

Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an
Gymnasien im Fach Physik, eingereicht bei der Hessischen Lehrkräfteakademie

-Prüfungsstelle Frankfurt am Main-

**Vergleich von Universitätslehrbüchern der Physik
mit dem Fokus auf Kinematik und Dynamik**

vorgelegt von

Sophie Krausch

Themensteller/Gutachter

Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Frankfurt am Main, 10.09.2018

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Umfrage „Nutzung von Universitätslehrbüchern für Physiker“	3
3 Lernsituation an Universitäten und Universitätslehrbücher	8
3.1 Lernsituation	8
3.2 Allgemeines zu Universitätslehrbüchern	9
4 Analysekriterien.....	11
4.1 Kriterien zur Textgestaltung	12
4.1.1 Leiteinrichtungen.....	12
4.1.2 Textsequenzierung.....	12
4.1.3 Textverständlichkeit	13
4.1.4 Textfragen und Aufgaben.....	15
4.1.5 Merksätze und Zusammenfassungen.....	16
4.1.6 Abbildungen	17
4.1.7 Mathematik.....	18
4.2 Lernendenvorstellungen der Kinematik und Dynamik	19
4.2.1 Kinematik.....	20
4.2.2 Dynamik	22
4.2.3 Sachstruktur der Mechanik.....	25
4.3 Zusammenfassung der Analysekriterien	27
5 Analyse und Vergleich der Universitätslehrbücher	28
5.1 Vorstellung der ausgewählten Universitätslehrbücher.....	28
5.1.1 Dieter Meschede – Gerthsen Physik.....	28
5.1.2 Douglas C. Giancoli – Physik	29
5.1.3 David Halliday/ Robert Resnick/ Jearl Walker – Physik	30
5.1.4 Paul A. Tipler/ Gene Mosca – Physik für Wissenschaftler und Ingenieure .	31
5.2 Analyse und Vergleich nach Kriterien der Textgestaltung	33
5.2.1 Leiteinrichtungen.....	33
5.2.2 Textsequenzierung.....	35
5.2.3 Textverständlichkeit	36
5.2.4 Textfragen und Aufgaben.....	37
5.2.5 Merksätze und Zusammenfassungen.....	40
5.2.6 Abbildungen	42
5.2.7 Mathematik.....	45

5.3 Analyse und Vergleich nach Sachstruktur und Umgang mit Lernendenvorstellungen.....	48
5.3.1 Gerthsen.....	48
5.3.2 Giancoli	49
5.3.3 Halliday	52
5.3.4 Tipler/ Mosca	54
5.4 Überblick der Analyseergebnisse.....	57
6 Fazit und Ausblick	59
Literaturverzeichnis	63
Abbildungsverzeichnis.....	64
Tabellenverzeichnis	65
Selbstständigkeitserklärung	66
Anhang.....	67

1 Einleitung

„Da ich noch ein Erstsemester bin, muss ich mich noch daran gewöhnen, regelmäßig Bücher zu verwenden und lernen, selbstständig gute Bücher auszusuchen. Aber bisher waren die Bücher eigentlich hilfreich, also ich glaube, ich hätte sie früher benutzen sollen.“

- Physikstudent 1. Fachsemester Goethe-Universität Frankfurt am Main

„Ich suche die Bücher einfach nach Verfügbarkeit in der Universitätsbibliothek aus.“

- Physikstudent 5. Fachsemester Goethe-Universität Frankfurt am Main

Auf diese Weise äußerten sich Physikstudenten¹ in einer Umfrage bezüglich Universitätslehrbüchern. Ähnlich wie diesen Studenten geht es wohl vielen anderen ebenfalls an Universitäten. Der Wechsel in das Studium bedarf einer Umgewöhnungsphase bei Studienanfängern. Eigentlich kennen Studenten Lehrbücher gut. Ab der ersten Klasse lernen sie mit Lehrbüchern kennen und mit ihnen zu arbeiten. Im Regelfall werden sie zur Unterstützung im Unterricht verwendet, dienen gleichzeitig aber auch als Aufgabenbuch oder Nachschlagewerk. Es gibt keine Auswahl an Lehrbüchern, sondern sie werden von der Schule vorgegeben. Die Qualität der Lehrbücher wird nach Kriterien kontrolliert, die vom Kultusministerium im Hessischen Schulgesetz festgelegt werden (§ 10 HSchG (Hessisches Kultusministerium, 2017)).

Beim Wechsel von der Schule ins Studium gewinnt selbstreguliertes Lernen an Bedeutung. Neben dem Besuch von Vorlesungen und Seminaren wird das eigenständige Lernen an Universitäten verlangt und vorausgesetzt. Dieser Übergang von schulischem zu universitärem Lernverhalten kann oftmals gerade in den ersten Semestern zu Komplikationen bis hin zum Studienabbruch führen. Um erfolgreich zu Lernen bedarf es der Kompetenz, sich Wissen selbstständig anzueignen und Informationen in kurzer Zeit, selektiert zu beschaffen (Schubert-Henning, 2007). Bei der Fülle an Literaturangeboten in der Universitätsbibliothek

¹ Die weiblichen und männlichen Formulierungen von Schüler, Student, etc. werden in dieser Hausarbeit aus Gründen der Lesbarkeit unter dem generischen Maskulin zusammengefasst.

kann man jedoch leicht den Überblick verlieren. Ohne die Empfehlung eines Dozenten oder Kommilitonen fällt die Entscheidung schwer, welches Lehrbuch nun am besten für die eigenen Anforderungen geeignet ist.

Da sich das Lernverhalten und die Verantwortung des selbstständigen Lernens bei Studenten von Schülern unterscheidet, sind universitäre Lehrbücher anders als Schulbücher zu konzipieren. Welche Aufgaben und Funktionen haben folglich Universitätslehrbücher? Des Weiteren ist zu bedenken, dass im Schulunterricht das Lehrbuch als Unterstützung verwendet wird. Das heißt, dass die Lehrperson Erklärungen, Einstiege, Zusammenfassungen und Ähnliches hinzufügt und somit den Lernenden leiten kann. Im Studium werden Lehrbücher jedoch nicht im Zusammenhang mit einem Seminar oder einer Vorlesung genutzt, folglich gibt es nicht direkt eine Lehrperson, die unterstützend das Lernmittel näherbringt. Ein Lehrbuch in der Universität muss durch Texte, Abbildungen, etc. den Lernstoff eigenständig dem Leser verständlich machen. Welche Kriterien neben der Verständlichkeit gibt es noch?

Physikstudenten kommen als erstes mit dem Themengebiet der Mechanik in der Universität in Kontakt. Es ist von großer Bedeutung, wie der Einstieg in die universitäre Physik stattfindet und ob das Verständnis von wesentlichen Grundbegriffen für nachfolgende Themen erfolgreich erworben wird. Wie und in welchem Umfang wird die Kinematik und Dynamik eingeführt? Was muss bei den Lehrbüchern beachtet werden, in Bezug auf die Tatsache, dass Studierende Physik entweder im Nebenfach oder im Hauptfach studieren?

In dieser wissenschaftlichen Hausarbeit sollen all diese Fragen strukturiert geklärt und vier deutschsprachige Universitätslehrbücher der Physik verglichen werden. Die Lehrbücher beinhalten in einer Ausgabe die klassischen Gebiete der Physik, genauer betrachtet werden jedoch nur die Kinematik und Dynamik. Bezüglich des Vergleichs sollen zunächst Kriterien festgelegt werden, wobei eine Unterscheidung von Kriterien der allgemeinen Textgestaltung und dem Umgang mit Lernendenvorstellungen erfolgt. Als Einstieg in diese Arbeit wurde eine Umfrage durchgeführt, die einen Einblick in die Erwartungen und das Nutzungsverhalten der Studenten ermöglichte. Daher wird abschließend noch eine Bewertung beziehungsweise Empfehlung für Studenten basierend auf den Umfrageergebnissen getroffen.

2 Umfrage „Nutzung von Universitätslehrbüchern für Physiker“

Zu Beginn dieser Arbeit wurden 231 Studenten (165 Studenten der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main und 66 Studenten der Julius-Maximilians-Universität Würzburg) befragt. Die Studenten kamen aus unterschiedlichen Studiengängen, belegten aber alle eine Physikvorlesung und waren vorwiegend aus dem ersten bis vierten Fachsemester. Ziel dieser Umfrage war es eine Ersteinschätzung zu erhalten, welche Erwartungen Studenten an Universitätslehrbücher haben und wie ihre bisherigen Erfahrungen sind beziehungsweise ihr Nutzungsverhalten aussieht. Zusätzlich wurde in dem zweiseitigen Fragebogen erhoben, mit welchem physikalischen Vorwissen die Studenten ihr Studium antraten. Dies erfolgte nicht durch eine Wissensabfrage, welche einen zu großen Zeitaufwand bedeutet hätte, sondern mit der Frage, wie lange die Studenten Physik als Unterrichtsfach in der Schule hatten und ob Physik als Leistungs- oder Grundkurs belegt wurde (siehe Anhang).

Nachfolgend sollen die wichtigsten Ergebnisse erläutert und mit Balkendiagrammen veranschaulicht werden. Aus der Umfrage geht hervor, dass das Lehrbuchverhalten von Haupt- und Nebenfachstudierenden sich in manchen Bereichen unterscheidet. Daher zeigen die Diagramme die Umfrageergebnisse aller Befragten (TOTAL) und teilweise bei Auffälligkeiten die Ergebnisse auch unterschieden zwischen Hauptfach- (HF) und Nebenfachstudierenden (NF). Der durchschnittliche Hauptfachstudent hatte Physik in der Schulzeit bis zum Abitur und meist als Prüfungsfach im Abitur. Der Nebenfachstudent belegte Physik durchschnittlich allein bis zur neunten Klasse. Daraus erfolgt die Annahme, dass Nebenfachstudenten ein geringeres Physikvorverständnis haben.

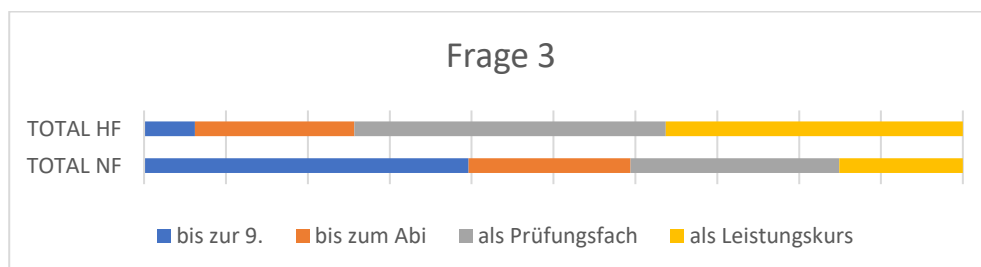


Abbildung 1: Ergebnisse zu Frage 3 "Wie lange hatten Sie Physik in Ihrer Schulzeit?"

Allgemein gibt es entweder Studenten, die Lehrbücher mehrmals die Woche oder fast wöchentlich verwenden. Hauptsächlich arbeiten Studenten allerdings nur einige Male im Semester oder nie mit Universitätsbüchern. Hier bleibt die Frage offen, weshalb Lehrbücher nicht öfter genutzt werden und ob dies daran liegt, dass Studenten nicht wissen, welches Lehrbuch sich am besten eignet. Viele Studenten gaben im Kommentarfeld an, nur mit dem Vorlesungsskript des Dozenten zu arbeiten. Womöglich erscheint dies als die unkompliziertere Möglichkeit an die notwendigen Informationen zu gelangen.

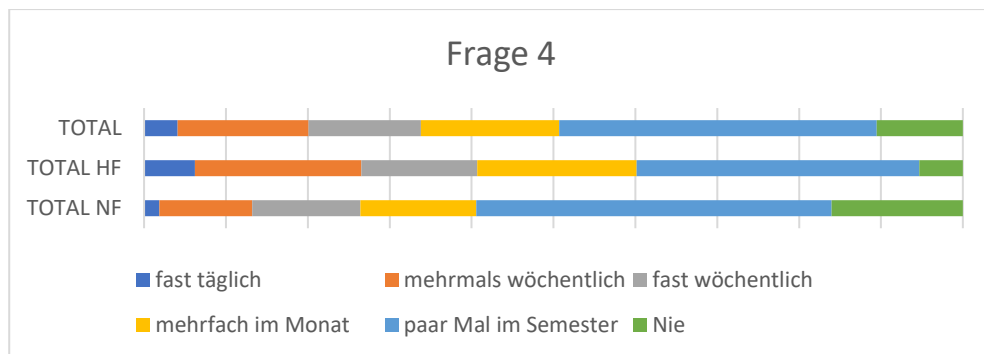


Abbildung 2: Ergebnisse zu Frage 4 "Wie oft nutzten Sie Lehrbücher bisher für das Physikstudium?".

Die Mehrzahl der Studierenden beginnt erst im Laufe des Semesters beziehungsweise zum Ende des Semesters, mit Lehrbüchern zu arbeiten. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass Studenten es womöglich nicht gewohnt sind parallel zu Lehrveranstaltungen eigenständig mit Lehrbüchern zu lernen.

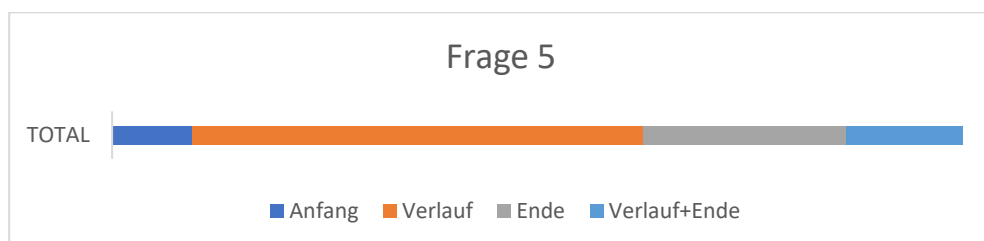


Abbildung 3: Ergebnisse zu Frage 5 "Wann nutzten Sie Lehrbücher bisher für das Physikstudium am meisten?"

Die Studenten nutzen selten oder nie Lehrbücher zur Vor- oder Nachbereitung der Vorlesung, zum Vertiefen von Themen oder für Rechen- und Verständnisaufgaben. Dabei nutzen Hauptfachstudenten noch eher ein Lehrbuch zur Nachbereitung, Vertiefen oder für Aufgaben. Eine Vermutung wäre, dass Hauptfachstudenten größeres Interesse haben und/oder ein tieferes Verständnis in ihrem Studium

erreichen wollen/müssen im Vergleich zu Nebenfachstudenten. Deren Fokus kann auf anderen Studieninhalten liegen. Lehrbücher werden dagegen von beiden Studierendentypen zum Klären von Verständnisproblemen und am meisten zum Nachschlagen für Übungsaufgaben und zum Lernen verwendet. Hier wird deutlich, dass das Lehrbuch im Studium zum Ende des Semesters zur Prüfungsvorbereitung benötigt wird.

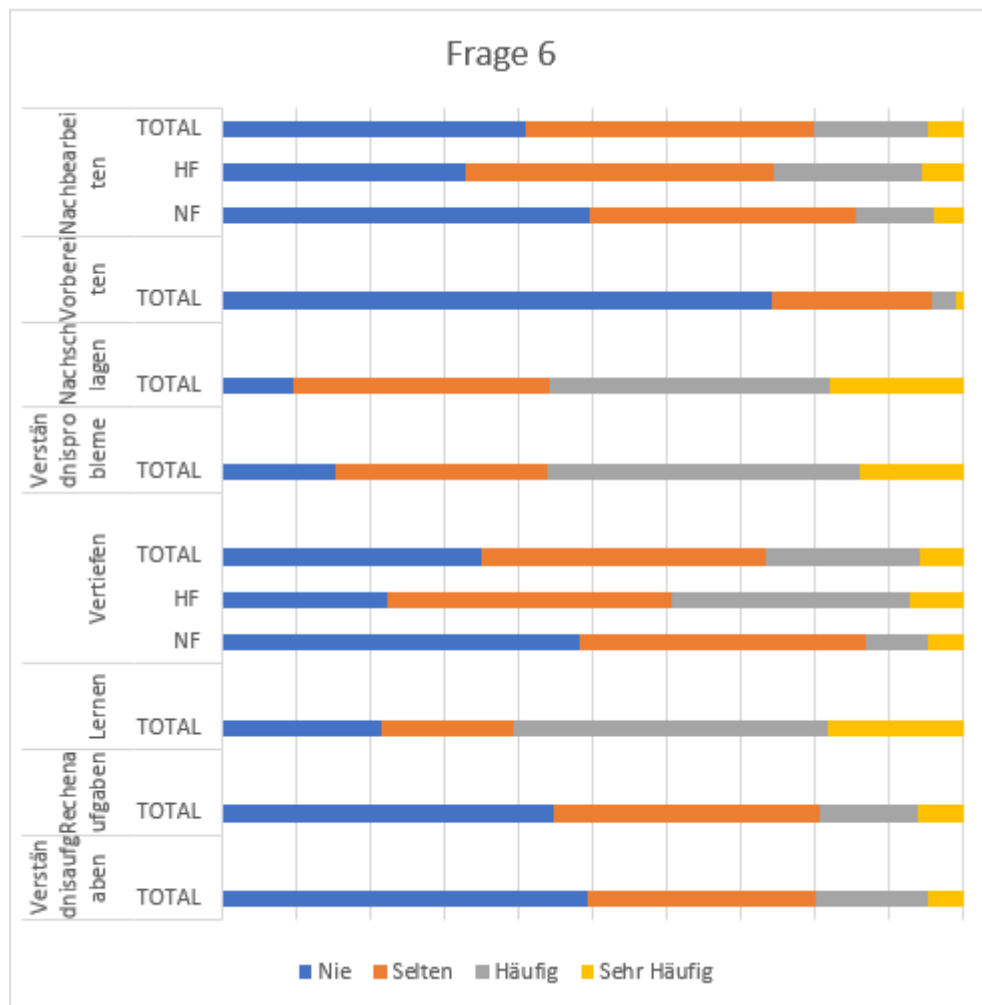


Abbildung 4: Ergebnisse zu Frage 6 "Wofür haben Sie Lehrbücher bisher benutzt?"

Nachdem die Studenten befragt wurden, wofür sie Lehrbücher bisher nutzten oder nutzen würden, bewerteten sie Kriterien, welche sie für ein gutes Lehrbuch wichtig empfinden. Ausführliche Erklärungen wurden dabei von den meisten Befragten als sehr wichtig eingeschätzt, dicht gefolgt von kurzen Erklärungen. Interessant ist, dass kurze Erklärungen eher von Nebenfachstudenten bevorzugt werden, während Hauptfachstudenten ausführliche Erklärungen für wichtiger ansehen. Hier könnte ähnlich wie bei der Verwendung von Lehrbüchern der Grund sein, dass

Hauptfachstudenten ein tiefes Verständnis erreichen wollen/müssen, während Nebenfachstudenten eventuell allein Zusammenfassungen zum Lernen benötigen. An dritter Stelle werden Abbildungen und visuelle Unterstützungen als sehr wichtig angesehen.

Bei der Frage nach der Herleitung mathematischer Formeln und der Erklärung der notwendigen Mathematik differieren die Meinungen, ob dies nun sehr wichtig oder kaum wichtig sei. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, mit welchem Mathematikverständnis der einzelne Student das Studium antritt. Bei Beispielen und Übungsaufgaben fällt das Ergebnis ähnlich aus. Nahezu ein Drittel der Studenten hält Alltagsbeispiele und Anwendungsaufgaben für sehr wichtig, allerdings ist rund ein Viertel der Studenten der Meinung, diese seien weniger wichtig in einem Lehrbuch.

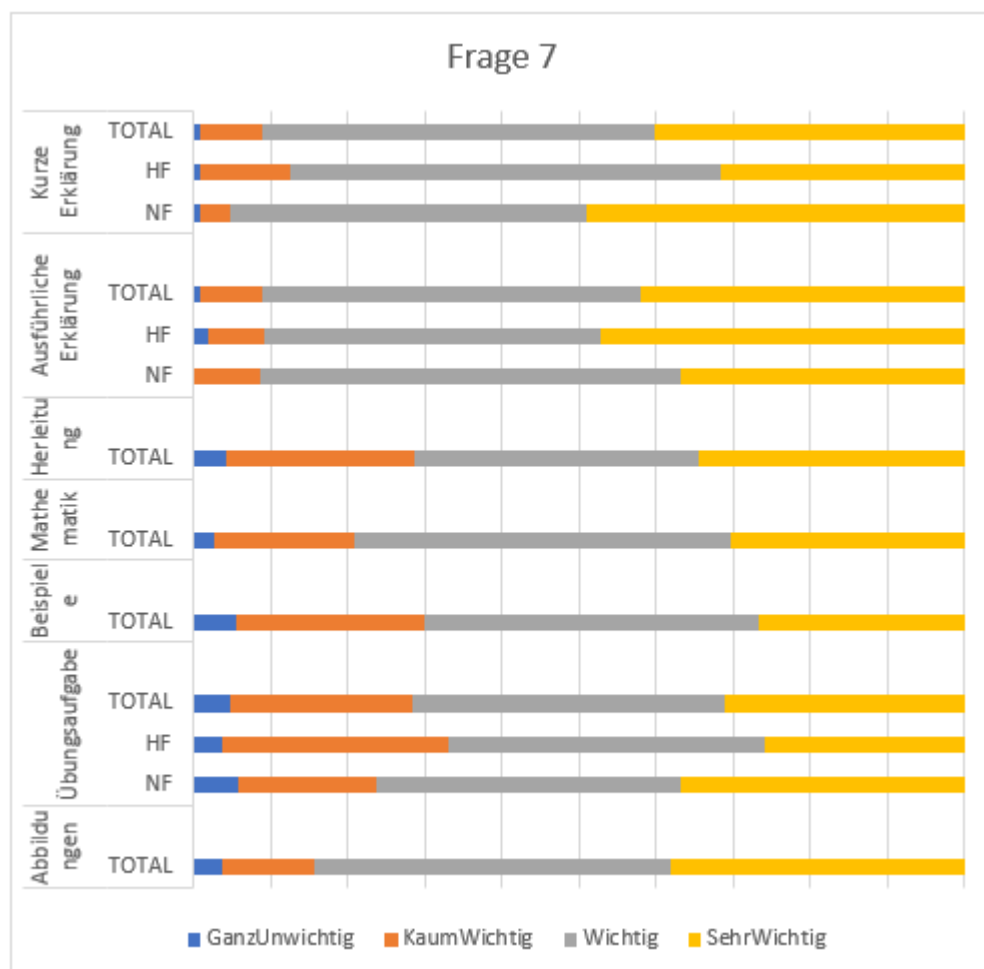


Abbildung 5: Ergebnisse zu Frage 7 "Was ist Ihnen wichtig an einem Lehrbuch?"

Des Weiteren erwähnen einige Studenten, dass sie gerne gerechnete Übungsaufgaben beziehungsweise den Rechenweg und Lösungen zu den Aufgaben in einem Lehrbuch sehen würden. Zudem sei ihnen generell eine gute Übersichtlichkeit und Gliederung wichtig. Essentielle Herleitungen und Formeln sollen deutlich erkennbar sein. Im Allgemeinen sei eine gute Verständlichkeit und eine Vermeidung von Enttrivialisierung sehr wichtig. Ein Student kritisierte Lehrbücher als „oft viel zu arrogant wissenschaftlich formuliert“.

Im Fragebogen wurde abschließend spezifisch nach den Physiklehrbüchern von Gerthsen, Giancoli, Halliday und Tipler/ Mosca gefragt. In Würzburg wurde der Fragebogen mit den Lehrbüchern von Demtröder und Müller erweitert. Generell kann man sagen, dass mehr Hauptfachstudenten die Lehrbücher kennen und nutzen. In Frankfurt sind die Lehrbücher von Tipler/ Mosca und Gerthsen am bekanntesten. In Würzburg ist das Lehrbuch von Giancoli nicht geläufig. Des Weiteren ist das Lehrbuch von Demtröder an beiden Universitäten sehr bekannt und wird von vielen genutzt. Von den Frankfurter Studenten werden gehäuft noch die Lehrbücher von Nolting und Greiner genannt. Dies sind Lehrbücher der Theoretischen Physik, bei denen jeweilige Ausgaben auf einen Themenbereich spezialisiert sind. Welche Lehrbücher die Studenten kennen und nutzen, hängt sehr von ihren Dozenten ab. Die meisten Studenten kriegen ein Lehrbuch von ihrem Dozenten empfohlen. Durch die Umfrage wird deutlich, dass Studenten mit dem gleichen Dozenten, dieselben Bücher nutzen, da manche Dozenten ein jeweiliges Lehrbuch präferieren und ausschließlich dieses empfehlen. Dieses Ergebnis verdeutlicht nochmals die Bedeutung dieser Arbeit. Studenten sollen Analyse Kriterien und einen objektiven Vergleich von Lehrbüchern bekommen, um die Lehrbuchauswahl selbstständig und begründet treffen zu können.

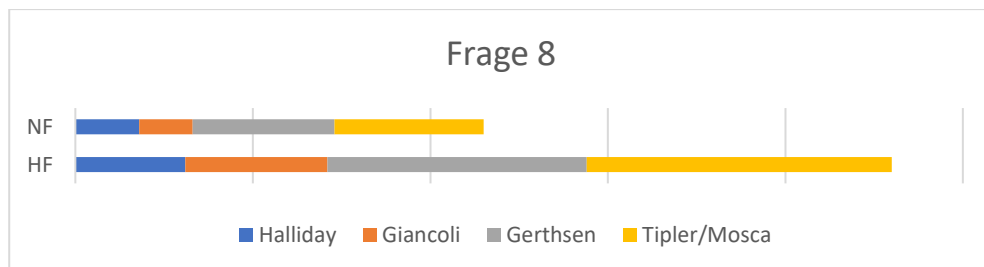


Abbildung 6: Ergebnisse zu Frage 8 "Welches der folgenden Bücher kennen Sie?"

3 Lernsituation an Universitäten und Universitätslehrbücher

3.1 Lernsituation

Bevor Universitätslehrbücher genauer betrachtet werden, sollten zunächst die Lernbedingungen an Universitäten und besonders im Bereich der Physik geklärt werden. Sehr bedeutsam ist im Studium die Lernzeit außerhalb der Lehrveranstaltung. Lernstoff aus Vorlesungen und Seminaren wurde gegebenenfalls verstanden, aber nicht umgehend behalten. Dazu sind selbstständig durchgeführte Übungen, Aufgaben und Wiederholungen notwendig, welche hauptsächlich mit Lehrbüchern durchführbar sind. Zu Studiumsbeginn sind viele Studierenden mit ihrer neuerlangten Verantwortung überfordert und werden infolgedessen unsicher. Hinzukommt die abgenommene Gewohnheit zu lesen und Lehrbücher zum Lernen zu verwenden (Weltner, 2014).

Im Studium ist es wichtig, Lernprozesse selbst zu organisieren und zu reflektieren. Das sogenannte selbstregulierte Lernen ist ein großer Faktor für den Studienerfolg (Brebeck & Sumfleth, 2014). Dieses Wissen über das Fachwissen wird unter dem Begriff der Metakognition beschrieben. Metakognitive Kompetenzen und Strategien helfen das Lernziel erfolgreicher zu erreichen, indem die eigenen Handlungsabläufe analysiert und bewertet werden. Um ein Lehrbuch auszuwählen und mit diesem zielgerecht zu arbeiten, bedarf es der Gewissheit, welches Wissen vorhanden ist und seine Wissenslücken und Verständnisschwierigkeiten zu kennen. Nur so kann der Lernprozess systematisch angegangen werden. Dazugehörig muss der Lernende abwägen, mit welcher Strategie, welchem Zeitaufwand und welcher Lernvoraussetzung diese Wissenslücken und Verständnisschwierigkeiten bewältigt werden können. Schließlich kann der Lernprozess unter Berücksichtigung von Lernzeit und –intensität geplant werden. Während des eigentlichen Prozesses des Lernens bedarf es einer ständigen Reflexion (Ballstaedt, Mandl, Schnotz, & Tergan, 1981). Bei dem Vergleich der Lehrbücher ist also zu beachten, in wieweit es dem Studenten ermöglicht, selbstständig etwas zu erlernen und diesen Lernprozess zu überwachen und reflektieren.

3.2 Allgemeines zu Universitätslehrbüchern

Ziel von Lehrbüchern ist allgemein formuliert der Lernerfolg. Nach Ballstaedt wird deutlich, was ein Lehrbuch beinhalten muss, um Lernerfolg beziehungsweise Lernwirksamkeit zu erreichen. Ein lernwirksames Lehrbuch bietet verständliche Zusammenhänge, welche vom Lernenden behalten und letztendlich in zukünftigen Situationen handlungsrelevant werden. Es sind folglich drei Aspekte für den Lernerfolg bedeutsam, welche von Lernmaterialien beachtet werden müssen: Verstehen, Behalten, Handeln. Der erste Aspekt des Verstehens lässt sich auf zwei Ebenen unterteilen. Man versteht oder missversteht etwas auf Inhaltsebene und auf Beziehungsebene. Die Inhaltsebene bezeichnet das direkt Erfassbare und Dargestellte. Auf der Beziehungsebene wird tiefergehend auf sprachliche Formulierungen oder bildliche Gestaltungen geachtet. Um das Verstandene zu behalten, muss das Lernmaterial dazu anregen, das Wissen ins Langzeitgedächtnis zu übertragen. Dies geschieht durch Anknüpfung an Vorwissen, Wiederholungen oder positiv wirkende Gestaltung. Der letzte Schritt ist das Wissen, das nun verstanden und behalten wurde, in die Tat umzusetzen. Lehrbücher haben hier die Möglichkeit auf alltägliche oder berufliche Kontexte hinzuweisen und Aufgaben bereitzustellen (Ballstaedt, 1997).

Die Funktionen und Zielsetzungen eines Universitätslehrbuchs sind im Grunde zunächst gleichzusetzen mit denen eines Schulbuches. In Kircher et al. werden folgende Punkte genannt, welche ein Lehrbuch leisten kann und soll. In einem Lehrbuch sollen hauptsächlich Fachinhalte ausführlich und strukturiert dargestellt werden. Ähnlich wie ein Nachschlagewerk stellt ein Lehrbuch dem Lernenden eine Übersicht über die Lerninhalte bereit. Des Weiteren bietet es Wiederholungs- und Vertiefungsmöglichkeiten, welche wiederum zum selbstständigen Lernen anregen. Um das individuelle Lernen zu ermöglichen, stellt es Material in Form von Bildern, Grafiken, Tabellen und Texten oder als eine Art Arbeitsbuch Aufgaben und Übungen bereit. Im Bereich der Physik werden zusätzlich Arbeits- und Betrachtungsweisen vorgestellt und experimentelles Arbeiten durch Versuchsanleitungen nähergebracht (Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015).

Während Schulbücher auf die Lehrpläne des jeweiligen Bundeslandes abgestimmt werden, sind Universitätslehrbücher nicht an Studienordnungen verschiedener Studiengänge gebunden. Trotzdem gibt es Lehrbücher, die sich auf spezielle

Studiengänge wie Ingenieure (Hering, 2016), Biologen (Pelte, 2005) oder Mediziner (Fritsche, 2013) spezialisieren. Generell ist der Umgang mit Lehrbüchern nicht in den Studienordnungen wiederzufinden. Lediglich bei der Beschreibung der Kreditpunkte (CP), welche den Arbeitsaufwand kennzeichnen, lässt sich erkennen, dass die Nutzung mit außeruniversitären Lernmitteln notwendig ist: „[CP] umfassen neben der Teilnahme an den zu einem Modul gehörenden Lehrveranstaltungen [...] auch die gesamte Vor- und Nachbereitung des Lehrstoffs, die Vorbereitung und Ausarbeitung eigener Beiträge, die Vorbereitung auf und die Teilnahme an Leistungskontrollen.“ (Goethe-Universität, 2013).

Ein weiterer Unterschied von Universitätslehrbüchern zu Schulbüchern ist die Vorgabe des Lehrbuchs durch die Lehrperson beziehungsweise der Schule. Studenten dagegen steht eine große Auswahl an Lehrbüchern zur Verfügung und diese müssen eine eigenständige Entscheidung treffen beziehungsweise auf eine Empfehlung des Dozenten vertrauen. Die Empfehlung des Dozenten wiederum kann auf seine persönliche Präferenz von Lernmitteln zugeschnitten sein, was anderen Lerntypen nicht zum Lernerfolg hilft. Ebenfalls sind Schulbücher so konzipiert, dass sie der Lehrperson beim kompetenzorientierten Lehren helfen (Bölsterli, Wilhelm, & Rehm, 2015). Während Schulbücher von Lehrpersonen alltäglich genutzt werden, sind Lehrbücher in der Universität nicht Teil der Lehrveranstaltungen und werden nicht offensichtlich vom Dozenten zum Lehren verwendet. Hierbei zeigt sich nochmals die Motivation dieser Arbeit: Studierenden und Dozenten eine Empfehlung zur Lehrbuchanalyse geben zu können, um den Erfolg im Physikstudium zu vereinfachen.

4 Analysekriterien

Bleichroth formulierte 1987 einen Fragebogenkatalog mit fünf Gliederungspunkten, nach denen eine Beschreibung und Beurteilung von Physikschulbüchern erfolgen sollte: 1. Allgemein äußere Merkmale, 2. Lerninhalte, 3. Methodische Aufbereitung der Themen; 4. Sachliche Richtigkeit und 5. Verständlichkeit von Text- und Bildmaterial für Schüler. Allgemein äußere Merkmale beinhalten die steckbriefartigen Informationen zum Lehrbuch: Titel, Autor, Preis, Umfang, Design, etc. Die ausgewählten Universitätslehrbücher ähneln sich sehr in ihren äußeren Merkmalen, daher soll mehr auf die inhaltlichen Strukturen geachtet werden. Unter dem Gliederungspunkt Lerninhalte ist die Gewichtung und Reihenfolge bestimmter Themenabschnitte von Interesse und inwieweit sich dadurch bestimmte didaktische Intentionen erkennen lassen. Zur methodischen Aufbereitung gehören die methodische Abfolge und der Erarbeitungsweg durch ein Thema. Zudem beinhaltet dieses Kriterium das mathematische Niveau, die Darstellung von Ergebnissen und Zusammenfassungen, sowie der Umfang und das Niveau von Aufgaben. Die sachliche Richtigkeit fordert, dass trotz Vereinfachung, physikalische Inhalte richtig und durchgängig einheitlich dargestellt werden. Letztlich ist bei der Beurteilung noch die Verständlichkeit von Text und Zusatzmaterial von großer Bedeutung (Bleichroth, 1987).

Die nachfolgenden Analysekriterien erweitern diesen Fragebogenkatalog für Universitätslehrbücher mit den Ergebnissen der Umfrage, den Anforderungen eines Lehrbuchs nach Ballstaedt (in Bezug auf die Textgestaltung) und den Erkenntnissen zum Umgang mit dem Vorverständnis von Studenten. Da es sich in dieser Arbeit um den Vergleich von Universitätslehrbüchern handelt, sind einige Fragen von Bleichroth, die sich auf den Unterricht, Lehrpläne, etc. beziehen, zu vernachlässigen. Nach der ausführlichen Beschreibung der Kriterien gibt es eine Zusammenfassung in Form eines Fragenkatalogs anlehnend an Bleichroth, die zur Analyse weiterer Lehrbücher verwendet werden kann.

4.1 Kriterien zur Textgestaltung

4.1.1 Leiteinrichtungen

Unter dem Begriff der Leiteinrichtungen sind sogenannte Bestandteile der access structure (Waller zitiert in (Ballstaedt, Mandl, Schnotz, & Tergan, 1981)) gemeint. Inhaltsverzeichnis, Überschriften, Marginalien und drucktechnische Gestaltungen helfen dem Leser bei der Orientierung und dem Einstieg in das jeweilige Inhaltsfeld.

Überschriften liefern dem Leser den ersten Eindruck vom Text. Sie können zum einen thematisch sein. Dies bedeutet, dass sie einen Bezug zum nachfolgenden Text haben. Thematische Überschriften ermöglichen beim selektiven Lesen einen einfacheren Zugang zu den vom Autor behandelten Textinhalten. Nicht-thematische Überschriften sind anregende Formulierungen, die das Interesse des Lesers wecken sollen, oder Kategorien (Zusammenfassung, Definition, etc.), die die Struktur des Textes verdeutlichen. Beide Arten von Überschriften ermöglichen dem Leser kurze Unterbrechungen während des Lesens und eine Auflockerung des Textflusses. In dieser kurzen Pause kann der Leser sich nochmals die Textinhalte vergegenwärtigen und sich orientieren. Insgesamt erleichtern sie den Verarbeitungsprozess des Textes. Marginalien dienen ebenfalls der besseren Orientierung beim Lesen und stehen am Textrand. Sie können entweder inhaltliche Aussagen des nebenstehenden Textes sein oder Kategorien. Vorteil gegenüber Überschriften ist, dass es mehrere Marginalien innerhalb eines Textes geben kann und somit Lesern ermöglichen einen Text selektiv abschnittsweise zu lesen. Überschriften wiederum finden sich in den Inhaltsverzeichnissen wieder und müssen dem Leser ermöglichen abzuschätzen, worum es in dem Abschnitt geht (Ballstaedt, 1997).

4.1.2 Textsequenzierung

Während Abbildungen die Möglichkeit haben mehrere Informationen parallel an den Lernenden weiterzugeben, müssen in einem Text die Informationen hintereinander an den Leser gebracht werden. Um weiterhin verständlich zu sein, müssen die Informationen in richtiger, sinnvoller Reihenfolge im Text erwähnt werden. Eine Schlussfolgerung ist beispielsweise nur dann verständlich, wenn die

einzelnen Fakten näher im Text beieinanderstehen. Die Sequenzierung beeinflusst die Verknüpfungsmöglichkeiten und damit den Lernprozess (Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015). Eine inhaltliche Reihenfolge ist jedoch nicht nur innerhalb eines Textes, sondern auch auf der Ebene des Lehrbuches wiederzufinden. Auf Basis einer didaktischen Grundorientierung muss innerhalb des Lehrbuches nach und nach Wissen aufgebaut werden. Je nach Anordnung von Themen, können diese miteinander verknüpft und ein Lernprozess erleichtert werden. Eine mögliche Sequenzierung erfolgt nach sogenannten Lernhierarchien. Das bedeutet, dass die Verknüpfung von zu erlernendem Wissen zum Vorwissen im Vordergrund steht (Ballstaedt, Mandl, Schnotz, & Tergan, 1981). Die Sachstruktur in der Physik beschreibt, welches Konzept gewählt wurde, um das Thema verständlich zu machen; welche Reihenfolge und Gewichtung gewählt wurde, um bestenfalls Lernendenvorstellungen vorzubeugen. Dies wird genauer in Abschnitt 4.2 erläutert und auch in der Analyse im Zusammenhang mit dem Umgang der Lernendenvorstellungen betrachtet.

4.1.3 Textverständlichkeit

Wie aus der Umfrage bereits hervorgeht, ist die Verständlichkeit der Lehrbuchtexte von großer Bedeutung. Es ist anzumerken, dass es keine eindeutige Rezeptur für einen verständlichen Text gibt. Textverständlichkeit ergibt sich aus der Interaktion mit dem Leser und kann dadurch individuell je nach Voraussetzungen als verständlich oder unverständlich angesehen werden. In Kircher et al. werden vier Merkmale zusammengefasst, welche nachvollziehbare Texte befolgen: Einfachheit; Gliederung und Ordnung; Kürze und Prägnanz; und anregende Zusätze. Äußerlich wie innerlich müssen Texte geordnet sein: äußerlich durch Überschriften und Abschnitte, innerlich durch eine sinnvolle Abfolge. Verständliche Texte sollten eine hohe Informationsdichte beinhalten und umständliche, weitschweifende Sätze vermeiden. Anregende Zusätze sind Beispiele, Abbildungen, direkte Rede oder Humor (Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015).

In den zu vergleichenden Lehrbüchern der Physik finden sich nach Ballstaedts Definitionen von Textsorten hauptsächlich expositorische Texte und didaktische Zusatztexte. Expositorische Texte sind beschreibender und erklärender Art.

Didaktische Zusatztexte sind, wie der Name schon verrät, zusätzlich zum eigentlichen Text und unterstützen diesen durch Zusammenfassungen, Vorstrukturierungen oder Kontrollaufgaben (Ballstaedt, 1997).

Ähnlich wie Kircher et al. formuliert Ballstaedt drei Grundprinzipien für die Gestaltung von didaktischen Texten: Funktionalität, Einfachheit und Konsistenz. Es muss hinterfragt werden, welche Intention beim Leser ausgelöst werden soll und was fördernd für die Lernziele ist. Das Prinzip der Konsistenz achtet auf eine einheitliche und eindeutige Verwendung von äußerlichen und innerlichen Merkmalen, wie Platzierung oder Sprachstil (Ballstaedt, 1997). In der Physik werden viele fachspezifische Begriffe und Fachvokabeln eingeführt. Diese können im Übermaß zu einer Unverständlichkeit und Ablehnung der Inhalte führen. Feldner weist darauf hin, dass Lehrbücher nicht auf Fachbegriffe verzichten sollen, jedoch sei darauf zu achten, nicht einen überzogenen Anspruch an die Fachsprache zu haben (Feldner, 1999). Auch wenn im Studium ein höheres Niveau herrscht, kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Studenten die Fachbegriffe aus der Schulzeit verinnerlicht haben.

Nun kann ein Text nach diesen Merkmalen auf seine Verständlichkeit analysiert werden, was jedoch sehr subjektiv ausfallen würde. Es existieren daher auch Varianten, die mithilfe von Formeln versuchen über Wortanzahlen, Wortlängen, etc. die Verständlichkeit eines Textes objektiv zu messen. Ballstaedt stellt drei Varianten vor: Verständlichkeits-Index nach Amstad, Formel von Dicks und Steiwer und das Abstraktheits-Suffix-Verfahren (Ballstaedt, 1997). Für schulische Sachtexte gibt es speziell die Wiener Sachtextformeln, dessen Ergebnis auf die jeweilige Schulstufe rückschließen lässt (Feldner, 1999).

Verfahren	Voraussetzung	Variablen	Formel	Auswertung
Verständlichkeits-Index	Min 100 Wörter	Wortlänge=WL Satzlänge=SL	VI = 180 - (SL + WL x 58,5)	Je höher der Wert, desto leichter der Text

Formel von Dicks und Steiwer	Min 200 Wörter	WL=Wortlänge SL= Satzlänge Q=Anzahl unterschiedlicher Wörter/ Gesamtzahl Wörter	$V = 235,96 - (\log(WL + 1) \times 73,021) - (\log(SL + 1) \times 12,564 - (q \times 50,03))$	Je höher der Wert, desto leichter der Text
Abstraktheits-Suffix-Verfahren	Min 400 Substantive	A= Abstrakte Substantive= Anzahl Substantive mit best. Suffixe	$AI = \frac{\sum A \times 100}{N}$	Von Sehr konkret (0%-6,25%) bis sehr abstrakt (>31,25%)
4. Wiener Sachtextformel		MS=Mehrsilber; Mittlere Satzlänge=SL	$WSTF = 0,266 \times SL + 0,274 \times MS - 1,7$	Entsprechend Schulstufen 4-12, danach Schwierigkeitsstufen

Tabelle 1: Lesbarkeits- und Verständlichkeitsformeln

Nach diesen Verfahren kann eine vorläufige Aussage über die Verständlichkeit getroffen werden, jedoch würden diese Verfahren auch die Verständlichkeit von zusammenhangslosen Wortgebilden messen. Schließlich kann hierbei nicht auf inhaltliche Zusammenhänge eingegangen werden. Auch Kircher et al. kritisiert, dass die Qualität von Lehrbüchern nicht mit solchen Formeln bewertet werden können, da Lehrbücher vielseitig die Ausdrucksmöglichkeiten von Text, Bild und Formeln nutzen (Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015). Ein Zusammenspiel aus der objektiven Methode und den Eindrucksmerkmalen soll in dieser Arbeit als bestmöglich angenommen werden.

4.1.4 Textfragen und Aufgaben

Ein weiteres Merkmal der Textgestaltung sind Textfragen. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Wissens- und Verständnisfragen. Wissensfragen prüfen grundsätzlich nur die im Text behandelten Aspekte. Bei Verständnisfragen müssen die im Text behandelten Inhalte noch mit dem eigenen Vorwissen in Beziehung gebracht werden. Somit verlangen Verständnisfragen einen höheren Verarbeitungsprozess vom Leser, während bei Wissensfragen nur die Erinnerung aktiviert wird. Ein weiterer Aufgabentyp sind Anwendungsfragen. Dabei wird wie bei Verständnisfragen der Zusammenhang aus Neuerlerntem und Vorwissen

verlangt. Dies ist jedoch nur die Vorarbeit für die eigentliche Beantwortung der Anwendungsfrage. Die Lösung kann letztendlich kognitiv oder praktisch erfolgen. Grundsätzlich ist die Wirksamkeit von der Interaktion mit dem Leser abhängig. Idealerweise fördern Textfragen, dass Textinhalte, die für die Beantwortung einer Lernaufgabe relevant sind, und zur Aufgabenbewältigung benötigte Konzepte gefestigt werden. Durch die Beantwortung und Kontrolle von Textfragen kann der Leser seinen Lernprozess letztendlich reflektieren (Ballstaedt, 1997).

4.1.5 Merksätze und Zusammenfassungen

Unter diesem Strukturelement werden diejenigen Textabschnitte beschrieben, die das Lehrbuch kurz, prägnant und zusammenfassend von einem jeweiligen Thema wiedergibt. In diesem Fall werden nochmals die wichtigsten Inhalte auf komprimierten Niveau dargestellt. Diese Texte können vor oder nach dem dazugehörigen Text stehen. Vorangestellte Zusammenfassungen dienen dem Lernenden als Wiederholung und Überblick über das bereits Erlernte, sodass der Einstieg in ein neues Thema erleichtert wird. Der Leser „verschwendet“ keine Zeit sich sein vorheriges Wissen abzufragen und neu zu organisieren. Nachgestellte Zusammenfassung dienen ebenfalls der Wiederholung, gleichzeitig der Klarheit des neuen Themas. In einigen Lehrbüchern werden diese Zusammenfassungen als sogenannte „Merksätze“ markiert. Dies betont das der Lernende sich die in diesem Abschnitt befindenden Informationen besonders einprägen sollte, da sie von großer Bedeutung sind. Vom Fließtext abgehobene Merksätze helfen bei der späteren Reproduktion des Erlernten. Des Weiteren ermöglichen Zusammenfassungen dem selektiven Leser einen schnellen Eindruck und Überblick über den ganzen Text. Dadurch kann letztendlich ein gezieltes Lesen erfolgen. Ob nun eine Zusammenfassung wirklich lernfördernd wirkt, liegt bei der Verwendung des Lesers. Sollte ein Leser Schwierigkeiten haben die wichtigsten Informationen aus einem Text herauszulesen, werden diese in einer Zusammenfassung deutlich. Dies erleichtert den Verarbeitungsprozess und die spätere Wiedergabe (Ballstaedt, Mandl, Schnotz, & Tergan, 1981).

4.1.6 Abbildungen

Feldner stellte in seinen Untersuchungen zu Physikschulbüchern fest, dass Schüler Schwierigkeiten aufweisen, Abbildungen und Formeln in Texte einzubeziehen. Selbst bei der expliziten Bezugnahme auf Abbildungen, werden diese häufig im Lesefluss nicht betrachtet. Somit kann der Inhalt nicht vollständig erfasst werden. Ebenfalls stellte er fest, dass schematische Abbildungen teilweise nicht von Schülern verstanden werden oder verstanden werden können, da sie nicht selbsterklärend sind und nicht nochmals im Text aufgegriffen werden (Feldner, 1999).

Abbildungen können folglich sehr unterschiedlich vom Lehrbuchmacher oder vom Leser wahrgenommen werden. Entweder geben sie Zusammenhänge und Aussagen eindeutig verständlich an den Betrachter ab oder aber sie sind durch ihre Oberflächlichkeit hochgradig mehrdeutig. Es ist zu betrachten, welche Funktion das Abbild haben soll. Ein „Abbild“ ist im Gegensatz zum „Bild“ nur repräsentational. Das bedeutet, es bietet im Grunde die gleichen Informationen wie ein Realitätsausschnitt, ist jedoch auf irgendeine Weise reduziert. Meist vermitteln sie visuelles und räumliches Wissen. Abbildungen haben den Vorteil den Leser durch ästhetische Anreize auf sich aufmerksam zu machen. Sie schaffen es unanschauliche Textblöcke aufzubrechen und werden dadurch positiv in Lernmaterialien wahrgenommen. Gleichzeitig können sie ergänzend und unterstützend zu einem Text für Erklärungsansätze verwendet werden (Ballstaedt, Mandl, Schnotz, & Tergan, 1981).

Man unterscheidet zwischen realistischen, texturierten, schematischen und Linienabbildern. Realistische Abbilder beziehen sich auf Fotografien oder realitätsgetreue Gemälde. Texturierte Bilder sind Zeichnungen, die realitätsgetreu sind, jedoch auf Details wie Farbe oder Hintergrund verzichten. Im Vordergrund steht die plastische Vermittlung räumlicher Anordnung. Linienabbilder reduzieren die Darstellung auf Linien und einfache Formen. Diese reichen bereits aus, um Objekte wiederzuerkennen. Zuletzt sind bei schematischen Abbildungen die visuellen Merkmale am stärksten reduziert. Lediglich die Beziehungen von Objekten werden dargestellt. Durch ihre Einfachheit dienen sie oftmals auch als Vorlage für mentale Modelle. Ein bekanntes Beispiel aus der Physik für

schematische Abbildungen sind Elektrische Schaltkreise oder die Darstellung von Vektoren (Ballstaedt, 1997).

4.1.7 Mathematik

Schon aus den schulischen Kerncurricula zeigt sich, dass Mathematik einen wichtigen Teil des Problemlösens in der Physik ausmacht. Ein gutes mathematisches Verständnis wird auch in den Studienordnungen als nützlich und erleichternd für den Studienanfang bezeichnet, sodass sogar vor Studienbeginn Mathematikurse für Physikerstsemester angeboten werden. Laut einer Studie von Trump und Borowski, die Schulbuchaufgaben und Abituraufgaben der Physik analysierten, ist zum Lösen dieser Aufgaben prinzipiell ein kleines Mathematikverständnis nötig. Aufgaben, die ein Verständnis von Vektoren und Integralrechnung benötigen, sind in Lehrbüchern oder im Abitur meist gar nicht vorhanden. Meist liegen die Schwierigkeiten also nicht darin, dass dieses Mathematikverständnis nicht vorhanden ist. Sondern kann generell die Mathematik nicht auf die physikalischen Probleme übertragen werden (Trump & Borowski, 2014). Da also angenommen werden kann, dass die für die Physik notwendige Mathematik und deren Zusammenhang in der Schule nicht ausführlich genug behandelt wird, ist gerade die Wiederholung und Erklärung von Vektorrechnung zu Studienbeginn von Nöten und sollte in Universitätslehrbüchern aufgegriffen werden. Wie auch aus der Umfrage hervorgeht, fordert ein Großteil der Studenten, dass Lösungswege zu Aufgaben ausführlich, also nachvollziehbar und schrittweise, angegeben werden. Es ist zu betonen, dass nachvollziehbar nicht mit schrittweise synonym ist. Beispielsweise kann ein Lösungsweg mit jedem mathematischen Zwischenschritt dargestellt sein, jedoch ist für den Leser trotzdem nicht verständlich, wieso einzelne Ansätze verwendet wurden oder bestimmte Terme eingesetzt werden konnten. Dies muss gegebenenfalls zusätzlich erklärt werden.

4.2 Lernendenvorstellungen der Kinematik und Dynamik

Ein wichtiger Aspekt bei dem Vergleich von Lehrbüchern ist der Umgang mit Lernendenvorstellungen. Ähnliche Begriffe für Lernendenvorstellungen, die in der Physikdidaktik üblich sind, sind Alltagsvorstellungen, Fehlvorstellungen oder Schülervorstellungen. Der Begriff der Alltagsvorstellungen bezieht sich nur auf ein physikalisches Vorverständnis, das sich aus Alltagsphänomenen herausgebildet hat. Die Lernenden entwickeln, teilweise auch durch vorangegangenen Unterricht, der Physik entgegengesetzte Vorstellungen. Der Begriff Fehlvorstellungen ist ein sehr negativ konnotierter Begriff, der sich hauptsächlich auf die Vorstellungen des Lernenden bezieht, die nicht mit physikalischen Konzepten übereinstimmen und somit als „falsch“ verstanden werden. Sie können trotzdem in der Umgangssprache korrekt sein (Wilhelm, 2005). Der Begriff der Schülervorstellungen ist wohl am geläufigsten. Da es in dieser Arbeit allerdings um Studenten geht, wird von dieser Terminologie abgesehen. Es ist trotzdem anzunehmen, dass Studenten, gerade diese, die Physik in der Schule ausschließlich bis zur neunten Klasse belegten, die gleichen Vorstellungen wie Schüler besitzen. „Es zeigt sich, dass nicht nur Schülerinnen und Schüler bis hinauf zu Leistungskursen der Sekundarstufe II Probleme haben, den Newtonschen Kraftbegriff adäquat zu verstehen, sondern auch noch Studenten der Physik.“ (Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015). Bei Studenten zeigt sich der Sonderfall, dass sie neben den neuerlernten, physikalisch-richtigen Konzepten, gleichzeitig die physikalisch-inkorrekten Lernendenvorstellungen verinnerlichen.

Viele der sogenannten Lernendenvorstellungen basieren auf Alltagsvorstellungen. Schon vor dem ersten Physikunterricht sind Schüler oder Studenten im Alltag mit physikalischen Phänomenen und Begriffen vertraut. Es bildet sich ein scheinbar physikalisches Verständnis, das immer tiefer durch die Umgangssprache und bestimmte Erlebnisse bestätigt wird. Neben den aus dem Alltag entstandenen Lernendenvorstellungen gibt es auch Vorstellungen, die auf dem vorherigen Unterricht basieren. Teilweise entstehen erfundene Vorstellungen durch die Konfrontation mit dem neuen Lernstoff. Diese Vorverständnisse unterscheiden sich jedoch in wichtigen Aspekten mit der zu erlernenden Physik. Dies kann im Unterricht oder späterem Studium zu Lernschwierigkeiten führen. Die Lernschwierigkeiten basieren darauf, dass das Neuerlernte nur mit dem Vorwissen

erfasst und interpretiert wird. Um also neue physikalische Vorstellungen den Schülern oder Studenten nahe zu bringen, müssen die tief verankerten Lernendenvorstellungen bekannt sein und berücksichtigt werden (Duit, 2004).

Wie geht ein Lehrbuch mit diesen Lernendenvorstellungen um? Wo werden solche Präkonzepte unterstützt, übergangen und wo wird explizit versucht, vorhandene Lernendenvorstellungen anzugehen und zu korrigieren? Ähnlich wie eine Lehrperson muss das Lehrbuch dem Lernenden ermöglichen, Wissen selbst aufzubauen und nicht ausschließlich vorzugeben. Damit die Studenten von den Lernendenvorstellungen zu dem physikalischen Konzept wechseln können, müssen bestimmte Bedingungen für diesen Konzeptwechsel gelten. Es ist erneut zu erwähnen, dass die Lernendenvorstellungen nicht übergangen werden sollen. Es muss eine Lernsituation geschaffen werden, in der der Lernende zunächst mit seinem Vorwissen nicht erfolgreich ist. Daraufhin wird die neue physikalische Vorstellung verständlich, intuitiv plausibel vorgestellt und gezeigt, dass sie für nachfolgende Situationen und Probleme erfolgreicher ist (Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015). Auch wenn es meist so scheint, dass ein Lehrbuch nur Wissen vorlegen kann, welches der Leser passiv aufnimmt, sollte ein Lehrbuch durchaus eine aktive Auseinandersetzung mit dem Lernenden anregen und fördern. Um die Universitätslehrbücher zu untersuchen, in wieweit sie eine Verstärkung von Lernendenvorstellungen vermeiden und wie sie mit ihnen umgehen, werden nachfolgend die gängigsten Vorstellungen der Kinematik und Dynamik zusammengefasst. Anschließend werden die Möglichkeiten, die Mechanik einzuführen, nach Wiesner, Wilhelm und Wodzinski vorgestellt.

4.2.1 Kinematik

Ort gleich Weg

Die physikalischen Begriffe Ort und Weg erscheinen sich nicht von der Alltagssprache zu unterscheiden. Da jedoch im Schulunterricht oft nur mit einer eindimensionalen Bewegung in positive Koordinatenrichtung gearbeitet wird, erhalten Ort und Weglänge identische Werte und werden als identisch verinnerlicht. Somit erfahren Schüler oder Studenten eine Lernschwierigkeit bei dem Erlernen

zweidimensionaler Bewegungen. Hierbei ist der Ort die Punktposition im Koordinatensystem und die Weglänge die Länge der Bahnkurve.

Bewegung nur als ganzheitlicher Bewegungsablauf

Wodzinski liefert folgende Feststellungen bezüglich kinematischer Schülervorstellungen. Mit dem Begriff der Bewegung wird nach dem Alltagsverständnis der Schüler der Bewegungsablauf nur als Ganzes betrachtet. Eine momentane Bewegung ist eher fremd. Es ist geläufig von einer schnellen, kurvigen Bewegung zu reden, nicht aber von einer Bewegungsänderung. In der Physik ist jedoch von Bedeutung zu bestimmten Zeitpunkten einen Bewegungszustand zu bestimmen. Analog tendieren viele Schüler dazu, Bewegungsabläufe, genauer gesagt Geschwindigkeiten stets über die Formel $v = s/t$, welche im meist Anfangsunterricht verwendet wird, zu berechnen. Es findet keine Differenzierung von Punktgrößen und Intervallgrößen statt. Auch die Beschleunigung findet für Studenten oder Schüler meist nur über einen Zeitraum statt, nachdem eine Endgeschwindigkeit erreicht wird. Im physikalischen Kontext ist wiederum ähnlich wie bei der Bewegung und Geschwindigkeit, die Beschleunigung zu jeglichen Zeitpunkten zu bestimmen.

Geschwindigkeit gleich Schnelligkeit ohne Richtung

Mit Geschwindigkeit verbindet man in der Alltagssprache nur wie schnell oder langsam sich ein Körper bewegt, dies ist im physikalischen Verständnis hingegen nur der Betrag der Geschwindigkeit. Dies wird oftmals auch im Unterricht verstärkt, da lange Zeit nur von eindimensionalen Bewegungen gesprochen wird. Der dazugehörige Richtungsaspekt wird oftmals vernachlässigt. Im Alltag erscheint der Richtungsaspekt nur die Zielangabe zu sein, welche zusätzlich angegeben werden kann. Des Weiteren haben im Alltag zwei Körper, die sich auf das gleiche Ziel zubewegen, die gleiche Richtung. Eine Möglichkeit von dieser Fehlvorstellung abzukommen ist die klare Unterscheidung von der vektoriellen Größe „Geschwindigkeit“ und seinem Betrag „Tempo“.

Beschleunigung gleich Schnellerwerden

Der Beschleunigungsbegriff konkurriert mit verschiedenen Alltagsvorstellungen. Zunächst einmal ist der Begriff nur im Sinne als „Schneller werden“ verinnerlicht. Eine positive Beschleunigung ist den Schülern oder Studenten geläufig. Dass jedoch auch Abbremsen zu dem Begriff der Beschleunigung gehört, beachten viele

nicht oder empfinden ein negatives Vorzeichen als irritierend. Im Schulunterricht kann das Konzept von der positiven Beschleunigung gleich Schnellerwerden und negative Beschleunigung gleich Langsamerwerden vorgestellt werden, da die Bewegungen im Unterricht meist sowieso nur in positive Richtung erfolgen. Diese Reduktion führt jedoch zu Unverständnis, wenn die Bewegung in die negative Koordinatenrichtung erfolgt. Dadurch wird eine Beschleunigung negativ, obwohl sie den Körper schneller werden lässt. Diese Reduktion kann vielleicht im Schulunterricht verwendet werden, ist jedoch im Physikstudium nicht mehr akzeptabel. Es muss folglich die verschiedenen Beschleunigungsmöglichkeiten möglichst mit Koordinatensystem eingeführt werden.

Beschleunigung gleich Tempo, also Bilanzgröße wie Endgeschwindigkeit

Des Weiteren wird in der Umgangssprache mit Beschleunigung meist eine Endgeschwindigkeit beschrieben. Die Vorstellung, dass eine große Beschleunigung letztendlich auch ein hohes Tempo bewirkt überschattet, dass auch bei kleinen Tempodifferenzen eine große zeitliche Änderung der Geschwindigkeit stattfinden kann. Somit wird Beschleunigung als eine Bilanzgröße aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit angesehen und ähnlich wie der Geschwindigkeitsbegriff verwendet.

(Wilhelm, 2005) (Wilhelm & Heuer, 2002) (Wodzinski, 2004)

4.2.2 Dynamik

Nach einer Studie von Jung und Wiesner zeigt sich, dass Physikstudenten kein tieferes Verständnis des Newtonschen Kraftbegriffs besitzen. Eine Vermutung dafür lautet, dass im Physikstudium der Fokus stärker auf formalen Fähigkeiten liegt. Des Weiteren sind zusätzlich fehlerhafte oder irreführende Lehrbücher verantwortlich für die Verständnisschwierigkeiten. Studenten übernehmen Erklärungen und Darstellungen ohne kritisch zu hinterfragen, was dargestellt wurde. Sie bevorzugen übersichtliche Darstellungen und nehmen an, diese wären richtig, ausschließlich aufgrund ihrer Übersichtlichkeit und Einfachheit (Jung & Wiesner, 1981).

Kraft haben, Kraft ausüben, Kraft verbrauchen

Der Kraftbegriff ist in der Umgangssprache mit unterschiedlichen Bedeutungen geläufig: Kraft haben, Kraft ausüben, Kraft verbrauchen, etc. All diese Ausdrücke lassen den Kraftbegriff als eine Fähigkeit und nicht als eine Wechselwirkungsgröße erscheinen. Er wird verinnerlicht und in jeglichen Situationen als Synonym für andere physikalische Begriffe verwendet wie Impuls, Energie oder Leistung. Dabei ist nicht davon auszugehen, dass die Begriffe verwechselt werden oder der Kraftbegriff als Überbegriff verwendet wird. Der Schüler oder Student sieht schlicht nicht den Unterschied. Wilhelm beschreibt dies als Clusterbegriff (Wilhelm, 2005).

Nur aktive Körper üben Kraft aus

Eine weitere Lernendenvorstellung basiert auf dem Verständnis, dass Kraft nur von einem aktiven Körper ausgeht. Dieser wechselwirkt schließlich mit einem anderen Körper, der Widerstand leistet und folglich der passive Körper ist. Nach diesem Prinzip erfolgt das Konzept, das aktive Körper zielgerichtet Kraft ausüben, dagegen passive Körper diesen Ablauf hindern. Beispielsweise Reibungskräfte werden bei Bewegungsabläufen nicht als Kräfte angesehen, sondern nur als Widerstände. Diese Vorstellungen zu aktiven und passiven Körpern werden durch Formulierungen des dritten Newtonschen Axioms als „*actio=reactio*“ gefestigt. Für den Lernenden ist es folglich nicht nachvollziehbar, dass die Straße die beschleunigende Kraft auf ein Auto ausübt, da sie sich nicht aktiv beteiligen kann. Genauso übt in ihren Vorstellungen eine Wand keine Kraft auf einen Ball aus, wenn dieser gegen sie prallt. Des Weiteren wird beim dritten Newtonschen Axiom angenommen, dass Kraft und Reaktionskraft an demselben Körper angreifen. Wird an einem Gegenstand gezogen, wird die Gegenkraft auf die Hand bezogen und nicht auf eine am Gegenstand angreifende Kraft.

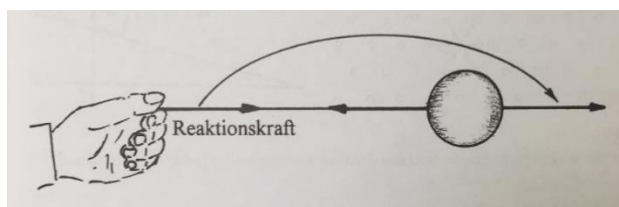


Abbildung 7: Lernendenvorstellungen zur Reaktionskraft aus Wodzinski, 2004

Sich bewegenden Körper haben Kraft

Aus der Unterscheidung von aktiven und passiven Körpern entsteht die Vorstellung, dass Kraft lediglich bei sich bewegenden Körpern vorkommt. Durch die Bewegung des Körpers erhält der Körper anscheinend eine innere Kraft, die zur weiteren Bewegung benötigt wird. Ein Zusammenstoß mit einem anderen Körper führt zur Abgabe der Kraft. Die Kraft wirkt in dieser Vorstellung in Richtung der Momentangeschwindigkeit, ist ihr im Betrag proportional und wird so dem Energiebegriff und Impulsbegriff gleichgesetzt.

Für konstante Geschwindigkeit wird eine konstante Antriebskraft benötigt

In Verbindung mit der Vorstellung, dass sich bewegend Körper Kraft haben, folgt, dass ein Körper, um sich konstant weiterzubewegen, eine konstante Antriebskraft in Bewegungsrichtung benötigt. Wird diese innere Antriebskraft aufgebraucht, kommt der Körper zur Ruhe, da er nicht gegen die äußeren Widerstände ankommt. Aus den Alltagserfahrungen heraus, werden Reibungskräfte direkt mit Zur-Ruhe-Kommen in Verbindung gesetzt. Diese Lernendenvorstellung ist bei der Formulierung des ersten Newtonschen Gesetztes zu beachten. Ob ein Körper in Ruhe oder sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, ist vom Bezugssystem abhängig.

Resultierende Kraft

Schülern aber auch Physikstudenten ist oftmals nicht klar, dass mit der erlernten Formel $m \cdot \vec{a} = \vec{F}$ die resultierende Kraft gemeint ist und a die beobachtete Beschleunigung darstellt. Diese Lernendenvorstellung wird häufig durch Darstellungen wie in folgender Abbildung in Lehrbüchern verstärkt. Dass bei diesen Darstellungen der Motorradfahrer oder die Kiste eine beschleunigte Bewegung in den Boden hinein ausführen, sollte ein Student kritisch erkennen, dennoch werden solche Abbildungen meist aufgrund ihrer Einfachheit übernommen.

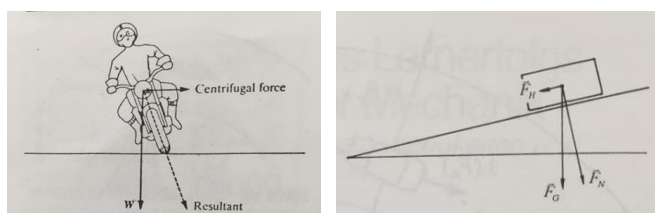


Abbildung 8: Abbildungen zu Lernendenvorstellungen zur Resultierenden Kraft aus Wodzinski 2004

(Wilhelm, 2005) (Wilhelm & Heuer, 2002) (Wodzinski, 2004)

4.2.3 Sachstruktur der Mechanik

Wie bereits im Abschnitt der Textsequenzierung erwähnt, beschreibt die Sachstruktur, welches Konzept gewählt wurde, um bestenfalls Lernendenvorstellungen vorzubeugen. Die Mechanik wurde lange Zeit sowohl im Unterricht, als auch im Studium über die Statik eingeführt, daraufhin wurde nur die eindimensionale Geschwindigkeit und Beschleunigung dargestellt, um schließlich direkt zu den Newtonschen Axiomen überzugehen. Die Einführung in die verschiedenen Bereiche der Mechanik können jedoch in unterschiedlicher Art und Reihenfolge erfolgen.

Bei der Einführung des Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbegriffes ist es möglich verschiedene Formeln zu verwenden. Die eindimensionalen, vereinfachten Formeln $v = \frac{s}{t}$ und $a = \frac{v}{t}$ sind Spezialfälle der Formeln $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ und $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, nämlich, wenn die Anfangswerte gleich Null sind. Eine andere Möglichkeit ist über die Vektorenschreibweise mit Verwendung des Ortsvektors und Geschwindigkeitsvektors die zweidimensionalen Formeln $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$ und $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ zu benutzen. Es ist nachzuvollziehen, dass Schüler oder Studenten Verständnisschwierigkeiten in den weiteren Physikthemen bekommen, wenn sie Größen wie Geschwindigkeit und Beschleunigung hauptsächlich als Spezialfall und/oder eindimensional kennenlernen und verinnerlichen. Werden die Begriffe hingegen von Beginn an als Vektoren eingeführt, kann dem Lernenden die Eigenschaften des Betrages *und* der Richtung deutlicher gemacht werden. Dabei ist besonders die Darstellung mit Pfeilen förderlich.

Ähnlich gibt es beim Kraftbegriff verschiedene Möglichkeiten diesen einzuführen. Über die Begriffsbildung kann Kraft beispielsweise über die Muskelkraft oder als Bewegungsursache eingesetzt werden. Bei der Muskelkraft entsteht das Problem, dass es rein nach der Alltagserfahrung schwierig ist, ob die Aktivität des Muskels als Kraft, Energie, Leistung, Druck oder Arbeit gedeutet werden soll. Die Lernendenvorstellung zum Clusterbegriff „Kraft“ wird dabei verstärkt. Ebenfalls stützen beide Begriffsbildungen die Vorstellung, dass Kraft etwas sei, das man *besitzt*. Die Kraft wird zu einer Sache, die zwischen wechselwirkenden Körpern ausgetauscht wird.

Jung betont:

„Man mag solche zweifelhaften Sichtweisen [...] für harmlos halten: Hauptsache, der Lerner kann mit den Formeln richtig umgehen. Man darf nicht vergessen, dass physikalische Begriffe nicht nur klassifikatorische Verwendung haben, sondern die Fragerichtung bestimmen. [...] Physikalische Begriffe sollten so weit wie möglich immer als Quellen solcher Suchverfahren gelernt werden.“ (Jung, 1977, S. 173)

Wird die Kraft als Größe \vec{F} eingeführt, muss darauf geachtet werden, dass sie zwei Systemen (\vec{F} ist die Einwirkung von System A auf System B) und einem Zeitpunkt oder Zeitintervall zugeordnet ist. Der Zeitaspekt bleibt allerdings meist unerwähnt und Kraft wird als „Momentankraft“ angesehen, obwohl es für den Lernenden unverständlich sein sollte, dass Kraft die Ursache für eine Bewegungsänderung ist, wenn es kein Zeitintervall für diese Änderung gibt. Jung führte daher die Größe des Stoßes ein und definierte Kraft als Stoßrate (Jung, 1977).

Dieses Konzept setzte sich nicht vollständig durch, wurde jedoch weiterentwickelt. Wodzinski und Wiesner konzipierten ein Unterrichtskonzept, bei dem hauptsächlich die Gleichung $\vec{F}x\Delta t = m\Delta\vec{v}$ als Newtonsche Bewegungsgleichung verwendet wird. Durch die Unterscheidung von einer Anfangs- und Zusatzbewegung, wird dabei $\Delta\vec{v}$ als Zusatzgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsänderung) definiert. Diese deutet darauf hin, dass eine Kraft auf den Körper einwirkt. Die Beziehungen a) je größer F , desto größer Δv ; b) je größer m , desto kleiner Δv und c) je größer Δt , desto größer Δv , führen schließlich zu der Newtonschen Bewegungsgleichung. Durch diese Formel kann sowohl experimentell eine Kraft bestimmt werden, gleichzeitig kann ein Rückschluss auf die Bewegung getroffen werden, ohne auf den Begriff der Beschleunigung einzugehen. (Wodzinski & Wiesner, 1994)

In einer Untersuchung wurde diese Sachstruktur mit der klassischen Sachstruktur bei Schülern der Jahrgangsstufe 7 verglichen. Das Ergebnis zeigte, dass die Schüler, die über die zweidimensionale Bewegung zur Dynamik unterrichtet wurden, signifikant mehr fachliches Verständnis, signifikant mehr Interesse am Fach Physik und eine signifikant höhere Selbstwirksamkeitserwartung hatten. (Wilhelm, Waltner, Hopf, Tobias, & Wiesner, 2009)

4.3 Zusammenfassung der Analysekriterien

Allgemein äußere Merkmale: Wie lautet der Titel? Wer hat an dem Lehrbuch mitgewirkt? In welcher Auflage ist es vorhanden? Wie viel kostet das Lehrbuch? Ist das Cover/Design ansprechend?

Leiteinrichtungen: Welche Leiteinrichtungen werden verwendet? Wie sinnvoll sind diese? Gibt es eine verständliche, einheitliche Kodierung? Sind Abschnitte klar erkennbar? Werden thematische oder nicht thematische Überschriften verwendet und welches Konzept steckt dahinter?

Textsequenzierung: Welche Gliederung gibt es auf Lehrbuch- und Textebene und welches Konzept steckt dahinter? Wie sind unterschiedliche Themen und Abschnitte gewichtet?

Textverständlichkeit: Was ergibt der objektive Test zur Textverständlichkeit? Wie ist der subjektive Eindruck zur Textverständlichkeit? Werden viele fachspezifische Begriffe verwendet und werden diese ausreichend eingeführt? Ist der Sprachstil konsistent?

Textfragen und Aufgaben: Gibt es Wissens-, Verständnis- und Anwendungsaufgaben? In welcher Gewichtung und auf welchem Niveau gibt es Aufgaben? Werden Textinhalte relevant behandelt und vertieft? Gibt es Lösungen im Lehrbuch und wie ausführlich sind sie?

Merksätze und Zusammenfassungen: Gibt es Zusammenfassungen und wo sind diese positioniert? Sind Merksätze vom Text gestalterisch abgehoben? Sind die Zusammenfassungen inhaltlich wirklich zusammenfassend und sachlich korrekt?

Abbildungen: Mit welchem Zweck werden Abbildungen verwendet? Sind die Abbildungen selbsterklärend? Sind sie sachlich korrekt? Gibt es eine Verknüpfung zwischen Abbildung und Text?

Mathematik: Wie umfangreich ist die Mathematik? Werden Lösungswege von Aufgaben schrittweise und nachvollziehbar angegeben? Wie stark wird mit Formeln im Text gearbeitet? Werden Herleitungen zu einzelnen Formeln aufgezeigt?

Lernendenvorstellungen: Welche Sachstruktur lässt sich erkennen? Auf welche Lernendenvorstellungen wird explizit eingegangen? Wie ist der Umgang mit den Lernendenvorstellungen? Werden sie übergangen, gefestigt oder widerlegt?

5 Analyse und Vergleich der Universitätslehrbücher

5.1 Vorstellung der ausgewählten Universitätslehrbücher

Bevor die eigentliche inhaltliche Analyse stattfindet, sollen die zu vergleichenden Universitätslehrbücher nach ihren allgemeinen, äußeren Merkmalen vorgestellt werden. Diese Merkmale beinhalten Autoreninformationen, der Preis, die äußere Erscheinung, Zusatzinformationen des Verlages und ein inhaltlicher Überblick. Um nachfolgend verständlicher und simpler über die Lehrbücher zu reden, die alle den Titel „Physik“ tragen, werden sie nach ihrem Herausgeber genannt: Gerthsen, Giancoli, Halliday und Tipler/ Mosca. Sie werden ihrem Namen entsprechend alphabetisch vorgestellt und je nach Kriterium nacheinander analysiert oder im direkten Vergleich gegenübergestellt.

5.1.1 Dieter Meschede – Gerthsen Physik



Abbildung 9: Cover Gerthsen Physik

Das Lehrbuch „Gerthsen Physik“ herausgegeben von Dieter Meschede ist das kleinste und preiswerteste Lehrbuch mit rund 50€ in dieser Arbeit. Dieter Meschede ist Dozent an der Universität Bonn und sein Forschungsgebiet ist die Laserphysik. Christian Gerthsen, nach dem das Lehrbuch benannt ist, war zwischen 1939 und 1948 Physikdozent an der Universität Berlin. Die erste Auflage des Lehrbuchs entstand aus den Niederschriften seiner Vorlesung und erschien 1948. Das Lehrbuch umfasst in zwanzig Kapiteln auf 1016 Seiten die klassischen Themen Mechanik, Schwingungen und Wellen, Thermodynamik, Elektrodynamik, Optik und Relativistische Physik und darüber hinaus spezielle Bereiche der Physik wie beispielsweise Laserphysik.

Im Vorwort wird erwähnt, dass das Lehrbuch den Anspruch habe ein „verlässlicher Begleiter [zu] sein, den man zur kompakten Prüfungsvorbereitung ebenso wie später als Nachschlagewerk verwenden kann“. Im Gerthsen sei aufgrund der Themenvielfalt und inhaltlichen Vollständigkeit zu jeglichen Problemen eine

Antwort zu finden. Um die Textverständlichkeit zu verbessern, sei in der 25. Auflage nun ein zweispaltiges Format mit neuer Farbgestaltung ausgewählt. Das Lehrbuch zielt auf die Bachelor- und Master-Studenten der Physik ab. Einige Bereiche im Buch sind zusätzlich mit einem „M“ markiert für Inhalte des Masterstudiums. Zum Lehrbuch gibt es online sogenannte e-Kapitel und einen Aufgabenkatalog (Gerthsen & Meschede, 2015).

In dieser Arbeit werden hauptsächlich die ersten drei Unterkapitel (von insgesamt neun Unterkapiteln) aus dem Abschnitt „Mechanik der Massenpunkte“ betrachtet. Sie heißen „Kinematik“ und „Dynamik und Statik“. Diese Themen werden auf insgesamt fünf Seiten zusammengefasst.

5.1.2 Douglas C. Giancoli – Physik

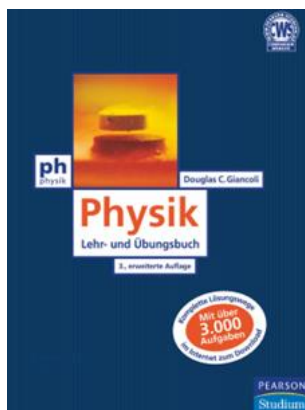


Abbildung 10: Cover Physik von Giancoli

Das sogenannte Lehr- und Übungsbuch von Douglas C. Giancoli ist der Umfrage nach besonders bei Physikstudenten aus den höheren Semestern bekannt. Douglas Giancoli lehrte an der University of California, Berkeley und schrieb mehrere Lehrbücher der Physik, beispielsweise „The Ideas of Physics“ und „Physics: Principles with Applications“. Die aktualisierte dritte Auflage des Lehrbuches mit den Originaltitel „Physics for Scientists and Engineers“ kostet rund 80€. Das Lehrbuch hat einen Umfang von 1547 Seiten und ist in 45 Kapitel unterteilt. In ihnen sind alle Einführungsthemen abgedeckt: Mechanik; Fluide, Schwingungen, Wellen und Schall; Kinematik und Thermodynamik; Elektrizität und Magnetismus, Licht und abschließend die moderne Physik. Jedes Kapitel besteht aus fünf bis zehn inhaltlichen Unterkapiteln, einer Zusammenfassung, Verständnisfragen und schließlich Aufgaben. Die Kapitel seien bewusst in dieser Reihenfolge angeordnet, können aber auch flexibel umsortiert werden.

Im Vorwort wird erklärt, dass das Ziel des Lehrbuchs sei, Studenten Physik verständlich und klar zu unterrichten. Dabei sei auf die Bedürfnisse und Schwierigkeiten von Studenten eingegangen worden. Obwohl es im Anhang einen

mathematischen Teil gibt, sind mathematische Zusätze und Erklärungen, wie zum Beispiel die Vektorrechnung, in den Text integriert. Trotzdem wird davon ausgegangen, dass die Studenten mit der Integralrechnung vertraut sind. Von einem Mathematikkapitel zu Beginn des Lehrbuches wurde abgesehen, da dies die Studenten überfordern könne. Allgemein sei das Buch nach einer modernen Didaktik konzipiert und folgende Aspekte seien dementsprechend integriert worden: Beispiele zur Begriffsbildung, Abschätzungsbeispiele, Problemlösungskästen, Aufgaben, Anwendungen, Randvermerke, bestimmte Anhänge und ein Farbcode (Giancoli, 2012).

Die in dieser Arbeit untersuchten Kapitel nennen sich „Beschreibung von Bewegungen – Kinematik in einer Raumrichtung“, „Kinematik in zwei Raumrichtungen; Vektoren“ und „Dynamik: Die Newton'schen Axiome“. Diese drei Kapitel umfassen jeweils um die 30 Seiten, folglich insgesamt 90 Seiten.

5.1.3 David Halliday/ Robert Resnick/ Jearl Walker – Physik

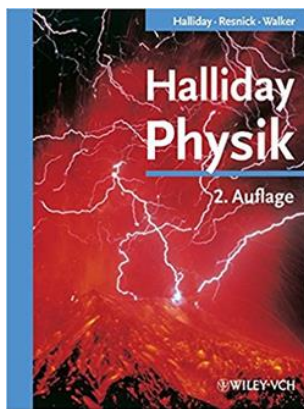


Abbildung 11: Cover Physik von Halliday

David Halliday war Dozent an der University of Pittsburgh nach dem zweiten Weltkrieg und Robert Resnick hatte eine Physikprofessur am Rensselaer Polytechnic Institute und wurde zum President of the American Association of Physics Teachers gewählt. 1960 erschien ihr erstes, gemeinsames Lehrbuch. Da beide mittlerweile im fortgeschrittenen Alter sind, bearbeitete ab 1990 Jearl Walker, Dozent an der Cleveland State University, die Neuauflagen des Lehrbuchs. Der deutsche Herausgeber Stephan W. Koch lehrt Physik in Marburg und ist häufig als Gastwissenschaftler an der Universität von Arizona, Tucson/USA (Halliday, Resnick, & Walker, 2009). Das Lehrbuch kostet in der aktuellsten deutschsprachigen Auflage 79€. Es behandelt auf 1396 Seiten sechs zentrale Themen: Mechanik, Schwingungen und Wellen, Thermodynamik, Elektrostatik und Elektrodynamik, Optik und Jenseits der klassischen Physik. Jedes Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung, Fragen und Aufgaben ab.

Die zweite Auflage des amerikanischen Lehrbuchs sei laut des Verlags stärker auf die Bedürfnisse der Studenten deutscher Hochschulen abgestimmt und das Lernmaterial „in didaktisch hervorragender Form präsentiert“. Die ersten Kapitel seien so konzipiert, dass sie physikalische Konzepte und ihre Mathematik auf Schulniveau einführen würde. Auf Verständnisprobleme solle durch unterschiedliche Konzeptvorstellungen besonders eingegangen werden. Im Bereich der Mathematik helfen detaillierte Lösungswege bei Rechenaufgaben, sogenannte Mathematikboxen, und in der Mechanik sogar ein eingeschobenes Mathematikkapitel. Es wird darauf hingewiesen, dass das Lehrbuch für Hauptfachstudenten konzipiert wurde (Halliday, Resnick, & Walker, 2009).

Die hier zu vergleichenden Inhalte sind auf vier Kapitel (115 Seiten) aufgeteilt. Nach dem ersten Kapitel genannt „Geradlinige Bewegung“ gibt es das Kapitel „Vektoren“, welches die mathematische Basis für das nachfolgende Kapitel schafft. Es folgen die Kapitel „Bewegung in zwei und drei Dimensionen“ und „Kraft und Bewegung I“.

5.1.4 Paul A. Tipler/ Gene Mosca – Physik für Wissenschaftler und Ingenieure

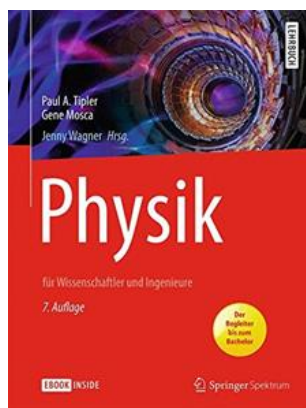


Abbildung 12: Cover Physik von Tipler/ Mosca

In dieser Arbeit wird die siebte deutschsprachige Ausgabe des amerikanischen Lehrbuchs von Paul A. Tipler und Gene Mosca betrachtet. Das Lehrbuch ist genauso wie der Gerthsen im Springer Verlag erschienen, kostet dagegen jedoch rund 80€ und ist weitaus umfangreicher. Paul A. Tipler war Physikprofessor an der Oakland University und gestaltete dort den Lehrplan für das Physikstudium. Gene Mosca hat an verschiedenen amerikanischen Universitäten Physikkurse gegeben und ist seit der fünften amerikanischen Auflage Mitautor. Das Lehrbuch ist mit 1420 Seiten in zwölf Teile gegliedert und behandelt der Reihenfolge nachfolgende Themen: Mechanik, Schwingungen und Wellen, Thermodynamik, Elektrizität und Magnetismus, Optik, Einsteins Relativitätstheorien, Quantenmechanik, Atome und Moleküle, Festkörperphysik und Kern- und Teilchenphysik. Im Anhang befinden sich Tabellen zu Einheiten, Umrechnungsfaktoren, etc. und Mathematische

Grundlagen. Jeder Teil beinhaltet neben den inhaltlichen Kapiteln eine Zusammenfassung und einen Aufgabenteil.

Ähnlich wie beim Giancoli gibt es vor dem Inhaltsverzeichnis ein sehr ausführliches Vorwort des Verlages. Zunächst werden vier essentielle Fragen geklärt: „Warum soll ich mich für dieses Buch entscheiden?“, „Was kann ich vom Tipler erwarten?“, „Für wen ist der Tipler geeignet?“ und „Was gibt es an Zusatzinhalten?“. Der Verlag verspricht, dass das Lehrbuch alle wesentlichen physikalischen Inhalte des Bachelorstudiums der Physiker und Ingenieure „besonders anschaulich und verständlich“ erkläre. Des Weiteren biete das Buch Rechenbeispiele und Übungen mit Lösungen zum Vertiefen. Der Tipler sei für Studenten mit physikalischem Abiturkenntnissen, sowohl Vertiefungs- bzw. Leistungsfach, sowie Grundkurs geeignet, und würde auch im Bereich der Mathematik auf Abitur-Grundkursniveau beginnen. Des Weiteren seien Abschnitte, die über den Umfang eines Nebenfach-Physikstudiums hinausgehen, gekennzeichnet (Tipler & Mosca, 2015).

Die hier untersuchten Kapitel nennen sich „Mechanik von Massepunkten“ und „Die Newton'schen Axiome“. Sie umfassen zusammen 50 Seiten.

5.2 Analyse und Vergleich nach Kriterien der Textgestaltung

5.2.1 Leiteinrichtungen

Im Bereich der Leiteinrichtungen unterscheiden sich die Lehrbücher nur im Detail. Alle verfügen über ein Inhaltsverzeichnis zu Beginn des Buches, welches die Haupt- und Unterkapitel mit ihren Überschriften und Seitenzahlen angibt und ein Sachverzeichnis am Ende des Lehrbuches zur einfachen Suche bestimmter Begriffe oder Namen. Sie unterscheiden sich in farblicher Gestaltung und Layout, sowie Konzeption des Inhaltsverzeichnisses.

a) Zur farblichen Gestaltung ist Gerthsen gedämpfter als die restlichen Lehrbücher. Es wird nur eine schwarze Schrift auf weißen Hintergrund verwendet und restliches in Schwarz, Grau und Orange gestaltet. Der Text ist zweispaltig gedruckt, was sich anbietet bei den kurzen Textabschnitten. Dadurch wirkt das Lehrbuch allgemein sehr einheitlich und klar. Das Inhaltsverzeichnis zeigt die drei Kapitelebenen und wirkt trotz der Anzahl von zwanzig Kapiteln übersichtlich.

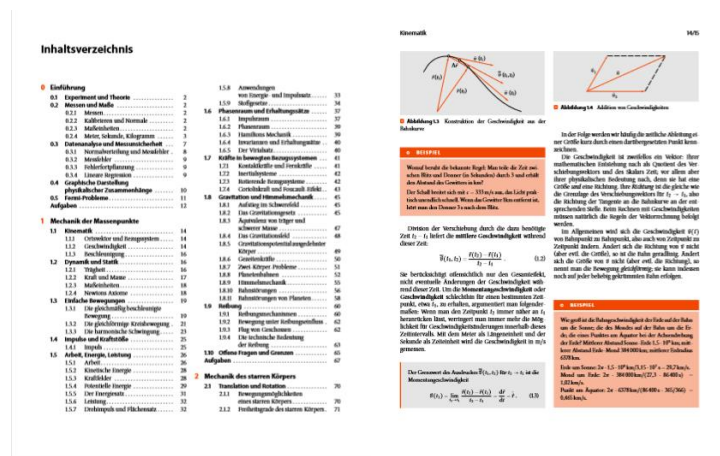


Abbildung 13: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Gerthsen

b) Giancolis Inhaltsverzeichnis ist aufgrund der 45 Kapitel unübersichtlich. Zusätzlich gibt es daher eine Inhaltsübersicht, die nur die Hauptkapitel nennt. Leider ist diese nicht in Themenbereiche gegliedert. Die lila Farbe des Inhaltsverzeichnisses zieht sich durch das Lehrbuch, durch die Seitenzahlen, Beispiel- und Aufgabenkästen und Zusammenfassungen. Der Text nimmt ca. zweidrittel der Seite ein, während der Rand für Abbildungen und Textmarginalien frei bleibt.

Inhaltsverzeichnis	
Vorwort	XVI
Kapitel 1 Einführung, Notationen, Abschätzungen	1
1.1 Die Physik der Mechanik	1
1.2 Mathematische Notation	2
1.3 Notation der Einheiten und Maßeinheiten	3
1.4 Einheiten der physikalischen Größen	4
1.5 Abschätzungen	5
1.6 Notation der physikalischen Größen	6
1.7 Notation der physikalischen Größen	7
1.8 Notation der physikalischen Größen	8
1.9 Notation der physikalischen Größen	9
1.10 Notation der physikalischen Größen	10
Kapitel 2 Beschreibung von Bewegungen – Kinematik in einer Dimension	23
2.1 Beschreibung der Bewegung	23
2.2 Beschleunigung	24
2.3 Beschleunigung	25
2.4 Beschleunigung	26
2.5 Beschleunigung	27
2.6 Beschleunigung	28
2.7 Beschleunigung	29
2.8 Beschleunigung	30
2.9 Beschleunigung	31
2.10 Beschleunigung	32
Kapitel 3 Kinematik in zwei Dimensionen, Vektoren	40
3.1 Vektoren	40
3.2 Vektoren	41
3.3 Vektoren	42
3.4 Vektoren	43
3.5 Vektoren	44
3.6 Vektoren	45
3.7 Vektoren	46
3.8 Vektoren	47
3.9 Vektoren	48
3.10 Vektoren	49
Kapitel 4 Dynamik: Die Newtonschen Axiome	49
4.1 Newtonsche Axiome	49
4.2 Newtonsche Axiome	50
4.3 Newtonsche Axiome	51
4.4 Newtonsche Axiome	52
4.5 Newtonsche Axiome	53
4.6 Newtonsche Axiome	54
4.7 Newtonsche Axiome	55
4.8 Newtonsche Axiome	56
4.9 Newtonsche Axiome	57
4.10 Newtonsche Axiome	58

Abbildung 14: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Giancoli

c) Halliday löst die Unübersichtlichkeit der vielen Kapitel im Inhaltsverzeichnis durch eine farbliche Kodierung, sodass jedes der sechs Oberthemen eine andere Farbe hat. Diese finden sich ebenfalls in den Farben der Seitenzahlen, der Aufzählungszeichen und Überschriften im Buch wieder. Dadurch kann beim Blättern erkannt werden, welches Thema gerade auf den Seiten behandelt wird ohne das Buch komplett aufzuschlagen und querzulesen. Die Überschriften von Unterkapiteln sind teilweise physikalische Begriffe, teilweise jedoch auch Fragen (Bsp.: Wodurch wird Beschleunigung verursacht?; Was sind Fluide?; Sind Winkelgrößen Vektoren?). Einerseits können diese Fragen Interesse wecken, gleichzeitig sind diese Fragen nicht unbedingt hilfreich beim Verwenden des Lehrbuches als ein Nachschlagewerk und es wirkt generell inkonsistent.

Inhaltsverzeichnis	
1-15 Mechanik	
16-18 Schwingungen und Wellen	
19-21 Thermodynamik	
22-24 Elektromagnetismus und Elektrodynamik	
25-27 Optik	
28-30 Relativitätstheorie	
31-33 Quantenphysik	
34-36 Atomphysik	
37-39 Kernphysik	
40-42 Teilchenphysik	
43-45 Astrophysik	
46-48 Kosmologie	
49-51 Biophysik	
52-54 Umweltphysik	
55-57 Medizinische Physik	
58-60 Sportphysik	
61-63 Astronomie	
64-66 Geophysik	
67-69 Umweltphysik	
70-72 Biophysik	
73-75 Medizinische Physik	
76-78 Sportphysik	
79-81 Astronomie	
82-84 Geophysik	
85-87 Umweltphysik	
88-90 Biophysik	
91-93 Medizinische Physik	
94-96 Sportphysik	
97-99 Astronomie	
100-102 Geophysik	
103-105 Umweltphysik	
106-108 Biophysik	
109-111 Medizinische Physik	
112-114 Sportphysik	
115-117 Astronomie	
118-120 Geophysik	
121-123 Umweltphysik	
124-126 Biophysik	
127-129 Medizinische Physik	
130-132 Sportphysik	
133-135 Astronomie	
136-138 Geophysik	
139-141 Umweltphysik	
142-144 Biophysik	
145-147 Medizinische Physik	
148-150 Sportphysik	
151-153 Astronomie	
154-156 Geophysik	
157-159 Umweltphysik	
160-162 Biophysik	
163-165 Medizinische Physik	
166-168 Sportphysik	
169-171 Astronomie	
172-174 Geophysik	
175-177 Umweltphysik	
178-180 Biophysik	
181-183 Medizinische Physik	
184-186 Sportphysik	
187-189 Astronomie	
190-192 Geophysik	
193-195 Umweltphysik	
196-198 Biophysik	
199-201 Medizinische Physik	
202-204 Sportphysik	
205-207 Astronomie	
208-210 Geophysik	
211-213 Umweltphysik	
214-216 Biophysik	
217-219 Medizinische Physik	
220-222 Sportphysik	
223-225 Astronomie	
226-228 Geophysik	
229-231 Umweltphysik	
232-234 Biophysik	
235-237 Medizinische Physik	
238-240 Sportphysik	
241-243 Astronomie	
244-246 Geophysik	
247-249 Umweltphysik	
250-252 Biophysik	
253-255 Medizinische Physik	
256-258 Sportphysik	
259-261 Astronomie	
262-264 Geophysik	
265-267 Umweltphysik	
268-270 Biophysik	
271-273 Medizinische Physik	
274-276 Sportphysik	
277-279 Astronomie	
280-282 Geophysik	
283-285 Umweltphysik	
286-288 Biophysik	
289-291 Medizinische Physik	
292-294 Sportphysik	
295-297 Astronomie	
298-300 Geophysik	
301-303 Umweltphysik	
304-306 Biophysik	
307-309 Medizinische Physik	
310-312 Sportphysik	
313-315 Astronomie	
316-318 Geophysik	
319-321 Umweltphysik	
322-324 Biophysik	
325-327 Medizinische Physik	
328-330 Sportphysik	
331-333 Astronomie	
334-336 Geophysik	
337-339 Umweltphysik	
340-342 Biophysik	
343-345 Medizinische Physik	
346-348 Sportphysik	
349-351 Astronomie	
352-354 Geophysik	
355-357 Umweltphysik	
358-360 Biophysik	
361-363 Medizinische Physik	
364-366 Sportphysik	
367-369 Astronomie	
370-372 Geophysik	
373-375 Umweltphysik	
376-378 Biophysik	
379-381 Medizinische Physik	
382-384 Sportphysik	
385-387 Astronomie	
388-390 Geophysik	
391-393 Umweltphysik	
394-396 Biophysik	
397-399 Medizinische Physik	
400-402 Sportphysik	
403-405 Astronomie	
406-408 Geophysik	
409-411 Umweltphysik	
412-414 Biophysik	
415-417 Medizinische Physik	
418-420 Sportphysik	
421-423 Astronomie	
424-426 Geophysik	
427-429 Umweltphysik	
430-432 Biophysik	
433-435 Medizinische Physik	
436-438 Sportphysik	
439-441 Astronomie	
442-444 Geophysik	
445-447 Umweltphysik	
448-450 Biophysik	
451-453 Medizinische Physik	
454-456 Sportphysik	
457-459 Astronomie	
460-462 Geophysik	
463-465 Umweltphysik	
466-468 Biophysik	
469-471 Medizinische Physik	
472-474 Sportphysik	
475-477 Astronomie	
478-480 Geophysik	
481-483 Umweltphysik	
484-486 Biophysik	
487-489 Medizinische Physik	
490-492 Sportphysik	
493-495 Astronomie	
496-498 Geophysik	
499-501 Umweltphysik	
502-504 Biophysik	
505-507 Medizinische Physik	
508-510 Sportphysik	
511-513 Astronomie	
514-516 Geophysik	
517-519 Umweltphysik	
520-522 Biophysik	
523-525 Medizinische Physik	
526-528 Sportphysik	
529-531 Astronomie	
532-534 Geophysik	
535-537 Umweltphysik	
538-540 Biophysik	
541-543 Medizinische Physik	
544-546 Sportphysik	
547-549 Astronomie	
550-552 Geophysik	
553-555 Umweltphysik	
556-558 Biophysik	
559-561 Medizinische Physik	
562-564 Sportphysik	
565-567 Astronomie	
568-570 Geophysik	
571-573 Umweltphysik	
574-576 Biophysik	
577-579 Medizinische Physik	
580-582 Sportphysik	
583-585 Astronomie	
586-588 Geophysik	
589-591 Umweltphysik	
592-594 Biophysik	
595-597 Medizinische Physik	
598-600 Sportphysik	
601-603 Astronomie	
604-606 Geophysik	
607-609 Umweltphysik	
610-612 Biophysik	
613-615 Medizinische Physik	
616-618 Sportphysik	
619-621 Astronomie	
622-624 Geophysik	
625-627 Umweltphysik	
628-630 Biophysik	
631-633 Medizinische Physik	
634-636 Sportphysik	
637-639 Astronomie	
640-642 Geophysik	
643-645 Umweltphysik	
646-648 Biophysik	
649-651 Medizinische Physik	
652-654 Sportphysik	
655-657 Astronomie	
658-660 Geophysik	
661-663 Umweltphysik	
664-666 Biophysik	
667-669 Medizinische Physik	
670-672 Sportphysik	
673-675 Astronomie	
676-678 Geophysik	
679-681 Umweltphysik	
682-684 Biophysik	
685-687 Medizinische Physik	
688-690 Sportphysik	
691-693 Astronomie	
694-696 Geophysik	
697-699 Umweltphysik	
700-702 Biophysik	
703-705 Medizinische Physik	
706-708 Sportphysik	
709-711 Astronomie	
712-714 Geophysik	
715-717 Umweltphysik	
718-720 Biophysik	
721-723 Medizinische Physik	
724-726 Sportphysik	
727-729 Astronomie	
730-732 Geophysik	
733-735 Umweltphysik	
736-738 Biophysik	
739-741 Medizinische Physik	
742-744 Sportphysik	
745-747 Astronomie	
748-750 Geophysik	
751-753 Umweltphysik	
754-756 Biophysik	
757-759 Medizinische Physik	
760-762 Sportphysik	
763-765 Astronomie	
766-768 Geophysik	
769-771 Umweltphysik	
772-774 Biophysik	
775-777 Medizinische Physik	
778-780 Sportphysik	
781-783 Astronomie	
784-786 Geophysik	
787-789 Umweltphysik	
790-792 Biophysik	
793-795 Medizinische Physik	
796-798 Sportphysik	
799-801 Astronomie	
802-804 Geophysik	
805-807 Umweltphysik	
808-810 Biophysik	
811-813 Medizinische Physik	
814-816 Sportphysik	
817-819 Astronomie	
820-822 Geophysik	
823-825 Umweltphysik	
826-828 Biophysik	
829-831 Medizinische Physik	
832-834 Sportphysik	
835-837 Astronomie	
838-840 Geophysik	
841-843 Umweltphysik	
844-846 Biophysik	
847-849 Medizinische Physik	
850-852 Sportphysik	
853-855 Astronomie	
856-858 Geophysik	
859-861 Umweltphysik	
862-864 Biophysik	
865-867 Medizinische Physik	
868-870 Sportphysik	
871-873 Astronomie	
874-876 Geophysik	
877-879 Umweltphysik	
880-882 Biophysik	
883-885 Medizinische Physik	
886-888 Sportphysik	
889-891 Astronomie	
892-894 Geophysik	
895-897 Umweltphysik	
898-900 Biophysik	
901-903 Medizinische Physik	
904-906 Sportphysik	
907-909 Astronomie	
910-912 Geophysik	
913-915 Umweltphysik	
916-918 Biophysik	
919-921 Medizinische Physik	
922-924 Sportphysik	
925-927 Astronomie	
928-930 Geophysik	
931-933 Umweltphysik	
934-936 Biophysik	
937-939 Medizinische Physik	
940-942 Sportphysik	
943-945 Astronomie	
946-948 Geophysik	
949-951 Umweltphysik	
952-954 Biophysik	
955-957 Medizinische Physik	
958-960 Sportphysik	
961-963 Astronomie	
964-966 Geophysik	
967-969 Umweltphysik	
970-972 Biophysik	
973-975 Medizinische Physik	
976-978 Sportphysik	
979-981 Astronomie	
982-984 Geophysik	
985-987 Umweltphysik	
988-990 Biophysik	
991-993 Medizinische Physik	
994-996 Sportphysik	
997-999 Astronomie	

Abbildung 15: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Halliday

d) Tipler/ Mosca verfügt über einen sogenannten Kurzzinhalt, der die Oberthemen aus dem Inhaltsverzeichnis angibt. Sinnvoller Weise gruppiert Tipler/ Mosca die vielen Kapitel in sechs thematische Teile. Des Weiteren arbeitet Tipler/ Mosca als einziges Lehrbuch mit Seitenmarginalien. Die Marginalien sind den Oberthemen nach untereinander angeordnet und tragen den Titel von dem behandelten Thema der jeweiligen Seite. Dies ermöglicht ein einfaches, selektives Arbeiten mit dem Lehrbuch. Nach dem ersten Eindruck der Inhaltsgliederung und den Kapitelbezeichnungen ist der Tipler/ Mosca sehr klar und neutral strukturiert. Es lässt sich erkennen, dass Gerthsen und Tipler/ Mosca vom gleichen Verlag sind, da das Buchcover, der zweispaltige Textdruck und die allgemein klare Struktur vom Inhaltsverzeichnis sehr ähnlich sind. Diese klare Struktur wird innerhalb der Kapitel jedoch etwas unterbrochen durch die vielen farblich hinterlegten Kästen für Formeln und Beispiele, die teilweise eine ganze Seite einnehmen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Physikalische Größen und Messungen

1	Physikalische Größen und Messungen	2
1.1	Vom Messen der Physik	4
1.2	Einheiten	6
1.3	Dimensionsanalyse	8
1.4	Signifikante Stellen und Rundungsregeln	10
1.5	Messunsicherheit und Messfehler	14
1.6	Zusammenfassung	16
1.7	Aufgaben	22

Teil II: Mechanik

2	Mechanik von Massenpunkten	25
2.1	Kinematik	26
2.2	Kinetik	30
2.3	Arbeit und Energie	36
2.4	Impuls und Drehimpuls	42
2.5	Relativitätstheorie	48
2.6	Zusammenfassung	54
2.7	Aufgaben	57

Teil III: Elektrodynamik

3	Elektrodynamik	68
3.1	Elektrostatik	69
3.2	Magnetostatik	74
3.3	Elektrodynamik	82
3.4	Relativitätstheorie	88
3.5	Zusammenfassung	94
3.6	Aufgaben	99

Teil IV: Wellen und Optik

4	Wellen und Optik	100
---	------------------	-----

Die Autoren: Walter D. Taylor, John D. Tipler, John A. Mosca, John D. T

Abbildung 16: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Tipler/ Mosca

5.2.2 Textsequenzierung

Auf Lehrbuchebeene sind alle Lehrbücher den Oberthemen nach gleich angeordnet: Mechanik, Schwingungen/Wellen, Thermodynamik, Elektrodynamik, Optik, Relativitätstheorie, Quantenmechanik und schließlich weitere Bereiche über die klassische Physik hinaus. Ebenfalls steigen alle Lehrbücher in die Physik über die Einführung von Messungen ein. Eine weitere Gemeinsamkeit ist, dass die Kapitel mit einer Zusammenfassung und einem Aufgabenabschnitt enden, was selbstverständlich am sinnvollsten ist. Auf die genauere Sachstruktur wird in Kapitel 5.3 zusammen mit den Lernendenvorstellungen eingegangen.

5.2.3 Textverständlichkeit

Für den objektiven Vergleich der Textverständlichkeit wird aus jedem Lehrbuch ein Textabschnitt aus dem gleichen Themenbereich gewählt, nämlich die Einführung in den Kraftbegriff. Es wird die 3. Wiener Sachtextformel für den objektiven Vergleich herangezogen, da hierbei das Ergebnis in Form der Schulstufe besser zu interpretieren ist: $WSTF = 0,266 \times SL + 0,274 \times MS - 1,70$. Der Wert SL ist die durchschnittliche Anzahl Wörter pro Satz und MS ist der prozentuale Anteil drei- oder mehrsilbiger Wörter. Bei längeren Sätzen kann die Konzentration und das Fähigkeit, dem Inhalt zu folgen, nachlassen. Mehrsilbige Wörter werden mit unverständlichen und/oder Fremdwörtern in Verbindung gesetzt. Je höher folglich diese Werte, desto unverständlicher der Text.

	Gerthsen	Giancoli	Halliday	Tipler/ Mosca
MS	26,207	16,429	25,84	18,3962
SL	14,5	16,471	23,2143	21,2
WSTF	9,334	7,183	11,55	8,98

Tabelle 2: Ergebnisse für 3. Wiener Sachtextformel

Nach diesem Test erscheint Halliday das höchste und Giancoli das niedrigste Lesbarkeitsniveau zu haben. Trotzdem ist das Ergebnis, dass es sich um einen Sachtext der Schulstufe 11/12 handelt, für Studenten angemessen. Beim subjektiven Durchlesen zeigt sich, dass es sich oftmals um Aufzählungen von Beispielen handelt oder wiederholte Begriffe wie Beschleunigung oder Geschwindigkeit in die Terme einfließen, welche eigentlich nicht die Verständlichkeit verschlechtern.

a)b) Gerthsen und Giancoli verwenden beide kurze Sätze durch womöglich ähnlich knappe Formulierungen. Bei der inhaltlichen Analyse zeigt sich allerdings, dass Gerthsen sehr viele Informationen in kurzen Sätzen zusammenträgt, diese Zusammenhänge aber nicht erläutert. Physikalische Fakten werden ohne Erläuterung oder Herleitung gekürzt genannt. Giancolis kurze Sätze vereinen dafür vorangegangene Informationen aus längeren Sätzen. Dadurch sind sie weitaus verständlicher und besser nachzuvollziehen. Gerthsen erscheint wie ein kurzgefasstes Nachschlagewerk, während Giancoli abwechselnd kurze und ausführliche Erklärungen bereitstellt.

c) Hallidays Texte sind weniger neutral beschreibend, sondern sehr auf der persönlichen Ebene formuliert: „Wir wollen nun...“, „So können wir...“, „Lassen Sie uns nun...“, „Stellen Sie sich vor...“etc. Der Text gestaltet sich als eine Art Gespräch zwischen Autor und Leser, in dem viele Beispiele und Überleitungen verwendet werden. Es wird immer wieder an Vorwissen angeknüpft und wiederholte Erklärungen eingeschoben, was sehr positiv anzumerken ist.

d) Tipler/ Mosca spricht ebenfalls den Leser direkt an. Beispielsweise wird der Leser aufgefordert, sich Phänomene und Situationen vorzustellen. Der Textfluss wird oftmals durch Terme anstelle der Begrifflichkeit, Verweise zu Abbildungen, Beispiele oder die Umbrüche aufgrund der zweispaltigen Druckart unterbrochen, was sich negativ auf die Verständlichkeit auswirkt.

5.2.4 Textfragen und Aufgaben

a) Gerthsen verwendet innerhalb des Kapitels Beispiele, welche eine Frage und die dazugehörige Antwort beinhalten. Es sind kurze Wissensfragen, die den Leser zum Mitdenken anregen. Sie können zur Selbsteinschätzung genutzt werden, wenn der Leser diszipliniert die Beispiele durchgeht und nicht einfach nur überliest. Es sind keine Lösungswege angegeben, welche beim selbstständigen Bearbeiten von Aufgaben helfen könnten. Bei den abschließenden Aufgabenkapiteln gibt es nach Unterthemen sortierte Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsniveaus, welche sich anhand von Pluszeichen erkennen lassen (je mehr Pluszeichen, desto anspruchsvoller die Aufgabe). Zu den Themen Kinematik und Dynamik gibt es jeweils nur zwei Aufgaben. Leider gibt es zu den Aufgaben, die größtenteils Verständnisfragen sind, keine Lösungen im Lehrbuch. Sie sind jedoch als Zusatzmaterial online verfügbar. Bei Rechenaufgaben müssen teilweise Informationen noch recherchiert werden. Die erste Aufgabe zur Kinematik verlangt, die mittlere Geschwindigkeit von Weltrekordzeiten für Laufstrecken zu berechnen. Diese Zeiten und Strecken sind nicht angegeben und es ist zu bezweifeln, dass der Leser diese zunächst recherchiert und anschließend berechnet.

b) Im Giancoli sind verschiedene Beispieltypen mit Lösungswegen innerhalb des Textes in einem Kasten farblich vom restlichen Text abgesetzt. Sie besitzen eine Überschrift, sodass der Leser entscheiden kann, ob das Beispiel von Interesse ist

und bearbeitet wird oder der Fließtext weitergelesen wird. Es wird unterschieden zwischen Beispielen zur Begriffsbildung (rot), Abschätzung (grün) und Übungsaufgaben (lila). Die Beispiele zur Begriffsbildung dienen als schnelle Wissensfragen, die mit dem vorherigen Text beantwortet werden können. Somit werden neu eingeführte Begriffe gefestigt. Abschätzungsbeispiele fördern, wie der Name schon sagt, das Studenten abschätzen können, welche Größenordnungen sinnvoll sind. Die Übungsaufgaben sind klassische Aufgaben, wie sie auch im Anhang des Kapitels vorkommen. Die Lösungswege der Beispiele sind teilweise sehr kurzgefasst. Beispielsweise werden nicht die verwendeten Formeln in ihrer neu eingeführten Grundform verwendet, sondern sind bereits nach der gesuchten Größe umgestellt. Vorteilhaft ist allerdings, dass die vorgerechneten Beispielaufgaben an Schwierigkeit zunehmen, sodass auch die Aufgaben mit höherem Schwierigkeitsniveau im Anhang von Studenten besser bearbeitet werden können. Die Aufgaben im Anhang jedes Kapitels sind abschnittsweise und nach Niveau unterteilt. Typ I sind einfache Aufgaben zum Aufbauen von Sicherheit, Typ II sind „normale“ Aufgaben, welche eine Kombination aus Vorwissen und neu erlerntem benötigen und Typ III kombiniert verschiedene Problematiken und soll auch leistungsstarke Studenten herausfordern. Es ist zu bemängeln, dass sich im Anhang nur die Lösungen zu jeder zweiten Aufgabe befinden. Meist ist es ein einzelner Wert, was leider nicht zum Überprüfen des eigenen Lösungsweges dient. Teilweise handelt es sich auch um Aufgaben, die als Lösung einen Graphen oder eine Zeichnung benötigen, und diese sind vorteilhafter Weise im Anhang zu finden. Die restlichen Lösungen können online nachgeschaut werden.

c) Halliday arbeitet innerhalb des Kapitels mit Kontrollfragen und Beispielaufgaben. Abschließend zu jedem Kapitel gibt es einen Fragen- und Aufgabenteil. Die Kontrollfragen sind kurze Wissensfragen, die mit den Informationen aus dem vorangegangenen Text in minimaler Zeit beantwortet werden können. Der Leser kann mit wenig Zeitaufwand reflektieren, wie gut der Text verstanden wurde und ob gegebenenfalls der Stoff zu wiederholen ist. Die Antworten zu den Kontrollfragen gibt es im Anhang und sind teilweise mit einer stichpunktartigen Erklärung versehen. Ebenfalls innerhalb des Textes sind die sogenannten Beispielaufgaben. Hierbei werden Aufgaben schrittweise vorgerechnet und mit ausführlichen Lösungsstrategien vorgestellt. Somit soll eine Herangehensweise an Probleme den Studenten nähergebracht werden. Die Fragen

sollen ähnlich wie die Kontrollfragen inhaltliche Informationen überprüfen. Hierbei sind weniger Berechnungen, hingegen vielmehr Argumentationen notwendig. Bei den Übungsaufgaben (je nach Kapitelinhalt bis zu 70 Aufgaben) kann das Neuerlernte mit dem Vorwissen verknüpft und vertieft werden. Die Aufgaben sind nach Abschnitten des Kapitels sortiert und ihr Schwierigkeitsgrad nimmt mit jeder Aufgabe zu. Die Lösungen zu den Aufgaben sind am Ende des Buches zu finden. Bei speziell gekennzeichneten Aufgaben gibt es ausführlichere Lösungswege im Lösungsband oder sind online einsehbar. Die Lösungen bestehen meist nur aus einem einzigen Wert, was viele Studenten in der Umfrage bemängelt haben. Der Student kann nicht die Ansätze oder Zwischenergebnisse erkennen. Gleichzeitig zeigt es auch, dass es hauptsächlich Rechenaufgaben sind und keine Zeichnungen oder ähnliches benötigt werden. Es ist jedoch auch nachzuvollziehen, dass ausführliche Antworten, bei bis zu 70 Aufgaben pro Kapitel, das Lehrbuch im Umfang zu sehr ausdehnen würden.

d) Tipler/ Mosca bietet dem Leser innerhalb des Kapitels Übungen, Verständnisfragen und vier Typen von Beispielaufgaben in farblich hinterlegten Kästen. Bei den Beispielkategorien wird ein Aufgabentyp ausführlich und schrittweise gelöst. Zunächst erfolgt eine Problembeschreibung, dann die Lösungen der Teilaufgaben, anschließend eine Plausibilitätsprüfung und teilweise einen Abschnitt genannt „Weitergedacht“. Die blauen Beispielaufgaben sind Standardaufgaben und Wissensfragen zur Vertiefung der Inhalte des Textes. Bei den grünen Beispielen fallen die Erklärungen kürzer aus, da es sich um „selbstverständliche“ Rechnungen handelt. Rot markierte Beispiele beziehen sich auf beschreibende Aufgabentypen mit dem Fokus auf technische oder Alltagssituationen. Die letzte Beispielkategorie in lila erfordert keinerlei Rechnung zur Beantwortung, sondern nur das korrekte Verwenden und Argumentieren mit Begriffen und Gesetzmäßigkeiten. Innerhalb des Textes stößt der Leser auf Rechenübungen und Verständnisfragen, welche in kurzer Zeit mit den Informationen des vorherigen Abschnitts beantwortet werden können. Die Lösungen dieser beiden Aufgabentypen sind nach dem Zusammenfassungsabschnitt zu finden. Abschließend zu jedem Kapitel gibt es um die 60 Aufgaben sortiert nach Oberthemen und verschiedener Schwierigkeitsniveaus. Es handelt sich dabei um Verständnisfragen, Rechenaufgaben, Schätzungsaufgaben oder allgemeine Aufgaben, die mehrere

Themen kombinieren. Die Lösungen dazu befinden sich nicht im Lehrbuch. Somit kann der Student nicht seine Ergebnisse überprüfen und seinen Lernerfolg reflektieren.

5.2.5 Merksätze und Zusammenfassungen

a) Wie bereits im Abschnitt der Textsequenzierung erwähnt, verfügt Gerthsen als einziges Lehrbuch in diesem Vergleich nicht über einen abgegrenzten Zusammenfassungsteil. Da das Buch jedoch generell im Umfang kürzer ist, kann von einer Zusammenfassung abgesehen werden. Gerthsen bietet stellvertretend grau abgesetzte Kästen innerhalb des Textes. In ihnen sind Informationen in kurzer Form, meist in nur ein oder zwei Sätzen, zusammengetragen und je nach Inhalt wird unterstützend die dazugehörige Formel genannt. Sie sind leider teilweise unverständlich, da sie nicht im expositorischen Text ausführlich erklärt werden. Zusätzlich werden Terme im Fließtext verwendet, welche bei Studenten zu Schwierigkeiten führen können.

Der Grenzwert des Ausdruckes $\bar{\vec{v}}(t_1, t_2)$ für $t_2 \rightarrow t_1$ ist die Momentangeschwindigkeit

$$\vec{v}(t_1) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{\vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}. \quad (1.3)$$

Abbildung 17: Merkkasten aus Gerthsen

b) Es wird bei der ersten Zusammenfassung im Giancoli darauf hingewiesen, dass die Zusammenfassungen nicht zum Verstehen des Stoffes dienen, sondern nur einen kurzen Überblick bieten. Sie sind in einem lila Kasten und zweispaltig gedruckt. Die jeweiligen Oberthemen/Begrifflichkeiten sind fettgedruckt und werden in ein oder zwei Sätzen erklärt. Da sie nur durch Absätze voneinander getrennt sind, wirkt die Zusammenfassung generell wie ein Fließtext und verleitet nicht dazu/ bietet nicht an, ausschließlich die Zusammenfassung zum jeweiligen Begriff durchzulesen. Es gibt bei Formeln keine Verweise zum Text, die das Nachschauen erleichtern.

Die **Momentangeschwindigkeit** ist die Durchschnittsgeschwindigkeit eines unendlich kurzen Zeitintervalls (Δt darf gegen Null gehen):

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \frac{ds}{dt},$$

wobei dx/dt die Ableitung von x nach t ist.

Auf einer Weg-Zeit-Kurve ist die *Steigung* gleich der Momentangeschwindigkeit.

Beschleunigung ist die Änderung der Geschwindigkeit pro Zeiteinheit. Die **Durchschnittsbeschleunigung** eines Körpers über ein Zeitintervall Δt beträgt

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t},$$

wobei Δv die Änderung der Geschwindigkeit während des Zeitintervalls Δt ist.

Abbildung 18: Auszug einer Zusammenfassung aus Giancoli

c) Hallidays Zusammenfassungen sind zweiseitig gedruckt und liegen zwischen dem inhaltlichen Text und dem Fragen- und Aufgabenteil. Mit einem Pfeil werden die relevanten Begriffe aufgezählt. Jeder Begriff wird zunächst beschrieben und gegebenenfalls wird die dazugehörige Formel mit Verweis zum Text aufgeführt. Somit kann bei Unverständnis auf den Text zurückgegriffen werden. Wichtige Aspekte oder Wörter werden fett- oder bei Wiederholungen kursivgedruckt um dem Leser deutlich zu werden.

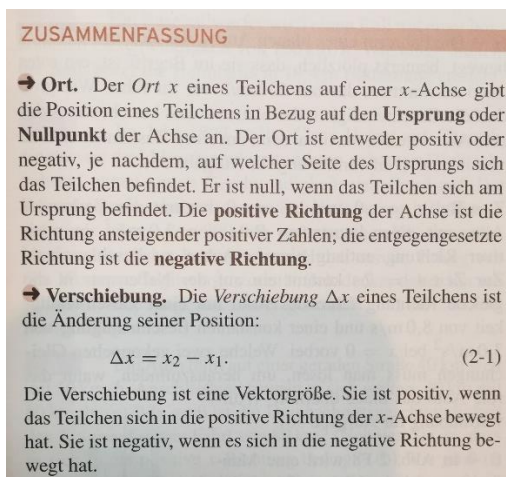


Abbildung 19: Auszug einer Zusammenfassung aus Halliday

d) Die Zusammenfassungen im Tipler/ Mosca sind tabellenartig strukturiert. In der ersten Spalte steht das Thema und in der zweiten Spalte folgen die dazugehörigen wichtigen Gleichungen und Anmerkungen. Es gibt meist ein Oberthema, welches dickgedruckt ist, und in den darunter stehenden Zeilen folgen die dazugehörigen Begrifflichkeiten. In den Zusammenfassungen werden meist nur die Formeln mit

Verweis auf den Text genannt. Die Begrifflichkeit wird jedoch nicht genauer in Worten erklärt. Eine hilfreiche Zusammenfassung zum Einprägen von inhaltlichen Informationen bietet dies folglich nicht. Lediglich die Formeln werden gefestigt.

Thema	Wichtige Gleichungen und Anmerkungen
1. Verschiebung	Die eindimensionale Verschiebung ist definiert durch $\Delta x = x_2 - x_1$.

(2.1)

Abbildung 20: Auszug einer Zusammenfassung aus Tipler/ Mosca

5.2.6 Abbildungen

Alle Lehrbücher bieten eine Abwechslung an Abbildungen: realistische Abbilder, Linienabbilder und schematische Bilder. Realistische Abbilder dienen meist als Einstieg in ein Kapitel oder visuelle Unterstützung von Aufgaben. Für die Vektorendarstellungen bieten sich schematische Bilder mit Pfeilen an.

a) Gerthsen beinhaltet insgesamt 330 schwarz-weiß Abbildungen und 1000 Abbildungen in Farbe. In den zu vergleichenden Kapiteln arbeitet Gerthsen mit schematischen Bildern in Schwarz und Orange auf grauem Hintergrund. Hauptsächlich werden in den gegenübergestellten Kapiteln Vektoren und Bewegungsabläufe in Pfeilschemata dargestellt. Es lässt sich eine Inkonsistenz und Unverständlichkeit der Darstellungen erkennen, welche bei Studenten zu Lernschwierigkeiten führen können. Die Unverständlichkeit basiert auf fehlender Beschriftung innerhalb der Abbildung oder fehlender Erklärung im Text. Nachfolgend sieht man beispielsweise die Inkonsistenz der Gestaltung für die Vektorrechnung: bei der Vektoraddition fehlt die Beschriftung der einzelnen Pfeile, während sie bei der Subtraktion vorhanden sind. Bei der Addition von Geschwindigkeiten ist die Erweiterung zu einem Parallelogramm mit gestrichelten Linien eingezeichnet (davor mit durchgezogener Linie), die Rechnung wird nicht aufgezeigt und der resultierende Pfeil hätte farblich/gestalterisch von den anderen Vektoren abgehoben werden können. Gerthsen scheint dabei zu sehr auf die

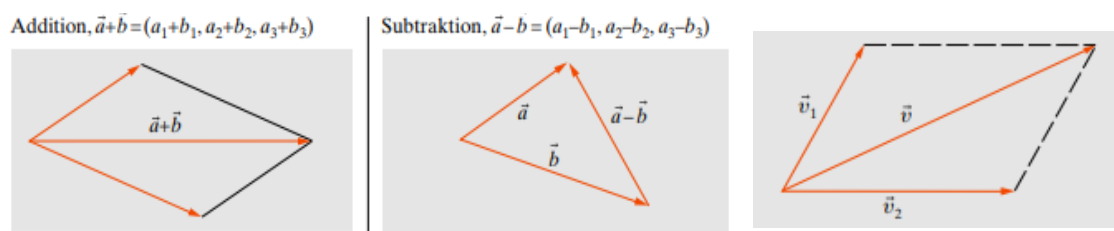


Abbildung 21: Vektordarstellung aus Gerthsen

farbliche Reduzierung von drei Farben zu achten, um die Abbildungen einfacher erscheinen zu lassen. Bei nachfolgender Abbildung soll dargestellt werden, dass ein Vektor parallelverschoben werden kann, sodass die Anfangspunkte der Geschwindigkeitsvektoren beieinanderliegen. Durch diese Verschiebung kann schließlich ein Δv angegeben und dementsprechend ein Beschleunigungsvektor eingezeichnet werden. Bei der Abbildung wäre es hilfreich gewesen den verschobenen Vektor farblich oder durch eine Beschriftung zu kennzeichnen oder den Ablauf schrittweise darzustellen.

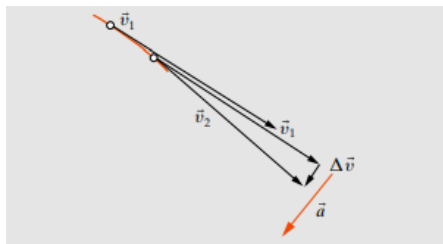


Abbildung 22: Vektorverschiebung aus Gerthsen

b) Giancoli arbeitet mit einem Farbcode, der im Vorwort eingeführt wird. Der Farbcode bedeutet, dass beispielsweise Vektoren, je nach physikalischer Größe, eine bestimmte Farbe zugeordnet bekommen. Diese werden sowohl in schematischen Abbildungen, als auch realistischen Abbildungen durch das ganze Lehrbuch verwendet. Diese Einheitlichkeit erleichtert das Verstehen und dadurch auch das Lernen. Die Abbildungen sind hauptsächlich am Rand positioniert. Somit unterbrechen sie nicht den Lesefluss, gleichzeitig können sie dadurch aber auch übergangen werden. Giancoli verwendet viele Graphen aus zweidimensionalen Koordinatensystemen, welche auch zum Beantworten vieler Aufgaben benötigt werden. Dadurch werden gerade bei der Kinematik die Zusammenhänge von Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ort und Zeit in unterschiedlichen Situationen deutlich. Der Student lernt mithilfe von Graphen Aufgaben im Voraus abzuschätzen. Gleichzeitig nutzt Giancoli realistische Abbildungen für Beispiele und Aufgaben um das Problem visuell verständlicher zu gestalten. Die Abbildungen sind dann meist mit Pfeilen und Werten beschriftet.

c) Halliday beinhaltet 1895 Farbababbildungen. Jedes Kapitel beginnt mit einem realistischen Bild und einer Problemstellung oder Experiment aus dem Alltag. Somit erfolgt ein motivierender Einstieg. Die Abbildungen innerhalb der Kapitel sind ähnlich wie bei Giancoli am Textrand positioniert, häufig Graphen in einem zweidimensionalen Koordinatensystem und bei Aufgaben visuell ergänzend. Sie

sind meist zusätzlich beschriftet, um einen Aspekt der Abbildung genauer zu erklären oder auf etwaiges hinzuweisen. Halliday arbeitet zwar nicht mit einem Farbcode trotzdem sind die Vektoren in Zeichnungen je nach Bedeutung farblich voneinander verschieden. Im Kapitel zu zwei- und dreidimensionaler Bewegung werden zusätzlich dreidimensionale Graphen verwendet, sodass der Student auch mit diesen Darstellungen vertraut wird.

d) Tipler/ Mosca beinhaltet 950 schwarz-weiß Abbildungen und 650 Abbildungen in Farbe. Die Abbildungen haben ausführliche Beschriftungen. Dadurch muss weniger im Fließtext auf die Abbildungen eingegangen werden. Allerdings ist zu hinterfragen, wie gut Studenten mit den Beschriftungen arbeiten und diese durchlesen. In den Kapiteln bleibt Tipler/ Mosca bei den Kraft-, Orts- und Geschwindigkeitsvektoren farblich einheitlich. Im Bereich der Kinematik wird immer wieder das gleiche Schemata von Graphik verwendet, in der hintereinander die Verschiebung, die Mittlere Geschwindigkeit, die Momentangeschwindigkeit und die Beschleunigung eingeführt werden. Die Abbildung zeigt ein zweidimensionales Koordinatensystem mit orange eingezeichneter Bahnkurve auf der Punkte liegen, die mit einem Anfangswert verbunden werden. Auf den ersten Blick kann dies einen Studenten irritieren und er vereinheitlicht, was mit der Bahnkurve gemeint ist. Die Grafiken sind jedoch mit Blick auf die Achsenbeschriftung und Durchlesen der Beschriftung leicht verständlich. Die Arbeit mit zweidimensionalen Graphen wird also vertieft.

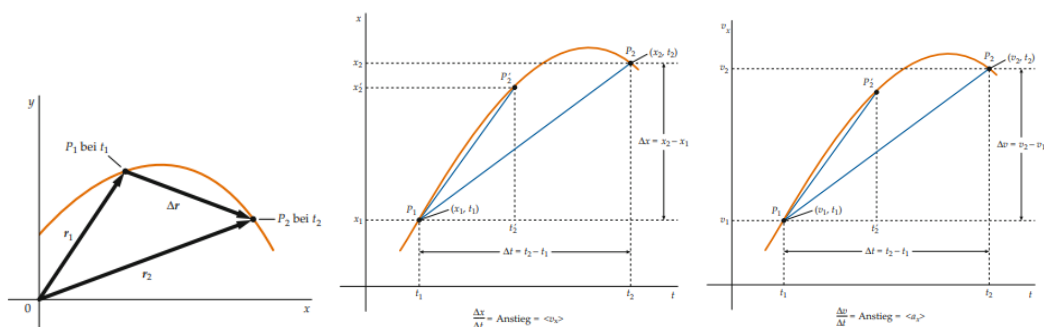


Abbildung 23: Graphen für Orts-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbestimmung aus Tipler/ Mosca

Tipler/ Mosca zeigt gerade bei den Abbildungen der Dynamik die Kombination aus realistischem Abbild und dazugehörigem schematischen Abbild oder der Überlagerung von realistischem Abbild und schematischen Symbolen. Dadurch

wird das theoretische Wissen mit praktischen, visuellen Fällen verbunden und Problemstellungen greifbarer.

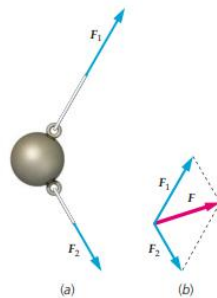


Abbildung 3.6 a) An der Kugel ziehen zwei Kräfte F_1 und F_2 . b) Die Wirkung der beiden Kräfte ist dieselbe, wie wenn auf die Kugel anstelle der beiden verschiedenen Kräfte nur eine Kraft $F = F_1 + F_2$ wirken würde.

Abbildung 24: Dynamikabbildung aus Tipler/ Mosca

5.2.7 Mathematik

a) Gerthsen bietet keinen mathematischen Abschnitt weder innerhalb des Kapitels, noch im Anhang des Lehrbuches. Es werden jedoch sogenannte „Mathematische Hinweise“-Kästen bereitgestellt. Die Vektorrechnung wird beispielsweise in einer viergeteilten Abbildung dargestellt. Addition, Subtraktion, Skalarprodukt und Vektorprodukt werden durch ein schematisches Abbild und die dazugehörige Formel angegeben. Unterhalb dieser Abbildung stehen noch die Formeln zu Koordinatenschreibweise und Länge eines Vektors. Bezüglich der komprimierten Art des Lehrbuches ist es positiv anzumerken, dass solche mathematischen Hinweise eingearbeitet wurden. Eventuell reicht diese Wiederholung den Studenten, die die Vektorrechnung noch aus der Schulzeit kennen. Wie verständlich die Abbildungen sind, wurde bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt. Die eingeführten Formeln innerhalb des Textes werden meist in den Merkkästen mit der dazugehörigen Begrifflichkeit nochmals in den Vordergrund gebracht. Eine Herleitung jener wird nicht bereitgestellt.

b) Giancoli beginnt das Kapitel zur Kinematik in zwei Raumrichtungen mit einer Mathematikeinführung zur Vektorrechnung. Es werden die Grundlagen (die Vektoraddition,-subtraktion und -multiplikation, Einheitsvektoren) erklärt. Mit genau diesen Informationen kann der Leser nachfolgend die Mathematik für Bewegungsabläufe in zwei und drei Dimensionen nachvollziehen. Wie bereits im Abschnitt zu Textfragen und Aufgaben erwähnt, ist die Mathematik in den

Lösungswegen der Beispielaufgaben sehr kurzgefasst. Grundformeln werden nur über einen Verweis zum Text angedeutet. Stattdessen wird die Formel, nach der gesuchten Größe umgestellt, angezeigt und schließlich die Werte darin eingesetzt. Im Fließtext werden Terme in ihrer mathematischen Schreibweise eingeführt. Zusätzlich wird erklärt, wie diese sprachlich zu bezeichnen sind. Beispielsweise wird der griechische Buchstabe Delta als „Änderung in“ im Lehrbuch bezeichnet. Somit können nachfolgende Terme auch im Fließtext eingebracht werden, da nun der Leser diese sprachlich umwandeln kann. Formeln, wie beispielsweise für die Durchschnittsgeschwindigkeit, werden über die sprachliche Formulierung hergeleitet: $\text{Durchschnittsgeschwindigkeit} = \frac{\text{gesamter Weg}}{\text{verstrichene Zeit}}$. Bei der Vektorschreibweise verwendet das Lehrbuch anstatt der Schreibweise mit einem Pfeil über der physikalischen Größe, den Buchstaben fettgedruckt. Zwar ist es gut, dass auf eine unterschiedliche Schreibweise geachtet wird, allerdings kann dies Studenten, die eine andere Form aus Vorlesungen gewohnt sind oder parallel mehrere Formen kennenlernen verwirren. Des Weiteren ist es schwieriger, fettgedruckte Details zum Lernen in die eigenen Schriften zu übertragen. Eventuell wird dies letztendlich weggelassen und die vektorielle Eigenschaft wird vergessen.

c) Halliday beinhaltet als einziges Lehrbuch ein komplett eingeschobenes Kapitel zu Vektoren. Zusätzlich zur Addition und Multiplikation von Vektoren wird der Gradient, die Divergenz und die Rotation eingeführt. Dies ist für die Einführungsveranstaltungen der Physik unverhältnismäßig und ist auch im Lehrbuch inhaltlich für das nachfolgende Kapitel der mehrdimensionalen Bewegung nicht notwendig. Auf 25 Seiten wird das Themenfeld ausführlich und mit visueller Unterstützung erklärt. Zu Beginn der Kinematik steht meist nur im Text, ob es sich um eine Vektorgröße handelt. Schließlich werden jedoch auch bei Abbildungen und Formeln die übliche Schreibweise mit einem Pfeil über der Größe verwendet. Bei den Beispielaufgaben mit ausführlichem Lösungsweg wird die Mathematik sehr verständlich und schrittweise erklärt. Wird beispielsweise ein Wert in eine Formel eingesetzt, wird dies erwähnt und die Lösungsidee begründet.

d) Tipler/ Mosca bietet keinen abgetrennten, mathematischen Teil innerhalb der Kapitel, sondern im Anhang. Dort wird im Kapitel „Trigonometrie und Vektoren“ ausschließlich in einer Tabelle auf die Eigenschaften von Vektoren eingegangen. Leider wird die Tabelle im Fließtext nicht weiter erläutert und es wird deutlich, dass

der Tipler/ Mosca, wie im Vorwort erwähnt, die Studenten beim Abiturwissen abholt und die schulischen Inhalte als verinnerlicht annimmt. Es ist zu hinterfragen, in wieweit diese mathematische Erklärung im Anhang von Studenten im Notfall genutzt wird und weiterführend für sie hilfreich ist. Generell verwendet Tipler/ Mosca für Vektoren die fettgedruckte Schreibweise, anstelle der Schreibweise mit einem Pfeil über der Größe. Dies führt wie bereits bei Giancoli erwähnt zu Schwierigkeiten beim Abgleich mit Vorlesungen, bei der eigenen Mitschrift und dem generellen Verinnerlichen der vektoriellen Größen. Wie bei dem Abschnitt über Zusammenfassungen bereits auffällt, legt Tipler/ Mosca großen Wert auf die Betonung von Formeln. Innerhalb des Textes sind sie in einem gelben Kasten hinterlegt und die Herleitungen werden schrittweise erklärt. Auch bei den Beispielaufgaben werden die Rechenwege ausführlich dokumentiert.

5.3 Analyse und Vergleich nach Sachstruktur und Umgang mit Lernendenvorstellungen

Nachdem nun die Textgestaltung der Lehrbücher genauer betrachtet wurde, sollen nun die inhaltlichen Strukturen analysiert werden. Die Ähnlichkeiten auf Lehrbuchebebene wurden bereits im Abschnitt zur Textsequenzierung erwähnt. Innerhalb der zu vergleichenden Kapitel folgen alle Lehrbücher der Reihenfolge, zunächst die Kinematik und darauffolgend die Dynamik einzuführen. Wie die genaue Sachstruktur aussieht und wie mit Lernendenvorstellungen umgegangen wird, soll der Reihenfolge nach geklärt werden. Das Beispiel der schiefen Ebene wird in allen Lehrbüchern verwendet und verdeutlicht im direkten Vergleich, wie sie jeweils mit Lernendenvorstellungen umgehen.

5.3.1 Gerthsen

Gerthsen beginnt das Kapitel „Kinematik“ mit einer kurzen Definition des Kinematikbegriffes: „Die Kinematik untersucht das „Wie“, den Ablauf der Bewegung, ohne nach dem „Warum“ zu fragen“. Der Kraftbegriff bleibt außen vor, wird aber als das „Warum“, die Ursache der Bewegung, genannt. Schließlich werden Ortsvektor und Bezugssystem, Geschwindigkeit und Beschleunigung direkt zweidimensional eingeführt. Um die Problematik der Begriffe Ort und Weg(-länge) womöglich zu meiden oder um sich kurz zu fassen, wird im Gerthsen von Beginn an nur der Ortsvektor eingeführt. Die vektorielle Eigenschaft von Geschwindigkeit wird zunächst durch ihre mathematische Entstehung begründet (Quotient aus Differenz der Ortsvektoren und Zeit). Durch kursive Schrift wird schließlich aber auch hervorgehoben, dass aufgrund der physikalischen Eigenschaft, nämlich der Richtung, die Geschwindigkeit ein Vektor sein muss. Auch bei der Einführung der Beschleunigung wird anfänglich eine mathematische Erklärung herangezogen, um zu begründen, dass auch eine Richtungsänderung der Geschwindigkeit einer Beschleunigung bedarf. Die umgangssprachliche Verwendung des Beschleunigungsbegriffes wird aufgegriffen, jedoch nicht konkret widerlegt: „[...] je nachdem, ob es sich um eine ‚Beschleunigung‘ im alltäglichen Sinne oder um eine Bremsung handelt [...]“. Der Begriff Bremsung könnte sich beim Studenten festsetzen und er könnte sich bestätigt fühlen, Beschleunigung nur im Kontext mit Schnellerwerden zu verwenden.

Daraufhin folgt das Dynamik und Statik Kapitel, beginnend mit der Trägheit, der Einführung des Begriffes Kraft und Masse, der Maßeinheiten und zum Abschluss Newtons Axiome. Gerthsen verwendet die Formel $\vec{F} = m\vec{a}$ um den Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung darzustellen. Die verschiedenen Umstellungsmöglichkeiten werden daraufhin genauer erklärt, wobei auch hingewiesen wird, dass für die Bestimmungsgleichung für \vec{a} auch die sogenannte „dynamische Methode; Integration der Bewegungsgleichung“ verwendet werden kann. Es wurde also das modernere Konzept der Sachstruktur für Mechanik beachtet, die Formel jedoch nicht genannt. Das dritte Newtonsche Axiom wird durch eine Abbildung des Versuches, bei dem sich zwei Personen auf Rollbrettern befinden und beide am gleichen Seil ziehen, dargestellt. Die Kräfte sind durch Pfeile richtig eingezeichnet, jedoch wird auch hier in der Beschriftung die gekürzte Formulierung „actio=reactio“ verwendet und es wird nicht gesondert im Fließtext nochmals betont, dass die Kräfte nicht am gleichen Körper angreifen.

Gerthsen beinhaltet leider die wie im Kapitel zur Lernendenvorstellungen erwähnte typische Abbildung der Kiste auf einer schiefen Ebene. Es wird innerhalb des Textes keinerlei Bezug auf die Abbildung genommen. Die Gewichtskraft scheint die resultierende Kraft zu sein, welche letztendlich den Körper in die Ebene hinein beschleunigt. Gerthsens Abbildung und das Kräfteparallelogramm wirken sehr einfach verständlich und übersichtlich. Jedoch wird dadurch die bereits erwähnte Lernendenvorstellung zur resultierenden Kraft vermutlich zu schnell vom Studenten übernommen und letztendlich gefestigt.

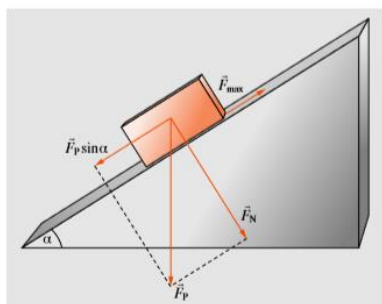


Abbildung 25: Beispiel schiefe Ebene aus Gerthsen

5.3.2 Giancoli

Giancoli erwähnt als einziges Lehrbuch im Vorwort, dass es möglich sei, die Themen innerhalb der Mechanik umzusortieren. Das Lehrbuch habe sich

entschieden beispielsweise die Statik nach der Dynamik zu behandeln, da Studenten Schwierigkeiten haben würden, Kräfte ohne Bewegungen zu behandeln. Trotzdem sei es möglich die Statik nach Einführung der Vektorrechnung früher durchzunehmen. Es ist fraglich, ob ein Student die vorgegebene Reihenfolge eines Lehrbuchs hinterfragt und selbstständig für den besseren Lernerfolg ändert, wenn dies generell nicht bekannt ist.

Giancoli ist allgemein weitaus ausführlicher als Gerthsen. Die Mechanik wird hier zunächst über die Kinematik in eine Raumrichtung auf 24 Seiten eingeführt (zum Vergleich behandelt Gerthsen die Kinematik und Dynamik auf fünf Seiten). Obwohl die Kinematik eindimensional eingeführt wird, werden von Beginn an die Vektoreigenschaften betont. Der Weg hat beispielsweise im eindimensionalen Sinne und wenn er im Ursprung beginnt nur einen Betrag und könnte alleinig durch seine Länge beschrieben werden. Giancoli verdeutlicht jedoch durch Abbildungen, dass der Weg ebenfalls eine Richtung hat (im eindimensionalen nach rechts oder links). Durch die Darstellung mit Pfeilen und durch den Farbcode wird verhindert, dass der Spezialfall, dass die x-Koordinate immer die Position des Massepunktes beschreibt, verinnerlicht wird. Ebenfalls vereinfacht es zusätzlich den Übergang zur Kinematik in mehreren Dimensionen.

Die Kinematik in zwei Raumrichtungen (ebenfalls auf 24 Seiten) beginnt mit einer zehnsseitigen mathematischen Einführung in die Vektorrechnung. Im Kapitel zur Bewegung in zwei Raumrichtungen wird die Ortsänderung des Massepunktes passender Weise als „Wegvektor“ eingeführt. Bezüglich der Lernendenvorstellung von Geschwindigkeit und Tempo, spricht Giancoli diese direkt zu Beginn des Abschnitts an. Es wird darauf hingewiesen, dass im Englischen im Gegensatz zum Deutschen durch die Begriffe „velocity“ und „speed“ schon durch die Wortwahl deutlich wird, ob die vektorielle oder skalare Größe gemeint ist. Im Deutschen müsse man aufpassen, ob vom Betrag der Geschwindigkeit oder von der Geschwindigkeit die Rede ist. In den Kinematik-Kapiteln wird durchgehend die Abbildung eines roten Autos verwendet, um die Begriffe Beschleunigung und Geschwindigkeit zu verdeutlichen. Es handelt sich um Bildabfolgen ähnlich einer Stroboskopaufnahme, in denen die Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsvektoren eingezeichnet sind. Es wird auf verschiedene Lernendenvorstellungen explizit eingegangen: 1. dass wenn der

Geschwindigkeitsbetrag null beträgt, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass die Beschleunigung null ist und umgekehrt, 2. dass Abbremsen ebenfalls eine Beschleunigung ist und 3., dass das Vorzeichen der Beschleunigung von der Bewegungsrichtung im Koordinatensystem abhängig ist.

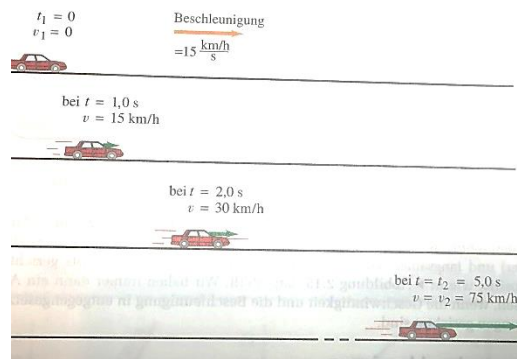


Abbildung 2.13 Beispiel 2.4. Das Auto wird am Start bei $v_1 = 0$ zum Zeitpunkt $t_1 = 0$ gezeigt. Es wird weitere drei Male gezeigt, bei $t = 1,0 \text{ s}$, bei $t = 2,0 \text{ s}$ und bei $t = t_2 = 3,00 \text{ s}$. Wir nehmen an, dass die Beschleunigung konstant und gleich 15 km/h/s ($= 4,17 \text{ m/s}^2$) ist. Die grünen Pfeile stellen die Geschwindigkeitsvektoren dar. Ihre jeweilige Länge zeigt den Betrag der Geschwindigkeit in dem Zeitpunkt an. Der Beschleunigungsvektor ist der orangefarbene Pfeil. Wege können aus dieser Kurve nicht direkt bestimmt werden.

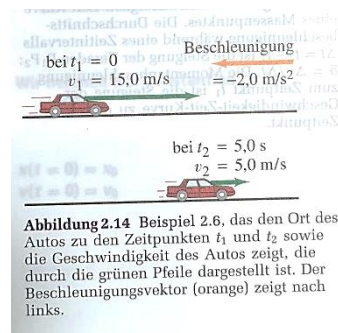


Abbildung 2.14 Beispiel 2.6, das den Ort des Autos zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 sowie die Geschwindigkeit des Autos zeigt, die durch die grünen Pfeile dargestellt ist. Der Beschleunigungsvektor (orange) zeigt nach links.

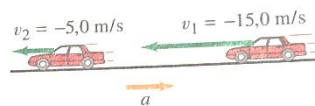


Abbildung 2.15 Dasselbe Auto wie in Beispiel 2.6, das sich jetzt aber nach links bewegt und bremst. Die Berechnung der Beschleunigung ist in der Abbildung dargestellt.

Abbildung 26: Abbildungen zum Umgang mit Lernendenvorstellung der Kinematik aus Giancoli

Im dritten zu vergleichenden Kapitel „Dynamik“ wird nach der Definition des Kraftbegriffes jedes Newtonsche Axiom in einem Unterkapitel behandelt. Der Kraftbegriff wird zu Beginn als Antwort auf die Frage, warum sich Körper bewegen, definiert. Später wird er, wie in dem genannten Sachstrukturkonzept nach Wodzinski und Wiesner, über die Geschwindigkeitsänderung eingeführt, wobei betont wird, dass eine Geschwindigkeitsänderung sowohl im Betrag oder in der Richtung liegen kann. Das zweite Newtonsche Gesetz wird durch die Formel $\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$ eingeführt. Die fettgedruckten Größen \mathbf{F} und \mathbf{a} beschreiben Vektorgrößen und auch im Text wird betont, dass es sich bei $\sum \mathbf{F}$ um eine Vektorsumme aller auf den Körper einwirkenden Kräfte handelt. Beim dritten Newtonschen Axiom spricht Giancoli zunächst die verinnerlichte Aussage an, dass eine Kraft auf einen Körper wirkt und von einem Körper ausgeübt wird. Durch ein leicht verständliches Beispiel von Nagel und Hammer (Wenn beim Aufschlagen eines Hammers auf einen Nagel die Geschwindigkeit des Hammers direkt auf Null sinkt, muss auch der Nagel eine Kraft ausüben, welche ein solch rapides Abbremsen

bewirkt) folgt das dritte Newtonsche Axiom. Es wird wie folgt formuliert: „Wenn ein Körper auf einen zweiten Körper eine Kraft ausübt, übt auch der zweite Körper eine gleich große, aber entgegengesetzte Kraft auf den ersten Körper aus“. Es ist nicht verkürzt formuliert und dies wird auch begründet mit der Erklärung, dass dies zur Verwechslung führen könnte, wo die entgegengesetzte Kraft angreift. Eine Seitenmarginalie zeigt nochmals den Merkspruch „Aktion und Reaktion wirken auf verschiedene Körper“.

Beim Beispiel der schiefen Ebene zeichnet Giancoli korrekterweise die senkrecht zur Ebene wirkende Normalkraft nach oben. Der Aspekt der Normalkraft und der oft damit verbundene Fehler durch das dritte Newtonsche Axiom wird auch in der Abbildung mit der Lincoln-Statue auf dem Tisch nochmals deutlich. Trotzdem lässt sich das typische Kräfteparallelogramm mit der Gewichtskraft als resultierende Kraft in Richtung der Ebene erkennen.

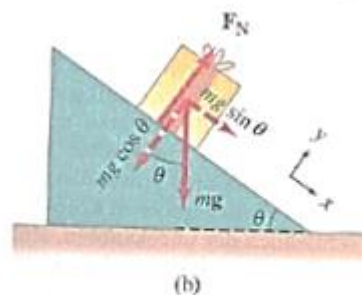
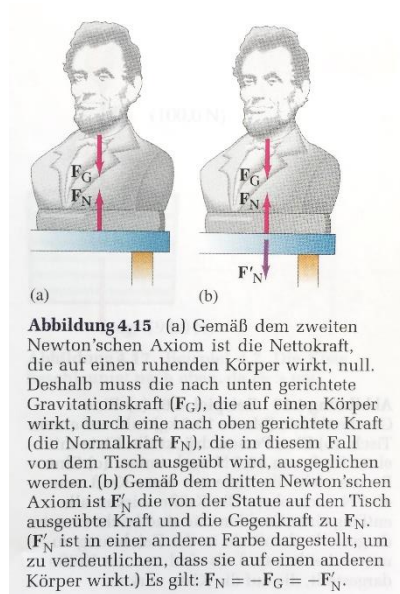


Abbildung 27: Beispiel schiefe Ebene und Abbildung zur Normalkraft aus Giancoli

5.3.3 Halliday

Hallidays erstes Kapitel lautet „Geradlinige Bewegung“ und umfasst 13 Seiten. Nachdem die Bedingungen (Begrifflichkeit des Massepunktes) für Bewegungen festgelegt wurden, wird auch hier mit den Begriffen Ort und Verschiebung begonnen. Halliday grenzt ebenfalls den Begriff Ort ab, jedoch wird hierbei zwischen „Ort“ und „Verschiebung“ im eindimensionalen und „Ortsvektor“ und

wieder „Verschiebung“ im zweidimensionalen Kontext gesprochen. Hierbei wird nicht so deutlich, dass es sich um Vektoren handelt im Gegensatz zu Giancoli, der diese mittels der Benennung und Darstellung in Abbildungen verdeutlicht. Um die Lernendenvorstellungen von Geschwindigkeit als Tempoangabe zu widerlegen, führt Halliday die sogenannte Effektivgeschwindigkeit ein, welche kein Vorzeichen besitzt, da sie keine Richtungsangabe besitzt. Einerseits grenzt diese neue Begrifflichkeit die Geschwindigkeit als Vektorgröße ab, jedoch wird dabei generell der Fokus von der Eigenschaft, eine Richtung zu besitzen, abgelenkt. Die Vorstellung, dass die Richtung nur eine Zusatzinformation ist, verstärkt sich. Durch die hinzugefügte Bemerkung, dass die Effektivgeschwindigkeit manchmal der Durchschnittsgeschwindigkeit und wiederholt der Ausdruck fällt, dass die Geschwindigkeit angibt „Wie schnell“ sich etwas bewegt, festigt sich die Lernendenvorstellung. Bei der Beschleunigung wird in einem Abschnitt explizit auf das Vorzeichen und seine Bedeutung eingegangen und angesprochen, dass die nichtwissenschaftliche Umgangssprache mit den physikalischen Konzepten nicht ganz übereinstimmt. Es wird sogar ein Rechenbeispiel, eine Kontrollfrage und der Merksatz „Sind die Vorzeichen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung eines Teilchens gleich, so nimmt der Betrag der Geschwindigkeit zu, das Teilchen wird schneller. Sind die Vorzeichen unterschiedlich, so nimmt der Geschwindigkeitsbetrag ab, das Teilchen wird langsamer“ eingeführt. Damit wird der Lernendenvorstellung entgegengewirkt und das physikalisch korrekte Konzept gefestigt. Das dritte Kapitel im Halliday beschäftigt sich auf 25 Seiten ausschließlich mit der Vektorrechnung. Danach folgt die Bewegung in zwei und drei Dimensionen (19 Seiten) und ähnlich wie das erste Kapitel wird zunächst Ort und Verschiebung, dann Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit eingeführt. Hierbei wird nun auch die Darstellung mit Pfeilen für Vektoren genutzt und wiederholt dreidimensionale Koordinatensysteme verwendet.

Das Dynamik-Kapitel führt den Kraftbegriff zunächst als Ursache von Beschleunigung ein und schließlich als Wechselwirkung, die eine Beschleunigung hervorrufen *kann*. Das erste Newtonsche Gesetz wird in einer modernen Fassung formuliert: „Es gibt Inertialsysteme, [...] in denen ein kräftefreier Körper im Zustand der Ruhe oder der geradlinigen gleichförmigen Bewegung verbleibt“. Der Fokus liegt hierbei sehr stark auf dem Bezugssystem, um zu verdeutlichen, wie ähnlich die Zustände der Ruhe und der geradlinigen gleichförmigen Bewegung sind

und wovon dies abhängig ist. Das zweite Newtonsche Gesetz wird mit der Formel $\vec{F}_{ges} = m\vec{a}$ eingeführt. Dass es sich um Vektoren handelt, wird durch die Schreibweise deutlich. Trotzdem hätte noch eindeutiger werden können, dass es sich bei F_{ges} um die Vektorsumme aller Kräfte handelt.

Halliday behandelt die schiefe Ebene in einer Beispielaufgabe, in der berechnet werden soll, wie groß die Kraft ist, welche das Seil auf den Block ausübt, und die Normalkraft, welche die Ebene auf den Block ausübt. Die Frage wird in einem Beispiel mit ausführlichen Lösungsideen behandelt und fehlleitende Vorstellungen können beim alleinigen Betrachten der Abbildung vermieden werden. Die Erweiterung der unteren Abbildungen verdeutlicht zusätzlich, das sinnvolle Anlegen von einem Koordinatensystem. Es wird auch hier korrekterweise die Normalkraft senkrecht zur Ebene nach oben eingezeichnet und durch Abbildung c) zeigt sich der Zusammenhang der Kräfte durch die Komponentenaufteilung. Die Verbindung von Normalkraft und dem dritten Newtonschen Gesetz, also welche Kraft nun eine Normalkraft ist oder ob es sich um ein Kraft-Gegenkraft-Paar handelt, wird ebenfalls im Lehrbuch durch Abbildungen verdeutlicht und betont.

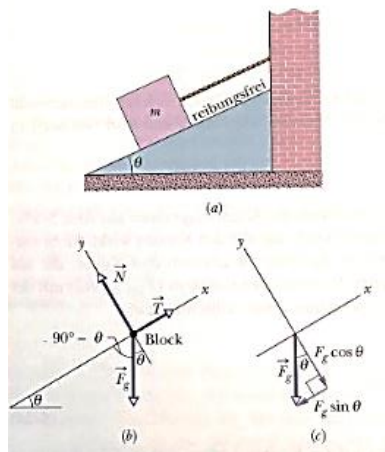


Abbildung 28: Beispiel schiefe Ebene aus Halliday

5.3.4 Tipler/ Mosca

Tipler/ Mosca nennt das erste Kapitel ebenfalls wie der Verlagspartner Gerthsen „Mechanik von Massepunkten“. Nacheinander werden Verschiebung, Geschwindigkeit, Beschleunigung und schließlich die gleichförmig beschleunigte

Bewegung in einer Dimension und in mehreren Dimensionen eingeführt. Tipler/Mosca unterscheidet ebenfalls wie Halliday zwischen den Begriffen Ort und Verschiebung. Es wird explizit darauf hingewiesen, zwischen der zurückgelegten Strecke, also die Länge des Weges, und der Verschiebung, welche eine Ortsänderung beschreibt, zu differenzieren. Bezüglich der Richtungseigenschaft wird beispielsweise bei der Geschwindigkeit erklärt, dass sie eine Vektorgröße sein *muss*, da sie aus dem Quotienten von der Vektorgröße Verschiebung entsteht. Es wird auf den einfachen Fall eingegangen, dass sich ein Körper in x-Richtung bewegt und dadurch keine Vektorschreibweise notwendig sei. Dies kann beim Studenten auslösen, die vektorielle Eigenschaft als unwichtig zu empfinden, wenn das Lehrbuch sie auch für Formeln weglässt. Somit festigt sich die Lernendenvorstellung von der Geschwindigkeit als Tempoangabe. Im Abschnitt zur Beschleunigung wird bis zum letzten Absatz nur die aus dem Alltag übliche Beschleunigung als Schnellerwerden behandelt. Abschließend folgt alleinig ein Absatz, dass das Vorzeichen der Beschleunigung nicht darauf schließen lässt, ob ein Körper schneller oder langsamer wird. Dieser Abschnitt ist jedoch durch die vielen Kombinationsmöglichkeiten von positiven und negativen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsgrößen verwirrend geschrieben. Eine visuelle Unterstützung oder Tabelle wäre hilfreich.

Das Dynamik Kapitel, genannt „Die Newton’schen Axiome“, beginnt mit dem ersten Axiom, darauf folgen die Begriffsdefinitionen Kraft und Masse. Die Relevanz des Bezugssystems wird beim ersten Newtonschen Gesetz nicht betont. Die Kraft wird definiert als „ein äußerer Einfluss oder eine äußere Einwirkung auf einen Körper, infolgedessen sich die Geschwindigkeit des Körpers ändert“. Es wird darauf hingewiesen, dass die Kraft eine vektorielle Größe ist und somit auch die vektoriellen Eigenschaften Betrag *und* Richtung von der Geschwindigkeit ändern könne. Das zweite Newtonsche Gesetz wird über die Formel $a = \frac{F}{m}$ eingeführt. Die vektoriellen Aspekte werden bei dieser Gleichung und im Fließtext komplett vernachlässigt. Nach dem zweiten Axiom werden Gravitationskraft, Gewicht und Kräftediagramme eingeführt. Abschließend wird das dritte Axiom eingeführt. Auch hierbei wurde versucht, das Gesetz und der Aspekt, dass Kraft und Gegenkraft nicht am gleichen Körper angreifen, durch eine Abbildung zu verdeutlichen. Die Kennzeichnung der Kräfte durch Indizes zeigt zwar, welche zwei Körper wie

wechselwirken, jedoch wäre in der Abbildung eine farbliche Abgrenzung der Kraft-Gegenkraft-Paare hilfreich gewesen. Des Weiteren ist es leicht missverständlich, warum der Pfeil beispielsweise von der Kraft $F_{n,T}^{(B)}$, also die Kraft, die vom Block auf den Tisch wirkt, am Tisch endet.

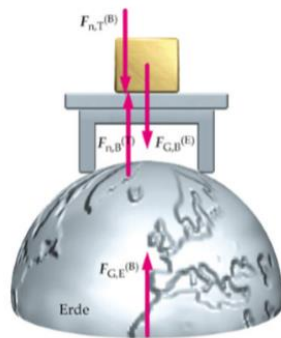


Abbildung 3.21 Verdeutlichung des dritten Newton'schen Axioms mithilfe eines Blocks, der auf einem Tisch liegt. Dies zeigt anschaulich den Zusammenhang zwischen actio und reactio beziehungsweise zwischen Kraft und Gegenkraft.

Abbildung 29: Abbildung zum dritten Newtonschen Axiom aus Tipler/ Mosca

Tipler/ Mosca behandelt das Thema der schiefen Ebene in einer Beispielaufgabe, in der es um ein Paket auf einer Entladerampe geht. In ausführlichen Schritten wird auch hier das Problem gelöst. Zunächst wird geklärt, dass ausschließlich zwei Kräfte auf das Paket wirken, Normalkraft und Gewichtskraft. Da die Kräfte nicht genau entgegengesetzt sind, gibt es eine resultierende Kraft, die das Paket die Ebene hinabbeschleunigt. Dies wird leider in der Abbildung nicht eingezeichnet, womöglich da die Fragestellung nur nach dem maximalen Winkel der Rampe fragt.

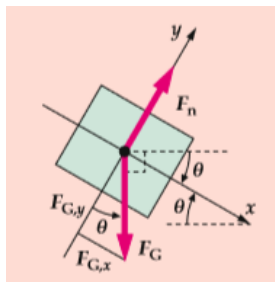


Abbildung 30: Beispiel schiefe Ebene aus Tipler/ Mosca

5.4 Überblick der Analyseergebnisse

In nachfolgender Tabelle sind stichpunktartig die Ergebnisse aus den oberen Kapiteln zusammengefasst. Die farbliche Hinterlegung zeigt eine erste Wertung der gesammelten Resultate im einzelnen Kriterium. Grün gilt dabei als sehr positiv, schwach grün als positiv und schwach rot als eher negativ. Keine farbliche Hinterlegung wird als neutral angesehen. Die farbliche Hinterlegung bedeutet nicht, dass alle Merkmale des Kriteriums als positiv oder negativ anzusehen sind.

	Gerthsen	Giancoli	Halliday	Tipler/ Mosca
Äußere Merkmale	50€; 25. Auflage; 1016 Seiten; 20 Kapitel	80€; 3. deutsche Auflage; 1547 Seiten; 45 Kapitel	80€; 2. deutsche Auflage; 1396 Seiten; 45 Kapitel	80€; 7. Auflage; 1420 Seiten; 39 Kapitel
Leiteinrichtungen	schwarz, grau, orangene Farbgebung; klares, übersichtliches Inhaltsverzeichnis	Inhaltsverzeichnis plus Inhaltsübersicht; unübersichtlich, da keine Gruppierung; lila als Hauptfarbe; Textmarginalien	Inhaltsverzeichnis; Oberthemen farblich gekennzeichnet; Überschriften nicht einheitlich als Begriff formuliert	Inhaltsverzeichnis plus Kurzzinhalte; Seitenmarginalien
Textverständlichkeit	WSTF 9,334; kurzgehaltene Sätze; keine (ausführlichen) Erklärungen	WSTF 7,183; abwechselnd ausführliche und kurze Erklärungen	WSTF 11,55; direkte Anrede an Leser; ausführliche und wiederholte Erklärungen, Lesefluss durch Layout oft unterbrochen	WSTF 8,98; direkte Anrede an Leser; Lesefluss durch Layout oft unterbrochen
Textfragen und Aufgaben	Kurze Wissensfragen innerhalb Text mit Antwort; Aufgabenkapitel mit drei Schwierigkeitsniveaus; ca. zwei Aufgaben pro Thema; keine Lösungen	Drei Beispielaufgabentypen innerhalb Text zur Begriffsbildung, Abschätzung und Übung; Aufgabenkapitel mit drei Schwierigkeitsniveaus; jede zweite Lösung im Anhang; knappe Lösungen, aber mit Zeichnungen	Kurze Kontrollfragen und Beispielaufgaben mit ausführlichem Lösungsweg innerhalb Text; Aufgabenkapitel mit zunehmender Schwierigkeit; knappe Lösungen im Anhang	Vier Beispieltypen (Standard, Rechnen, beschreibend, argumentativ) mit ausführlichen Lösungsweg, Übungen und Verständnisfragen innerhalb Text; Aufgabenkapitel mit drei Schwierigkeitsniveaus; keine Lösungen
Merksätze und Zusammenfassungen	Kein Zusammenfassungsteil; Merkkästen innerhalb Text; Definition des Begriffes und Formel	Zusammenfassungsteil; wichtige Begrifflichkeiten fettgedruckt; Fließtextartig, keine Verweise bei Formeln	Zusammenfassungsteil; Begrifflichkeiten klar getrennt durch Aufzählungszeichen; wichtige Begriffe fettgedruckt	tabellenartiger Zusammenfassungsteil; oft keine inhaltliche Zusammenfassung der Begrifflichkeit, sondern nur Formel mit Verweis zum Text
Abbildungen	330 S/W und 1000 Farbababbildungen (orange, grau, schwarz); Inkonsistenz der Darstellung; fehlender Zusammenhang zum Text, teilweise fachlich nicht korrekt	Einheitlichkeit durch Farbcode; am Textrand positioniert; Abbildungen zur Unterstützung der Beispiele; häufig Graphen	1895 Farbababbildungen; am Textrand positioniert; Abbildungen zur Unterstützung des Textes/Aufgaben; zusätzliche Beschriftung für Verständlichkeit/Hinweis	950 S/W und 650 Farbababbildungen; ausführliche Bildbeschreibungen; gleiches Graphikschemas für versch. Inhalte; Abbildungen zur Unterstützung von Aufgaben

Mathematik	Mathematische Hinweise innerhalb Text als Kasten mit Abbildung plus Formel	Mathematikeinführung zu Vektorrechnung zu Beginn des Kapitels; notwendige Grundlagen ausführlich mit Abbildungen erklärt; Mathematik in Lösungswegen kurzgefasst; Vektorschreibweise: fettgedruckt	Eigenes Kapitel zur Vektorrechnung; sehr ausführlich und über Grundlagen hinaus; Vektoren mit Pfeil dargestellt; ausführliche, begründete Mathematik bei Lösungswegen	Mathematik nur im Anhang; Eigenschaften von Vektoren nur in Tabelle dargestellt ohne Erläuterung im Text; innerhalb Kapitel großer Wert auf Formeln (gelb hinterlegt und s. Zusammenfassung); Vektorschreibweise: fettgedruckt
Sachstruktur und Umgang mit Lernendenvorstellungen	Teilweise werden Lernendenvorstellungen übergangen, bzw. sogar bestärkt	Reihenfolge der Themen kann geändert werden; explizites Eingehen auf Lernendenvorstellungen; Vektoreinführung von Beginn an auch bei Eindimensionalität	auf Lernendenvorstellungen wird eingegangen; Benutzung dreidimensionaler Koordinatensysteme; Einführung der Effektivgeschwindigkeit	Teilweise wird auf Lernendenvorstellungen eingegangen, jedoch missverständliche Abbildungen

Tabelle 3: Überblick der Analyseergebnisse

6 Fazit und Ausblick

„Jeder muss sein eigenes [Lehrbuch] finden. Es wäre also gut, wenn möglichst viele in der Bibliothek zur Verfügung stehen, sodass man alle anschauen kann und das Optimale für sich finden kann. Am Anfang des Studiums ist allerdings die Hemmschwelle in die Bibliothek zu gehen noch sehr groß.“

- Physikstudent 2. Fachsemester Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Im Studium bedarf es einer neuen Art des selbstregulierten Lernens. Studienanfänger können in Schwierigkeiten geraten, mit dieser neuen Verantwortung umzugehen und erfolgreich in das Studium zu starten. Universitätslehrbücher spielen beim selbstregulierten Lernen eine große Rolle, jedoch sind viele Studenten mit den Bibliotheken nicht vertraut, mit der großen Auswahl überfordert oder sich nicht sicher, inwieweit die Auswahl überhaupt einen Unterschied macht. Sie können nicht differenzieren, welches Lehrbuch für ihren Lernerfolg am ergebnisreichsten ist. In dieser Arbeit zeigte sich die Vielzahl an Kriterien, die ein gutes Universitätslehrbuch erfüllen muss und wie unterschiedlich die Gestaltung und Konzeption ausfallen kann. Einerseits müssen gestalterische Merkmale wie Leiteinrichtungen, Abbildungen, Zusammenfassungen und Textfragen und Aufgaben analysiert werden. Die Verständlichkeit hat dabei höchste Priorität. Darüber hinaus müssen bei Universitätslehrbüchern der Physik auch der Umgang mit Lernendenvorstellungen und die gewählte Sachstruktur betrachtet werden, da dies einen großen Einfluss auf den Lernerfolg hat.

Aus einer Umfrage mit 231 Studenten der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main und Julius-Maximilians-Universität Würzburg geht hervor, dass Studenten der Physik Universitätslehrbücher am meisten zum Nachschlagen für Übungsaufgaben, zum Lernen für Prüfungen und zum Klären von Verständnisproblemen verwenden. Während Physikhauptfachstudenten Lehrbücher zum Vertiefen und für ausführliche Erklärungen bevorzugen, empfinden Nebenfachstudenten kurze Erklärung und Übungsaufgaben für wichtiger. Generell betonen die Studenten, wie wichtig ihnen die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Texte und Aufgaben sind. Ausführliche Lösungswege und generell Lösungen zu den Aufgaben zur Selbstkontrolle sind unerlässlich.

Nach diesen Kriterien und den Analyseergebnissen lässt sich ein grobes Ranking der vier Lehrbücher erstellen. Diese Reihenfolge kann natürlich subjektiv anders ausfallen und Studenten wird trotzdem empfohlen sich mehrere Lehrbücher eigenständig anzusehen.

An letzter Stelle von diesem Vergleich landet das Lehrbuch „Gerthsen Physik“ von Christian Gerthsen und Dieter Meschede. Es ist in dieser Arbeit im Vergleich zu den anderen mit 1016 Seiten und 50 Euro das kostengünstigste und handlichste Lehrbuch. Zusätzlich ist es bei mehr als der Hälfte der Studenten aus der Umfrage bekannt, was womöglich auf die Gestaltung des Lehrbuches zurückzuführen ist. Die Inhalte sind sehr übersichtlich und farblich einheitlich dargestellt. Auch die kurzen Erklärungen und klaren Abbildungen wirken auf den Leser sehr einladend. Dennoch ist genau dieser Aspekt zu kritisieren. Physikalische Konzepte werden nicht hergeleitet oder erläutert und Abbildungen sind inkonsistent oder teilweise sogar fachlich inkorrekt. Zwar werden von Beginn an Bewegungen mehrdimensional eingeführt, trotzdem werden viele Lernendenvorstellungen einfach übergangen oder sogar bestärkt. Die Aufgaben zum Ende der Kapitel lassen sich nicht für eine Vertiefung oder Selbstkontrolle nutzen. Der Gerthsen bietet sich folglich nicht als Lehrbuch bei Verständnisfragen oder zum eigenständigen Lernen neben einer Vorlesung an.

An nächste Stelle folgt das beim gleichen Verlag erschienene Lehrbuch „Physik für Wissenschaftler und Ingenieure“ von Paul A. Tipler und Gene Mosca. Es behandelt auf 1420 Seiten und in 39 Kapiteln die gängigsten Bereiche der Physik. Positiv anzumerken sind die Übersichtlichkeit und die Leiteinrichtungen des Lehrbuchs. Es bietet vier Beispieltypen von einfachen Rechenaufgaben bis zu argumentativen Fragen mit ausführlichen Lösungswegen und arbeitet gleichzeitig mit vielen Abbildungen, die ausführlich beschriftet sind. Die Texte sind verständlich, auch wenn der Lesefluss teilweise durch das Seitenlayout unterbrochen wird. Negativ anzumerken sind allerdings die Zusammenfassungen, welche nur die Formeln bestimmter Begrifflichkeiten beinhalten, und die fehlende mathematische Unterstützung innerhalb der Kapitel. Zwar werden Formeln farblich hervorgehoben, allerdings wird in den Kapiteln der Kinematik oder Dynamik nicht die Vektorrechnung nochmal wiederholt und auch die Erläuterung im Mathematikankhang ist nicht überzeugend. Gerade Studenten mit geringerem

Mathematikverständnis aus der Schulzeit können somit Schwierigkeiten bekommen, das Thema vollständig zu begreifen. Ohne die allgemeine Einführung in Vektoren wird teilweise nicht genug auf die Lernendenvorstellungen, welche auf den vektoriellen Eigenschaften physikalische Größen basieren, eingegangen.

Das amerikanische Lehrbuch „Physik“ von David Halliday und Robert Resnick und das Lehrbuch von Douglas C. Giancoli fallen in der Gesamtbewertung beide sehr positiv aus. Halliday grenzt sich schon durch die Textgestaltung von den beiden vorherigen Lehrbüchern ab. Die Oberthemen sind sowohl im Inhaltsverzeichnis als auch in den Kapiteln nach Farben sortiert, welche eine Orientierung im Lehrbuch sehr vereinfachen. Die Seiten sind unterteilt in einen Textabschnitt und einen Rand für Abbildungen. Objektiv erscheint das Lehrbuch einen sehr anspruchsvollen Sprachstil zu haben, dabei handelt es sich nur um sehr ausführliche und lange Erklärungen mit vielen Beispielen, die den Leser direkt ansprechen. Leider wird der Lesefluss teilweise durch Beispiele und Fragen unterbrochen, da diese nicht durch Kästen oder farblich vom Text abgehoben sind. Trotzdem ebenfalls sehr verständlich sind die Zusammenfassungen und vielen Abbildungen, welche den Text und die Aufgaben unterstützen. Innerhalb des Textes gibt es kurze Kontrollfragen zur schnellen Selbstreflexion und Beispielaufgaben mit ausführlichen Lösungswegen. Zu jeder Aufgabe im Aufgabenkapitel gibt es Lösungen im Buch, allerdings fallen diese sehr knapp aus und sind meist nur Rechenendergebnisse. Die Vektorrechnung wird in einem eigenen Kapitel ausführlich behandelt, wobei dies über die notwendigen Kenntnisse hinausgeht, was manche Studenten entkräften könnte. Durch das Verwenden und Betonen zwei- und dreidimensionaler Koordinatensysteme und die Einführung einer Effektivgeschwindigkeit werden neuere Erkenntnisse zu Sachstrukturen berücksichtigt und auch generell werden Lernendenvorstellungen berücksichtigt.

Das Lehrbuch von Douglas C. Giancoli erscheint auf den ersten Blick etwas unübersichtlich und ist mit 1547 Seiten das umfangreichste Buch in diesem Vergleich. Die 45 Kapitel sind im Inhaltsverzeichnis leider nicht nach physikalischen Oberthemen gruppiert, was die erste Orientierung im Lehrbuch etwas verschleiern. Nichtsdestotrotz überzeugt Giancoli in den jeweiligen Kapiteln durch abwechselnde kurze und ausführliche Erklärungen, verschiedene Beispieltypen mit ausführlichen Lösungswegen und einen einheitlichen Farbcode

für beispielsweise Pfeile vektorieller Größen. Im Aufgabenkapitel finden sich sowohl Rechen- als auch qualitative Aufgaben, die Argumentationen und Zeichnungen von Koordinatensystemen zur Beantwortung benötigen. Zu Beginn der Kinematik Kapitel gibt es eine mathematische Einführung zur Vektorrechnung, welche die notwendigen Grundlagen wiederholt. Zusammen mit dem Farbcode und der Betonung der vektoriellen Eigenschaften von Geschwindigkeit, Beschleunigung, etc. werden explizit und erfolgreich auf Lernendenvorstellungen eingegangen und modernere Sachstrukturen einbezogen.

Die Untersuchung von Universitätslehrbüchern könnte durch den Vergleich mit digitalen Medien erweitert werden. Dabei könnte zusätzlich die Verwendung internetbasierter Angebote von Lehrbüchern einbezogen werden. Ebenfalls könnte man additiv zur der Umfrage eine Wissensabfrage durchführen, sodass eine Untersuchung der Lernendenvorstellungen von Studenten möglich ist und weitere Bereiche über die Kinematik und Dynamik hinaus analysiert werden können. Es wäre von Interesse, ob nachfolgende Studenten auf Basis der Ergebnisse dieser Arbeit eine bessere Lehrbuchauswahl treffen können und diese zu einem bewussten Lernerfolg führen. Generell muss Studenten verdeutlicht werden, dass ihnen qualitativ hochwertige Lehrbücher zu Auswahl stehen, welche sie bei einem erfolgreichen Start ins Studium und einem langanhaltenden Lernerfolg unterstützen.

Literaturverzeichnis

- Ballstaedt, S.-P. (1997). *Wissensvermittlung - Die Gestaltung von Lernmaterial*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Ballstaedt, S.-P., Mandl, H., Schnotz, W., & Tergan, S.-O. (1981). *Texte verstehen, Texte gestalten*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Bleichroth, W. (1987). Schulbücher für den Physikunterricht - Gesichtspunkte zur Beschreibung und Beurteilung. *Naturwissenschaften im Unterricht*, S. 5-8.
- Bölsterli, K., Wilhelm, M., & Rehm, M. (2015). Empirisch gewichtetes Schulbuchraster für den naturwissenschaftlichen kompetenzorientierten Unterricht. *Elsevier - Progress in Science Education*, S. 3-13.
- Brebeck, I., & Sumfleth, E. (2014). Selbstreguliertes Lernen und Lernerfolg an der Universität. In S. Bernholt, *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science-und Fachunterricht* (S. 531-533). Kiel: Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik.
- Duit, R. (2004). Alltagsvorstellungen berücksichtigen. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 3-7). Köln: Aulis Verlag.
- Duit, R. (2004). Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 8-14). Köln: Aulis Verlag.
- Feldner, P. (1999). Leicht einsetzbare Verfahren zur Untersuchung der Sprachgestaltung unserer Schulbücher - Untersuchungsergebnisse bei Physik-Schulbüchern. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, S. 51-53.
- Gerthsen, C., & Meschede, D. (2015). *Gerthsen Physik* (Bd. 25). Berlin: Springer.
- Giancoli, D. C. (2012). *Physik* (Bde. 3, aktualisiert). München: Pearson Studium Verlag.
- Goethe-Universität. (2013). *UniReport- Ordnung für Bachelor- und den Masterstudiengang Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main vom 24.04.2013*. Frankfurt am Main: Goethe-Universität.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009). *Physik* (Bd. 2). Weinheim: Wiley VCH.
- Hessisches Kultusministerium. (2017). § 10 Zulassung von Schulbüchern und digitalen Lehrwerken. In *Hessisches Schulgesetz*.
- Jung, W. (4 1977). Zur Einführung des Kraftbegriffs. *physica didact.*, S. 171-187.
- Jung, W., & Wiesner, H. (1981). Verständnisschwierigkeiten beim physikalischen Kraftbegriff - Eine Untersuchung zum Kraftbegriff bei Physikstudenten. *Physik und Didaktik*, S. 111-122.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik - Theorie und Praxis*. Berlin: Springer.
- Schubert-Henning, S. (2007). *Toolbox - Lernkompetenz für erfolgreiches Studieren*. Bielefeld: Universitätsverlag Webler.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2015). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure* (Bd. 7). Berlin: Springer.
- Trump, S., & Borowski, A. (2014). In D. A. Physik, *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (S. 288-290). Kiel: Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik.

- Walker, J. (kein Datum). *Flying Circus of Physics*. Von <http://flyingcircusofphysics.blogspot.com/> abgerufen
- Weltner, K. (2014). Verbesserung der Lernsituation von Studienanfängern. In S. Bernholt, *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (S. 73-75). Kiel: Institut der Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik.
- Wiesner, H. (1994). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. *Physik in der Schule*, S. 122-127.
- Wilhelm, T. (2005). *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*. Berlin: Logos Verlag.
- Wilhelm, T., & Heuer, D. (2002). Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung. *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, S. 29-34.
- Wilhelm, T., Waltner, C., Hopf, M., Tobias, V., & Wiesner, H. (2009). Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht - quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessenentwicklung. *Didaktik der Physik*.
- Wodzinski, R. (2004). Lernschwierigkeiten in der Mechanik. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 107-113). Köln: Aulis Verlag.
- Wodzinski, R., & Wiesner, H. (6 1994). Einführung in die Mechanik über die Dynamik. *Physik in der Schule*, S. 202-207.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisse zu Frage 3 "Wie lange hatten Sie Physik in Ihrer Schulzeit?"	3
Abbildung 2: Ergebnisse zu Frage 4 "Wie oft nutzten Sie Lehrbücher bisher für das Physikstudium?"	4
Abbildung 3: Ergebnisse zu Frage 5 "Wann nutzten Sie Lehrbücher bisher für das Physikstudium am meisten?"	4
Abbildung 4: Ergebnisse zu Frage 6 "Wofür haben Sie Lehrbücher bisher benutzt?"	5
Abbildung 5: Ergebnisse zu Frage 7 "Was ist Ihnen wichtig an einem Lehrbuch?"	6
Abbildung 6: Ergebnisse zu Frage 8 "Welches der folgenden Bücher kennen Sie?"	7
Abbildung 7: Lernendenvorstellungen zur Reaktionskraft aus Wodzinski, 2004.....	23
Abbildung 8: Abbildungen zu Lernendenvorstellungen zur Resultierenden Kraft aus Wodzinski 2004.....	24
Abbildung 9: Cover Gerthsen Physik.....	28
Abbildung 10: Cover Physik von Giancoli	29
Abbildung 11: Cover Physik von Halliday	30
Abbildung 12: Cover Physik von Tipler/ Mosca	31
Abbildung 13: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Gerthsen.....	33

Abbildung 14: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Giancoli	34
Abbildung 15: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Halliday	34
Abbildung 16: Auszug Inhaltsverzeichnis und Seite aus Tipler/ Mosca.....	35
Abbildung 17: Merkkasten aus Gerthsen	40
Abbildung 18: Auszug einer Zusammenfassung aus Giancoli	41
Abbildung 19: Auszug einer Zusammenfassung aus Halliday	41
Abbildung 20: Auszug einer Zusammenfassung aus Tipler/ Mosca.....	42
Abbildung 21: Vektordarstellung aus Gerthsen	42
Abbildung 22: Vektorverschiebung aus Gerthsen	43
Abbildung 23: Graphen für Orts-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbestimmung aus Tipler/ Mosca	44
Abbildung 24: Dynamikabbildung aus Tipler/ Mosca	45
Abbildung 25: Beispiel schiefe Ebene aus Gerthsen.....	49
Abbildung 26: Abbildungen zum Umgang mit Lernendenvorstellung der Kinematik aus Giancoli	51
Abbildung 27: Beispiel schiefe Ebene und Abbildung zur Normalkraft aus Giancoli	52
Abbildung 28: Beispiel schiefe Ebene aus Halliday	54
Abbildung 29: Abbildung zum dritten Newtonschen Axiom aus Tipler/ Mosca	56
Abbildung 30: Beispiel schiefe Ebene aus Tipler/ Mosca	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lesbarkeits- und Verständlichkeitsformeln	15
Tabelle 2: Ergebnisse für 3. Wiener Sachtextformel	36
Tabelle 3: Überblick der Analyseergebnisse.....	58

Selbstständigkeitserklärung

Ich, Sophie Krausch, geb. [REDACTED], versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwandt und die Stellen, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Unterschrift Sophie Krausch

Anhang

Fragebogen: Nutzung von Universitätslehrbüchern für Physiker

1.) Studiengang: _____ 2.) Fachsemester: _____

3.) Wie lange hatten Sie Physik in Ihrer Schulzeit?

- ☐ bis zur 9./ 10. Klasse.
- ☐ bis zum Abitur.
- ☐ bis zum Abitur und als Prüfungsfach im Abitur.
- ☐ bis zum Abitur als Leistungskurs/ Vertiefungsfach.

4.) Wie oft nutzten Sie Lehrbücher bisher für das Physikstudium? (Ein Kreuz)

- ☐ fast täglich
- ☐ mehrmals wöchentlich
- ☐ fast wöchentlich
- ☐ mehrfach im Monat
- ☐ ein paar Mal im Semester
- ☐ nie

5.) Wann nutzten Sie Lehrbücher bisher für das Physikstudium am meisten?

- ☐ vor allem am Semesteranfang
- ☐ erst im Verlauf des Semesters
- ☐ am Ende für die Klausur

6.) Wofür haben Sie Lehrbücher bisher benutzt? Bitte ein Kreuz in jeder Zeile.

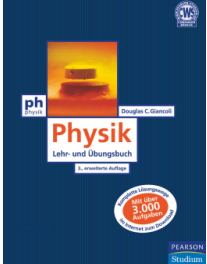
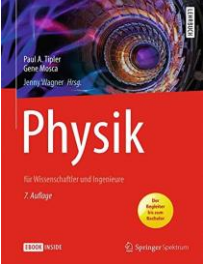
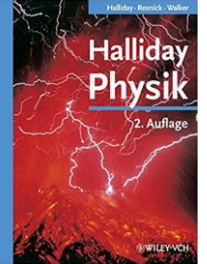
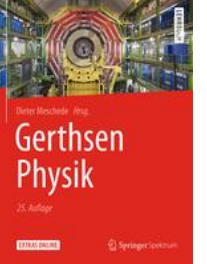
	nie	selten	häufig	sehr häufig
Nacharbeiten der Vorlesung				
Vorbereiten der nächsten Vorlesung				
Nachschlagen für die Übungen				
Klären von Verständnisproblemen				
Vertiefen von Themen				
Lernen für Klausur				
Üben von Rechenaufgaben				
Üben von Verständnisaufgaben				
Vorbereitung auf das Anfängerpraktikum AP				
Protokolle im Anfängerpraktikum AP schreiben				
Sonstiges:				

7.) Was ist Ihnen wichtig an einem Lehrbuch? Was sollte ein gutes Lehrbuch beinhalten?

	Ganz unwichtig	kaum wichtig	wichtig	sehr wichtig
Kurze Erläuterungen / Zusammenfassungen				
Ausführliche Erklärungen				
Herleitungen von Formeln				
Erklärungen der notwendigen				

Mathematik				
Alltagsbeispiele / Anwendungsbeispiele				
Übungsaufgaben / Rechenaufgaben				
Abbildungen / visuelle Unterstützung				
Sonstiges:				

8.) Welches der folgenden Bücher ...

				
	Giancoli	Tipler, Mosca	Halliday	Gerthsen
... kennen Sie?				
... haben Sie bereits genutzt?				
... wurde Ihnen empfohlen? (von wem?)				

9.) Welches weitere Lehrbuch ...

	Name:	Name:	Name:
... kennen Sie?			
... haben Sie bereits genutzt?			
... wurde Ihnen empfohlen? (von wem?)			

10.) Was wollen Sie mir zu den Lehrbüchern mitteilen?
