulierungen in der Art: „Der Strom wird von Lampe zu Lampe weitergeleitet“. Diese Argumentation fand sich bei den Physikanfängern so nicht.

Einige Studierende zeigen durch ihre Begründungen, dass neben Stromverbrauchsvorstellung und „Strom ist in der Batterie gespeichert“ weitere Vorstellungen, die für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I dokumentiert sind ([2], [4], [7]), bis zum Studienanfang erhalten bleiben. Das ist zum Beispiel die Vorstellung von der Konstanz der Spannung im Stromkreis. In unserer Befragung fanden sich Begründungen wie: „Wird die Spannung durch Batterie hergestellt, müsste die Spannung innerhalb des Stromkreises gleich sein.“ oder „In der Reihenschaltung ist die Spannung konstant, nur die Stromstärke ist variabel.“ Auch die Schülervorstellung, dass jede Lampe entscheidet, „wie viel Strom sie nimmt“, fand sich bei den Begründungen der Studierenden: „Die Lampen „ziehen“ so viel Strom wie sie benötigen“. Ebenso die Vorstellung, dass Spannung eine Eigenschaft des Stroms ist: „Durch die Reihenschaltung der Lampen verringert sich die Spannung des fließenden Stroms für jede einzelne Lampe.“ Auch die Schülervorstellung: Strom fließt aus einem Pol der Batterie heraus und durchläuft nacheinander die Komponenten eines Stromkreises, wobei ein Unterschied im Strom beim Ein- und Austritt in ein Bauelement besteht („sequentielle Argumentation“) fand sich bei einigen Studierenden. Beispiele: „Strom fließt vom Pluspol zum Minuspol. Da Lampen Stromverbraucher sind kommt auf der anderen Seite nicht so viel Strom an, wie eingegangen ist“, „Bei einer Reihenschaltung verläuft der Strom von einem Pol zum anderen und durchläuft dabei alle Lampen, wo er nach und nach verbraucht

wird“ oder: „Der Strom fließt von + nach -, daher erreicht er erst 1 und später 5. Da alle Lampen Widerstände haben, ist der Strom schwächer bei 5 als bei 1.“

Bei einer ganzen Reihe der richtig ankreuzenden Studierenden - sowohl in Physik als auch im Sachunterricht - zeigen die Begründungen, dass auch unabhängig von der Stromverbrauchsvorstellung nicht von einer konstanten Stromstärke bei der Reihenschaltung ausgegangen wird, sondern der Strom auf die Lampen aufgeteilt wird. Hier finden sich Formulierungen der Art: „Der elektrische Strom wird gleichmäßig auf alle Lampen verteilt“.

Bei 6 der 96 Sachunterrichtsanfänger findet sich eine Argumentation über die Position der Lampen im Stromkreis bzw. Abstand zur Batterie, die bei den Studienanfängern in Physik nicht vorkommt. Formulierungsbeispiele: „Da beide Lampen ganz außen angeschlossen sind, leuchten sie gleich stark“, „Beide Lampen haben denselben Abstand zur Batterie“ oder „Weil beide direkt an der Stromquelle sitzen und nicht indirekt wie 2, 3, 4.“. Hinter diesen Formulierungen könnte die auch für Schülerinnen und Schüler dokumentierte Vorstellung von der „Zweikabelzuführung“, also die Zuführung von Strom durch beide Kabel von der Batterie stecken [3] – hier in Verbindung mit der Stromverbrauchsvorstellung.

### 3.1.5 Fazit zur Elektrizität

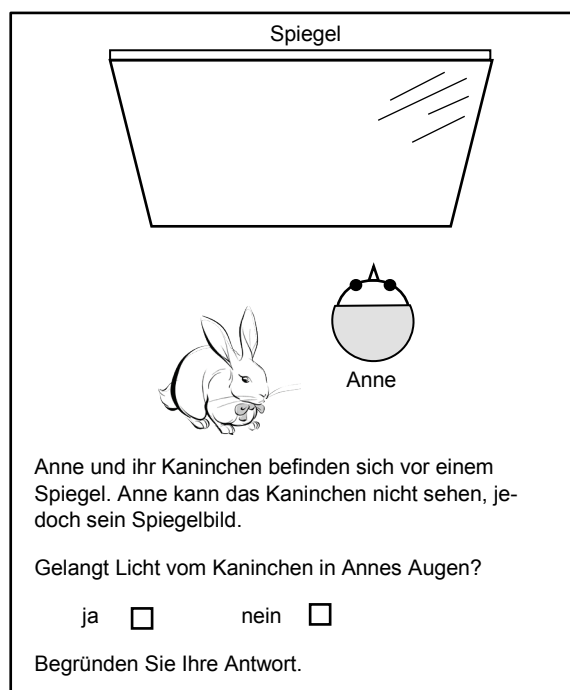
Die großen Unsicherheiten und Fehlvorstellungen, die sich in den hier gestellten Fragen zeigen, sind vermutlich teilweise auf den allgemeinen Sprachgebrauch zurückzuführen. Im Alltag werden beständig die Begriffe „Stromverbrauch“ oder „Energieverbrauch“ (zumeist synonym) benutzt. Im Alltag und auch im Unterricht ist im Zusammenhang mit Stromkreisen sehr häufig von „Verbrauchern“ die Rede: Das Wort sollte zumindest im Physikunterricht vermieden werden.

### 3.2 Optik

Es ist bekannt, dass Schülerinnen und Schüler Lernschwierigkeiten in Zusammenhang mit dem Spiegelbild haben, z. B. die Lage des Spiegelbildes betreffend. Vielen der Schülerinnen und Schüler ist nicht klar, dass von beleuchteten, nicht selbst-leuchtenden Gegenständen Licht ins Auge gelangt, wenn wir sie sehen. Insbesondere ist nicht klar, dass von solchen sekundären Lichtquellen Licht auch über einen Spiegel ins Auge gelangt [9], [10]. In der Vergangenheit haben wir immer wieder beobachtet, dass dieses auch vielen Studierenden - insbesondere den wenig physik-affinen - nicht klar ist, was vermutlich zu den ebenfalls von uns beobachteten Schwierigkeiten beim Verständnis der geometrischen Konstruktion des Spiegelbildes führt. Im Grunde kann auch die optische Abbildung eines nicht-selbstleuchtenden Gegenstandes - sei es mit Lochkamera, Linsen oder Hohlspiegel - und damit die Funktion von optischen Geräten vom Fotoapparat über Fernrohr und Mikroskop

bis hin zum Auge nicht verstanden werden, wenn die Äquivalenz von primären und sekundären Lichtquellen nicht klar ist (vgl. auch [10]). Auch bei der Konstruktion der optischen Abbildung haben wir immer wieder Schwierigkeiten bei Studierenden beobachtet, obwohl die Äquivalenz von sekundären und primären Lichtquellen sowie der Sehvorgang zu Beginn des Kurses erklärt wurde.

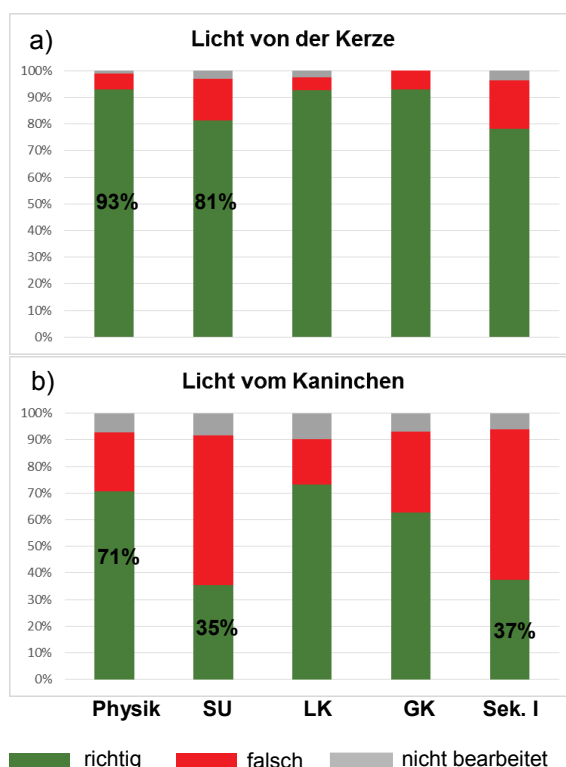
Im Rahmen unserer Untersuchung wurde analog zu einer Befragung von Schülerinnen und Schülern zunächst nachgefragt, ob Licht einer primären Lichtquelle (brennende Kerze, Aufgabe aus [9] bzw. [1] S. 81) über einen Spiegel ins Auge gelangt, wenn das Spiegelbild sichtbar ist. In einer weiteren Aufgabenstellung wurde (auf Anregung in [9]) die Kerze durch eine sekundäre Lichtquelle (Kaninchen, Abb. 5) ersetzt. Außerdem wurde nach dem Lichtweg beim Sehvorgang in einer dritten Aufgabe separat gefragt.



**Abb. 5:** Fragenbeispiel zur Optik. Bei der Fragestellung zur primären Lichtquelle befindet sich an der Stelle des Kaninchens eine brennende Kerze.

Wie auch für Schülerinnen und Schüler dokumentiert [9], wird die Frage für primäre Lichtquellen von den Studierenden in der Mehrzahl richtig beantwortet, wobei sich eine geringe Abhängigkeit von der schulischen Vorbildung bzw. vom Physikinteresse zeigt (Abb. 6a). Anders sieht die Sache für nicht-selbstleuchtende Gegenstände aus. Hier wird von Schülerinnen und Schülern - vor und auch nach Optikunterricht - in der Mehrzahl bestritten, dass Licht vom Gegenstand über den Spiegel ins Auge gelangt, wenn das Spiegelbild sichtbar ist [9]. Diese Aussage trifft auch für die Sachunterrichtsanfänger und die Gesamtheit der Studierenden, die Physikunterricht nur in der Sek. I hatten, zu (Abb. 6b): nur 35% (37%) antworten

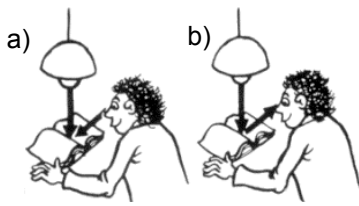
hier richtig. Bei den Physikanfängern hat der Anteil von richtig Antwortenden bei der sekundären Lichtquelle zwar auch deutlich abgenommen (von 93% bei der primären Lichtquelle auf 71%), bleibt aber deutlich über 50%. Insgesamt lässt sich bei den Antworten zur sekundären Lichtquelle eine deutliche Korrelation zur schulischen Vorbildung feststellen (Abb. 6b). Begründet wird die falsche Antwort bei der sekundären Lichtquelle in mehr als 50% der Fälle (11 von 19 der Studienanfänger in Physik und 35 von 54 beim Sachunterricht) explizit mit „Kaninchen leuchten nicht“ oder sinngemäß ähnlich. Das zeigt deutlich, dass hier keine Kenntnisse über sekundäre Lichtquellen vorhanden sind.



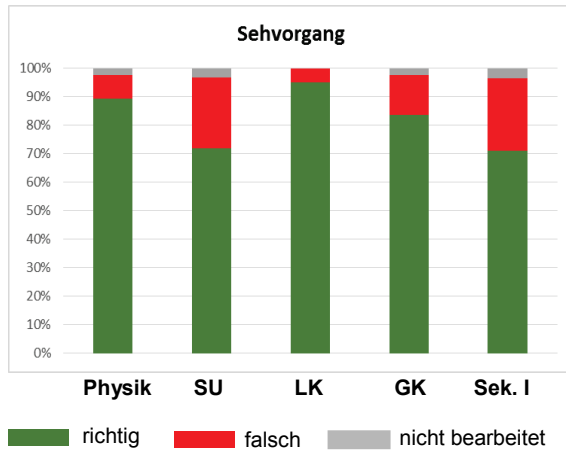
**Abb. 6:** Gelangt Licht von Kerze oder Kaninchen über den Spiegel ins Auge?

Die Mehrzahl derjenigen, die schon bei der primären Lichtquelle falsch antworten (rot in Abb. 6a), antwortet auch bei der Frage nach dem Licht vom Kaninchen falsch (4 von 7 bei den Physikanfängern, 14 von 18 beim Sachunterricht). Hier scheint Grundlegendes zu Reflexion und Spiegelbild nicht verstanden zu sein.

Nach dem Sehvorgang wurde in einer weiteren Aufgabe noch einmal explizit gefragt. Verwendet wurde hierzu eine Standarddarstellung ([11], ähnlich auch in [12], [13]). Eine relevante Auswahl der Abbildungen zeigt Abb. 7. Die Mehrzahl der Studierenden (89% der Physikanfänger, 72% der Sachunterrichtsanfänger, antworten hier richtig (Abb. 8). Viele begründen auch richtig mit der Reflexion oder Streuung des Lichtes am Buch (Abb. 7b). Auch hier ist ein deutlicher Zusammenhang mit der schulischen Vorbildung/Interesse an Physik zu erkennen.



**Abb. 7:** Wo ist der Sehvorgang richtig dargestellt? (Abbildung aus [14])



**Abb. 8:** Lichtweg beim Sehvorgang

Insgesamt antworteten 31 Studierende beim Sehvorgang falsch; 5 antworten nicht. Knapp 78% dieser Studierenden (28 von 36) haben auch konsequenterweise die Frage nach dem Licht bei der Spiegelung des Kaninchens (Abb. 5) falsch oder nicht beantwortet, 13 explizit mit „Kaninchen leuchten nicht“. Andererseits kreuzt der größte Teil derer, die bei der Spiegelung des Kaninchens falsch oder nicht antwortet (Abb. 6b), beim Sehvorgang richtig an (Physik: 18 von 25, Sachunterricht: 41 von 62). Die Begründungen sind aber nicht immer korrekt.

Von den 31 beim Sehvorgang falsch Antwortenden, meinen 27, dass die Darstellung der Abb. 7a richtig sei. Ähnlich wie für Schülerinnen und Schüler berichtet, assoziieren die Studierenden mit dieser Darstellung aber nicht die antike Vorstellung eines vom Auge ausgehenden „Sehstrahls“ (vgl. z. B. [15]), sondern eine aktive Beteiligung des Auges – oft in Zusammenhang mit der typischen Vorstellung „Licht liegt als Helligkeit auf dem Buch“ ([14], S. 2-3). Dieses zeigen die Begründungen: „Die Lampe erleuchtet Buch. Dadurch können wir das Buch erkennen.“, „Licht erhellt die Seiten, Blick ist auf die Seite gerichtet, Zusammenspiel.“ oder „da das Licht auf das Buch strahlt, kann er besser sehen.“, „der Mann blickt aufs Papier welches von oben beleuchtet wird“, „Dadurch, dass Licht auf das Buch fällt, können wir die Inhalte erkennen“. „Licht von oben, Augen auf das Buch gerichtet.“ und Ähnliches. Vier Studierende schließen in ihrer Begründung explizit aus, dass Licht vom Buch ins Auge reflektiert werden könne – drei davon

haben bei der Frage nach der Spiegelung des Kaninchens (Abb. 5) konsequenterweise mit „Kaninchen leuchten nicht“ geantwortet.

### 3.3 Weitere Fragen

#### 3.3.1 Wärme und Temperatur

Insbesondere für jüngere Schülerinnen und Schüler ist die Vorstellung „Ein Wollpullover hält mich warm, also gibt er Wärme ab“ dokumentiert. Die Erwartungen sind hier, dass ein Thermometer in einem auf dem Tisch liegenden Pullover eine höhere Temperatur als außerhalb anzeigt. Auch durch den gegenläufigen Ausgang des entsprechenden Experiments wird die tief verankerte Vorstellung von der warmen Wolle kaum ausgeräumt ([14] S. 3). Wir haben nun den Studienanfängern folgende Fragestellung vorgelegt:

Auf einer Metallplatte liegt ein Thermometer, das dort die Temperatur misst. Daneben liegt ein Wollpullover, in dem ebenfalls ein Thermometer steckt.

Das Thermometer im Pullover misst eine höhere Temperatur

ja  nein  bin ich mir unsicher

Am Metall wird die höhere Temperatur gemessen

ja  nein  bin ich mir unsicher

Begründen Sie Ihre Aussage.

Die Aufgabe wird von ca. 50% der Studienanfänger in Physik richtig beantwortet (Abb. 9a). 81% der richtig Antwortenden begründen auch richtig. 37% antworten falsch. Davon meint die Mehrzahl, dass im Pullover die höhere Temperatur gemessen wird. Bei den Studienanfängern im Sachunterricht antworten nur 19% richtig, richtige Begründungen liefern 67% davon. 57% beantworten die Aufgabe falsch (Abb. 9b). Auch bei dieser Fragestellung ist wieder eine deutliche Tendenz in Abhängigkeit von der schulischen Vorbildung sichtbar (Abb. 9c).

Bei den Studierenden, die meinen, dass im Pullover die höhere Temperatur gemessen wird, lassen sich bei den Begründungen teilweise bestimmte Begründungsschemata identifizieren:

1. „Wolle speichert Wärme, Wolle isoliert, Wärme staut sich im Pullover.“

So begründen rund 40% aller Studierenden, die meinen, dass im Pullover die höhere Temperatur gemessen wird (12 von 27 Studierenden des Faches Physik, 17 von 43 beim Sachunterricht). Die Begründungen enthalten durchaus Richtiges, wie z. B.: „Der Pullover wirkt isolierend, während das Metall die Wärme weggleitet“. Allerdings wird nicht erkannt, dass die betrachteten Gegenstände hier im thermischen Gleichgewicht sind, sondern über das Gefühl der „Wärmequelle Mensch“ im Pullover bzw. beim Anfassen der Metallplatte argumentiert. Ähnliches wird auch bei Schülerinnen und Schülern beobachtet ([14], S. 18).

2. „Wolle wärmt“, „Wolle ist Wärmequelle“, „Wolle ist warm – Metall ist kalt“

In dieser Art begründen 12 von 43 Studierenden im Sachunterricht, 1 von 27 im Fach Physik. Auch hier wird häufig über das Wärme- oder Kältegefühl argumentiert. Man liest hier beispielsweise: „Menschen werden durch einen Wollpullover gewärmt, eine Metallplatte wirkt dagegen kühl. Daher ist im Pullover eine höhere Temperatur“, „Wolle wärmt, Metall ist kalt“ oder „Metall ist grundsätzlich kalt“.

Manche Studierende bezeichnen die Wolle auch explizit als Wärmequelle und begründen beispielweise: „Der Pullover strahlt Wärme aus“. „Wolle wärmt das Thermometer. Bei Metall ist keine Wärmequelle“, oder: „Der Wollpullover fungiert als Aufheizer und isoliert sich von der Umwelt, daher baut er eine höhere Temperatur auf“.

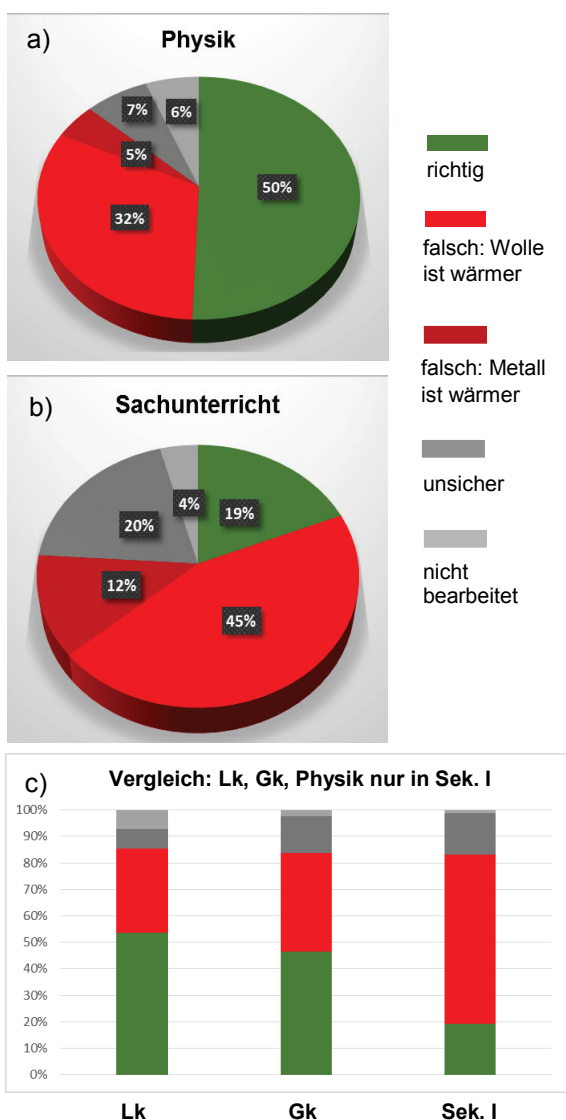


Abb. 9: „Wolle ist warm – Metall ist kalt“

Die restlichen Studierenden, die eine höhere Temperatur im Pullover vermuten, begründen nicht oder mit kaum nachzuvollziehenden Argumenten, wie z. B.: „Metall ist ein schlechter Wärmeleiter“, „Im Pullover herrscht eine eigene Temperatur ohne äußere Einflüsse“, „Kommt darauf an, ob Sonne vorhanden ist.“,

„Da Metall Wärme leitet, entzieht das Metall dem Thermometer Wärme“ oder „Wolle leitet elektrischen Strom“. Neben den Argumentationen über die Wärmeleitfähigkeit finden sich auch Begründungen über andere Materialeigenschaften wie Dichte oder Rauigkeit, beispielweise: „Die Metallplatte ist glatt, so dass Wärme schnell an die Umgebung abgegeben wird. Der Pullover ist rau, so dass die Wärme länger im Material bleibt.“

Insgesamt 16 Studierende nehmen an, dass die Metallplatte eine höhere Temperatur hat. Bei der Begründung argumentieren hier 6 über die gute Wärmeleitfähigkeit von Metallen. 2 meinen, dass Metall Wärme besser speichern kann und 2 weitere begründen mit den isolierenden Eigenschaften des Pullovers: „Der Pullover ist ein Wärmeisolator“ und „Der Pullover isoliert das Thermometer.“ Die restlichen begründen nicht oder halten die Metallplatte generell für wärmer: „Die Metallplatte ist wärmer und nur ein Teil der Wärme geht in Pullover über“ bzw. „Je nach Zeit ist die Metallplatte wärmer, später kann die Temperatur identisch werden.“

Insgesamt zeigen die Antworten, dass bei Vielen der Studierenden Unklarheiten über den Unterschied zwischen Wärme und Temperatur sowie über den Einfluss der Wärmeleitfähigkeit herrschen. Die für Schülerinnen und Schüler dokumentierte, aus dem persönlichen Empfinden resultierende Vorstellung „Wolle ist warm/Wolle wärmt“ persistiert bei Vielen über die Schulzeit hinaus.

### 3.3.2 Schwimmen und Sinken

Für Grundschul Kinder sind verschiedene Vorstellungen vom Schwimmen und Sinken bekannt, die sich auf die Beschaffenheit eines Körpers wie Größe, Masse oder Luftinhalt beziehen (Zusammenfassung z. B. in [16]). Wir haben den Studierenden, insbesondere mit Hinblick auf die Sachunterrichtsstudierenden, die später an der Grundschule diese Sachverhalte frei von eigenen Fehlvorstellungen unterrichten können müssen, eine entsprechende Fragestellung vorgelegt:

- 1) Alles was schwer ist geht im Wasser unter, alles was leicht ist schwimmt  
ja  nein  bin ich mir unsicher
- 2) Alles was groß ist geht im Wasser unter, alles was klein ist schwimmt  
ja  nein  bin ich mir unsicher
- 3) Alles was hohl ist schwimmt  
ja  nein  bin ich mir unsicher
- 4) Alles wo Luft drin ist schwimmt.  
ja  nein  bin ich mir unsicher

Komplett richtig wird die Aufgabe von 15 der insgesamt 96 Sachunterrichtsanfänger beantwortet (knapp 16%). 13 weitere beantworten alles bis auf 4) richtig. Bei den Physikanfängern beantworten 39 (knapp 46%) alle Aufgabenteile richtig, 10 weitere alles bis auf Teil 4).



Schaut man sich die vier Fragen der Aufgabe einzeln an (Abb. 10), so zeigt es sich, dass sich die Studierenden bei der auf die Größe abzielenden Frage 2) sehr sicher sind: Nur ein Sachunterrichtsanfänger meint, dass große Gegenstände grundsätzlich sinken. Jedoch schon bei der Frage nach der Masse (1) zeigen sich mehr Fehler und Unsicherheiten. Die Fragen, ob hohle oder luftgefüllte Körper grundsätzlich schwimmen (3 und 4) wird dann von wesentlich mehr Studierenden bejaht; auch die Unsicherheiten nehmen deutlich zu. Bei den Sachunterrichtsstudierenden meinen mehr als 56%, dass luftgefüllte Körper grundsätzlich schwimmen. Nur von einem der Studierenden wird thematisiert, dass in hohlen Körpern doch auch Luft drin sei.

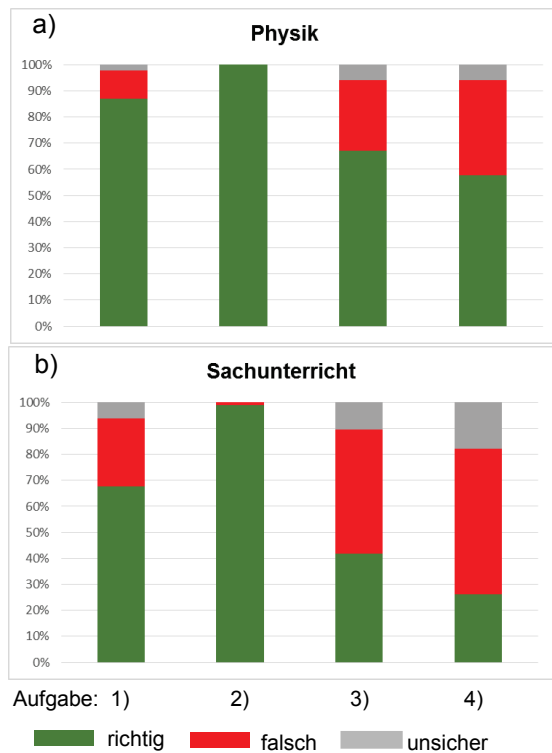


Abb. 10: Schwimmen und Sinken

### 3.3.3 Entstehung der Jahreszeiten

Unkenntnis oder falsche Vorstellungen über die Entstehung der Jahreszeiten sind nicht nur bei Schülerinnen und Schülern, sondern auch in der Bevölkerung weit verbreitet. Häufig wird die Elliptizität der Erdbahn als Ursache angesehen (siehe z. B. [17], [18]), ohne dass darüber nachgedacht wird, dass Nord- und Südhalbkugel gleichzeitig unterschiedliche Jahreszeiten haben. Auch in der Pisa-Studie 2003 gab es eine Aufgabe zur Ursache der Jahreszeiten bzw. Tageslänge – in Verbindung mit der Abgrenzung zur Entstehung von Tag und Nacht (siehe z. B. [19], [20]). Wir haben den Studierenden folgende Fragestellung vorgelegt:

Die Jahreszeiten entstehen, weil:

Die Erde im Laufe eines Jahres mal näher und mal weiter von der Sonne entfernt ist (elliptische Umlaufbahn der Erde)

ja  nein  bin ich mir unsicher

Die Erde „schief steht“ (Neigung der Erdachse)

ja  nein  bin ich mir unsicher

Der Mond mal näher und mal weiter von der Erde entfernt ist

ja  nein  bin ich mir unsicher

Die Ergebnisse sind Abbildung 11 zu entnehmen.

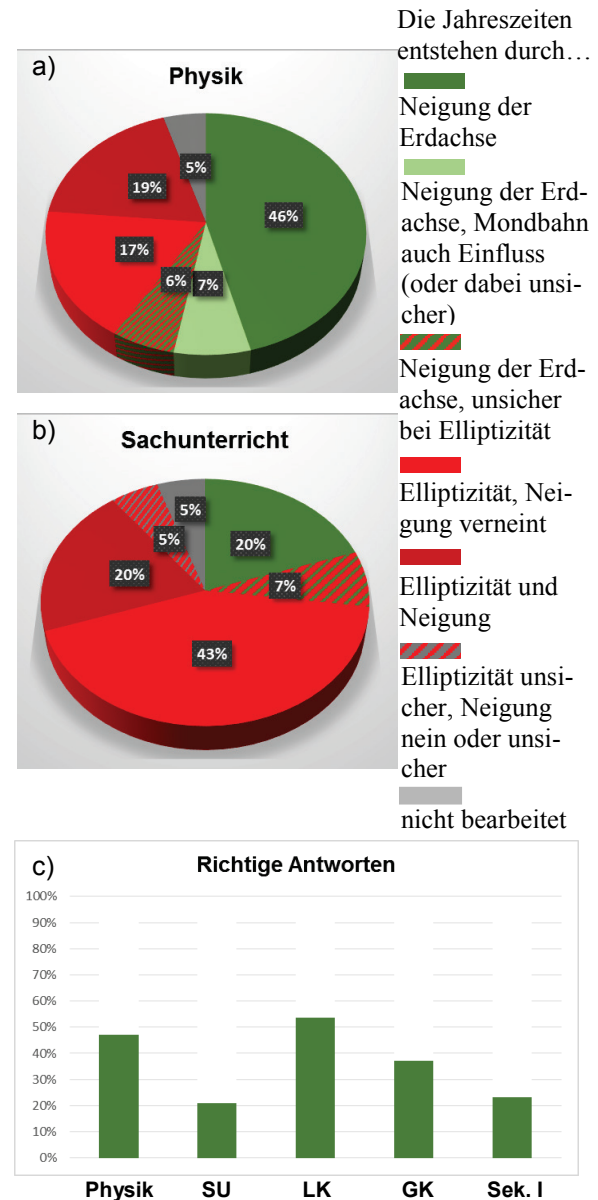


Abb. 11: Entstehung der Jahreszeiten

Bei den Physikanfängern beantworten immerhin 46% die Aufgabe vollständig richtig. Weitere 7% wissen offenbar auch, dass die Achsneigung die Ursache ist, meinen aber, dass auch der Mond einen Einfluss hat oder sind sich dabei unsicher. Bei den Sachunterrichtsanfängern antworten nur etwa 20% richtig. Ein kleiner Prozentsatz beider Gruppen (6% bzw. 7%, rot-grün-schraffiert in Abb. 11) antwortet ebenfalls richtig mit „Neigung der Erdachse“, ist aber unsicher, ob die Elliptizität nicht auch eine Rolle spielt.

43% der Sachunterrichtsstudierenden und 17% der Physikstudierenden sind davon überzeugt, dass die Elliptizität der Bahn ursächlich für die Jahreszeiten ist und verneinen den Einfluss der Achsneigung ausdrücklich (hellrot in Abb. 11). 19% bzw. 20% meinen, dass beides eine Rolle spielt (dunkelrot in Abb. 11). Ein kleinerer Teil der Sachunterrichtsstudierenden (5%) ist sich unsicher beim Einfluss der Elliptizität, verneint aber den Einfluss der Achsneigung oder ist sich hier auch unsicher.

Auch bei dieser Aufgabe ist wieder deutlich eine Korrelation mit der physikalischen Vorbildung oder dem physikalisch-naturwissenschaftlichen Interesse festzustellen (Abb. 11c): Während knapp 54% der Leistungskursabsolventen, die die Aufgabe bearbeitet haben, die Ursache der Jahreszeiten komplett richtig angeben können, sind es bei den Studierenden mit Sek. I Vorbildung nur 23%, die über dieses Wissen verfügen. Offensichtlich ist astronomisches Wissen selbst um die Vorgänge und Zusammenhänge, die das Leben auf der Erde so direkt und für jeden sichtbar beeinflussen wie die Jahreszeiten, auch unter Abiturienten nicht sehr ausgeprägt. Selbst bei der Entstehung von Tag und Nacht scheint es Unklarheiten zu geben, denn zwei der Sachunterrichtsstudierenden verneinen den Einfluss der Erdachsenneigung auf die Entstehung der Jahreszeiten und kommentieren explizit, dass diese für Tag und Nacht verantwortlich sei.

Auch die Vorstellungen in Zusammenhang mit dem Mondumlauf sind wenig gefestigt. Dieses betrifft zum Beispiel die Entstehung der Mondphasen und in diesem Zusammenhang natürlich auch Mond- und Sonnenfinsternisse und wurde für Schülerinnen und Schüler dokumentiert (beispielweise in [19]). Auch wir haben diesbezüglich viel Unkenntnis bei Studierenden in Lehrveranstaltungen festgestellt, aber nicht systematisch untersucht. In der Aufgabe zur Entstehung der Jahreszeiten hier, zeigt sich diese Unsicherheit bzgl. des Mondes jedoch auch. Ein relativ hoher Anteil der Studierenden, die die Aufgabe bearbeitet haben, nimmt einen Einfluss der Mondentfernung auf die Jahreszeiten an, oder ist sich hinsichtlich des Einflusses unsicher (nicht dargestellt in Abb. 11): Insgesamt 10 von 81 der Physikstudierenden nehmen den Einfluss der Mondentfernung als gegeben an, 7 sind unsicher. Bei den Sachunterrichtsstudierenden bejahen insgesamt 3 den Einfluss der Mondentfernung, 18 sind unsicher. Offensichtlich wird nicht überlegt, dass sich die Jahreszeiten bei Annahme eines Mondeinflusses ca. jeden Monat ändern müssten.

Hier würde man sich wünschen, dass die elementaren, für das Leben auf der Erde so wichtigen astronomischen Vorgänge im Unterricht ausführlicher und nachhaltiger behandelt würden.

#### 4. Literatur:

[1] Müller, Rainer; Wodzinski, Rita; Hopf, Martin (Hrsg.) (2004), Schülervorstellungen in der Physik, Aulis Verlag Deubner, Köln

- [2] Schecker, Horst (2010): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Physikunterricht, [www.idn.uni-bremen.de/pubs/MNU\\_2010\\_Berlin\\_Folien\\_Schecker\\_2S.pdf](http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/MNU_2010_Berlin_Folien_Schecker_2S.pdf) (Stand: 4/2018)
- [3] Matzig, Juliane; Reddeck, Petra (2005): Schülervorstellungen zu physikalischen und technischen Themen im Sachunterricht, [https://www.uni-kassel.de/fb10/fileadmin/datas/fb10/physik/didaktik/pdf\\_dateien/Schuelervorstellungen/Schuelervorstellungen.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb10/fileadmin/datas/fb10/physik/didaktik/pdf_dateien/Schuelervorstellungen/Schuelervorstellungen.pdf) (Stand: 4/2018)
- [4] v. Rhöneck, Christoph (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie 34, 13, S. 10 -14 (auch in [1] S. 167f)
- [5] Müller, Svetlana; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2015): Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2015, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/629> (Stand: 4/2018)
- [6] Duit, Reinders (1993): Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In: Praxis der Naturwissenschaften Physik, 6, 42, S. 7-11 (auch in [1] S. 3f)
- [7] Urban-Woldron, Hildegard; Hopf, Martin (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 18, S. 203 – 229
- [8] Stetzer, MacKenzie R.; van Kampen, Paul; Shaffer, Peter S.; McDermott, Lillian C. (2013): New insights into student understanding of complete circuits and the conservation of current. In: Am. J. Phys. 81, 2, S. 134 – 143
- [9] Wiesner, Hartmut (1992): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten mit dem Spiegelbild. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 3,14, S. 16 -18 (auch in [1] S. 80f)
- [10] Wiesner, Hartmut (1994): Ein neuer Optikkurs für die Sekundarstufe I, der sich an Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen orientiert. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 5, 22, S. 7 – 15
- [11] [http://schuleneduhi.at/riedgym/physik/8/optik/licht\\_grundbe/start\\_grundbe.htm](http://schuleneduhi.at/riedgym/physik/8/optik/licht_grundbe/start_grundbe.htm) (Stand: 4/2018)
- [12] [https://wiki.zum.de/wiki/Optik\\_im\\_Kontext/Sch%C3%BClervorstellungen\\_vom\\_Sehen](https://wiki.zum.de/wiki/Optik_im_Kontext/Sch%C3%BClervorstellungen_vom_Sehen) (Stand: 4/2018)
- [13] <https://www.leifiphysik.de/file/sehvorgangaufgabesvg> (Stand: 4/2018)
- [14] Duit, Reinders (2003): Alltagsvorstellungen und Physiklernen. In: Kircher, Ernst; Schneider, Werner B. (Hrsg.): Physikdidaktik in der Praxis, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, S. 2 (mit freundlicher Genehmigung des Verlags)

- [15] Physik für Gymnasien (1994), Sekundarstufe I, Länderausgabe D Gesamtband, Cornelsen Verlag, Berlin, S. 56
- [16] Jonen, Angela; Möller, Kornelia (2005): Der Unterricht zum Thema „Schwimmen und Sinken“. In: Klasse(n)kisten für den Sachunterricht – Schwimmen und Sinken, Spectra Verlag, Essen, S. 36-37
- [17] Köster, Hilde; Backhaus, Udo (2016): Gefährliche Sonnenfinsternis – von Fehlvorstellungen über Himmel und Erde und deren Ursachen. In: Grundschulunterricht Sachunterricht 1, S. 24 – 29, <https://www.oldenbourg-klick.de/zeitschriften/grundschulunterricht-sachunterricht/2016-01/gefaehrliche-sonnenfinsternis> (Stand: 4/2018)
- [18] Raber, Anne (2015): Schülervorstellungen zur Entstehung der Jahreszeiten, AV Akademiker- verlag, Saarbrücken
- [19] Beispielaufgaben Naturwissenschaften PISA- Hauptstudie 2003, S. 7-8, [https://archiv.ipn.uni-kiel.de/PISA/Aufgaben\\_Naturwissenschaft.pdf](https://archiv.ipn.uni-kiel.de/PISA/Aufgaben_Naturwissenschaft.pdf) (Stand: 4/2018)
- [20] Hammann, Marcus (2006): PISA und Scientific Literacy. In: Steffens, Ulrich; Messner, Rudolf (Hrsg.): PISA macht Schule – Konzeptionen und Praxisbeispiele zur neuen Aufgabenstruktur, Institut für Qualitätsentwicklung, Wiesbaden, S. 162, [https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/pisa\\_macht\\_schule.pdf](https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/pisa_macht_schule.pdf) (Stand: 4/2018)