



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Die Rolle der Geometrie im Physikunterricht – eine
Analyse von Physikschulbüchern für die Oberstufe der
allgemeinbildenden höheren Schulen“

verfasst von

Annette Zlatarits

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 406 412

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Lehramtsstudium UF Mathematik UF Physik

Betreut von:

Doz. Dr. Franz Embacher

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	11
Theoretischer Hintergrund	15
1 Stand der Literatur	17
2 Fachdidaktische und theoretische Vorbereitung	20
2.1 Darstellung der Forschungsfragen	20
2.2 Festlegung der mathematischen Themengebiete	21
2.3 Aufüstung der Schulbücher	24
Elementare Geometrie	27
3 Satz des Pythagoras	29
3.1 Übersicht	29
3.2 Zeitdilatation	29
4 Ähnlichkeitssätze	33
4.1 Übersicht	33
4.2 Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene	34
4.3 Zentripetalbeschleunigung	36
5 Dreiecksgeometrie mit Winkelfunktionen	38
5.1 Übersicht	38
5.2 Schiefer Wurf	39

Nichtlineare analytische Geometrie	43
6 Kugel	45
6.1 Übersicht	45
7 Kegelschnitte	46
7.1 Übersicht	46
7.2 Parabel: Parabolspiegel	46
Vektorgeometrie	49
8 Koordinatendarstellung von Vektoren	51
8.1 Übersicht	51
8.2 Komponentenweise rechnen: Vektoraddition und Vielfaches von Vektoren . . .	51
9 Vektoraddition	55
9.1 Übersicht	55
9.2 Geschwindigkeitsaddition	55
10 Skalarprodukt	58
10.1 Übersicht	58
10.2 Arbeit	58
11 Vektorielltes Produkt	61
11.1 Übersicht	61
11.2 Winkelgeschwindigkeit	61
Fallstudie	65
12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft	67
12.1 Mathematische Vorbereitung	67
12.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1971	69
12.3 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1991	71
12.4 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2012	74

12.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	77
Resümee	83
13 Themenliste	85
14 Bücherliste	94
15 Zusammenfassung	107
Literaturverzeichnis	113
Tabellenverzeichnis	116
Abbildungsverzeichnis	117
Abstract (deutsch)	120
Abstract (english)	121
Curriculum Vitae	123

Einleitung

Einleitung

Diese Diplomarbeit setzt sich mit einer bekannten Problematik aus der Physikdidaktik auseinander. Bei diesem Problem geht es um das sinnvolle Einsetzen von Mathematik im Physikunterricht. In meiner Arbeit konzentriere ich mich auf ein bestimmtes Gebiet aus der Mathematik, der Geometrie. Für viele Lernende ist es eine Herausforderung, die aus dem Mathematikunterricht bekannten geometrischen Werkzeuge in einen neuen Kontext zu transferieren. Aus diesem Grund ist es hilfreich, die Geometrie zu verstehen und darauf aufbauend die Verbindung zur Physik herzustellen.

Im Rahmen meiner Diplomarbeit stelle ich die geometrische Argumentationsweise in den Physiklehrbüchern dar. Ich beschränke mich bei der Analyse auf die Entwicklung der geometrischen Anwendung in Oberstufenschulbüchern aus den siebziger Jahren bis hin zu den heutigen Werken. Die physikalischen Inhalte werden in den folgenden Kapiteln den drei Hauptbereichen der Geometrie, der Elementargeometrie, der nichtlinearen analytischen Geometrie sowie der Vektorgeometrie, zugeteilt. Dabei werden ausgewählte Themengebiete, deren geometrischer Bezug für den Physikunterricht von Nutzen sein könnte, hervorgehoben und die Lage in den Werken festgehalten.

Für einen tieferen Einblick in die zeitliche Entwicklung der geometrischen Erklärungsweise in der Physikkultur sorgt ein Fallbeispiel. In diesem Abschnitt habe ich es mir zur Aufgabe gemacht, das Einbeziehen des vektoriiellen Produktes bei der Formulierung der Lorentzkraft zu dokumentieren.

Anschließend werden die Ergebnisse aus der Schulbuchanalyse in einer Themenliste gesammelt. Diese Aufzählung stellt zu jedem untersuchten physikalischen Sachverhalt den Bezug zur Geometrie dar. Auf diese Weise erhält man einen klaren Überblick über die Entwicklung in der Physikschulbuchliteratur. Eine neue Perspektive auf die älteren sowie heutigen Physikwerke ermöglicht eine Bücherliste. Hier wird ersichtlich, welche geometrischen Elemente in den einzelnen Werken vermehrt eingesetzt werden und bei welchen Themen die Geometrie nicht zur Herleitung einbezogen wird.

Schließlich werte ich die Ergebnisse meiner Analyse aus und gebe in der Zusammenfassung meine Einschätzung diesbezüglich ab.

Diese Diplomarbeit soll sowohl angehenden LehrerInnen als auch praktizierenden Lehrkräften zusätzliche Anregungen für das Einbeziehen neuer geometrischer Blickwinkel in den Physikunterricht geben.

Abkürzungsverzeichnis:

AHS: Allgemeinbildende höhere Schule

BMBWF: Bundesministerium für Bildung und Frauen

ÖBV: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch

OS: Oberstufe

RIS: Rechtsinformationssystem

Vgl.: Vergleich

Theoretischer Hintergrund

1 Stand der Literatur

Das Problemfeld „Geometrie im Physikunterricht“ wird in der Literatur auf unterschiedliche Arten angesprochen. Der Zusammenhang zwischen der Physik und Mathematik steht dabei im Zentrum der Beobachtung.

Olaf Uhden und Gesche Pospiech führen in dem Artikel „Die physikalische Bedeutung der mathematischen Beschreibung“ neue Ideen und Aufgaben für das Einbeziehen der Mathematik im Physikunterricht an. Die Autoren beziehen sich bei der Problemdarstellung auf die Lage in Deutschland. Als Lösung für das mangelhafte Verständnis mathematischer Elemente im Physikunterricht sollen Aufgaben zum Interpretieren dienen. Olaf Uhden und Gesche Pospiech schlagen vor, den Physikunterricht „konzeptuell-mathematisch“ zu führen, um die mathematischen Strukturen mit der physikalischen Bedeutung sinnvoll zu verbinden. Bei dieser Unterrichtsform sollen die Aufgabenstellungen wie folgt aussehen:

Es sind daher vorrangig qualitative statt quantitative Aufgaben, bei denen keine Berechnungen mit Zahlenwerten, sondern ausformulierte Antworten oder mathematische Repräsentationen – je nach Richtung der Übersetzung – zur Lösung erforderlich sind. (Uhden & Pospiech 2013, 14)

Von den SchülerInnen wird erwartet, Formeln zu interpretieren beziehungsweise das physikalische Verhalten zu mathematisieren:

Anstatt mit Formeln Berechnungen durchführen zu lassen, kann man auch zu einer Berechnung oder Formel die physikalische Situation beschreiben lassen, für die diese Berechnung bzw. Formel gelten würde. (Uhden & Pospiech 2013, 17)

Bezüglich der Beispiele in Physikschulbüchern wird vorgeschlagen, die Lernenden den Zusammenhang zwischen der Physik und den mathematischen Strukturen sprachlich erfassen zu lassen. Das rezeptartige Rechnen kann mit gegebenen Zahlenwerten bei den Beschreibungen und Aufgaben in den Physiklehrbüchern vermieden werden, indem man keine konkreten

1 Stand der Literatur

Zahlenwerte angibt, oder überbestimmte Aufgaben formuliert. (vgl. Uhden & Pospiech 2013, 13-18) Im Rahmen meiner Diplomarbeit wird die Darstellung der geometrischen Argumentationsweise zu ausgewählten physikalischen Themen in Physikschulbüchern untersucht. Anhand meiner gesammelten Auszüge aus den früheren und derzeitigen Physiklehrbüchern kann man erkennen, wie die österreichischen Werke mit der Verbindung zur Mathematik umgehen.

Jürgen Ehlers beschäftigt sich in seinem Artikel „Mathematik als ‚Sprache‘ der Physik“ mit der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht. In einem seiner Beispiele „Geometrie und elastischer Stoß“ erläutert Jürgen Ehlers, dass die geometrische Anwendung hierbei einfach ist, allerdings der physikalische Hintergrund über das Laborsystem und Massenmittelpunktsystem den SchülerInnen Verständnisprobleme bereitet. Er rät davon ab, die Mathematik aus dem Physikunterricht zu entfernen und schlägt vor, vermehrt mathematische Überlegungen physikalischer Begriffe einzusetzen. (vgl. Ehlers 2006, 2-17; vgl. auch Lotze 2006, 1)

In dem Artikel „Pfeile als themenübergreifendes Symbolsystem im Physikunterricht“ führt Franz Boczianowski mathematische Überlegungen zum Thema Vektorrechnung im Physikunterricht an. Er macht für das sinnvolle Einsetzen der Vektorpfeile im Physikunterricht folgende Vorschläge:

Das Erlernen der Pfeile soll sich für die Schülerinnen und Schüler nicht nur für einen Themenbereich, sondern immer wieder bezahlt machen. Voraussetzung dafür wäre jedoch, dass den Schülerinnen und Schülern von Beginn an ein einheitlicher und somit tragfähiger Formalismus der Pfeile vermittelt wird. (Boczianowski 2012, 6)

Der Autor führt in seinem Artikel Anregungen für einen einheitlichen Pfeilformalismus in der Mechanik an. Dabei empfiehlt er bei der Addition oder Subtraktion von Ortspfeilen, Geschwindigkeiten sowie Kräften mit einem Pfeilplan und dem Polygonzug-Verfahren zu arbeiten. Ich stelle im Zuge meiner Analyse im späteren Kapitel „Vektorgeometrie“ exemplarisch die geometrische Lage zu vier Themengebieten aus der Mechanik in Physiklehrbüchern dar. Hier wird anhand meiner Beobachtungen ersichtlich, inwiefern Pfeilpläne und das Polygonzug-Verfahren in den österreichischen Physikschulbüchern zu finden sind. (vgl. Boczianowski 2012, 5-11)

Gerhard Rath beschreibt in seinem Artikel „Auseinandergelebt? Physik und Mathematik“ die Veränderung des Physikunterrichtes in Bezug auf das Anwenden der Mathematik in

Österreich. Er schildert die Entstehung des Schulfaches Physik im 18. Jahrhundert; damals stand die Mathematik im Fokus. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde diese Unterrichtsmethode hinterfragt:

Der Zweck des physikalischen Studiums ist die Erkenntnis des Zusammenhanges der Erscheinungen. Der Schüler soll angeleitet werden zur Beobachtung und zur Ableitung von Regeln aus den Beobachtungen. Dazu ist die Mathematik nur ein Mittel. Es bleibt in der Physik noch sehr viel zu verstehen übrig, auch wenn man alle Mathematik bei Seite lässt. Wo aber Mathematik angewandt wird, muss man sich die Bedeutung dieser Anwendung gegenwärtig halten und gelegentlich auch dem Schüler klar machen. Jede Formel, die ein Naturgesetz ausdrückt, ist bloß ein zusammenfassender Ausdruck einer Reihe von Tatsachen. Die Formel ist die kürzeste, einfachste, zusammenfassendste Beschreibung der Erscheinungen. (Mach 1879; zit. n. Rath 2006, 9)

Somit rückten Versuche und Beobachtungen im Physikunterricht immer stärker in den Vordergrund und der mathematische Aspekt wurde vernachlässigt. Die thematischen Zusammenhänge in den aktuellen Schulbüchern aus den Fächern Mathematik und Physik beschreibt Gerhard Rath als zufällig. Seiner Meinung nach liegt es in der Hand der Lehrkraft die gegenseitigen Bezüge im Unterricht anzuwenden. (vgl. Rath 2006, 9-13)

2 Fachdidaktische und theoretische Vorbereitung

2.1 Darstellung der Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die zentralen Unterschiede hinsichtlich der Geometrie zwischen früheren und den heutigen Physikschulbüchern dargestellt. Dabei gehe ich nicht von der optischen Gestaltung dieser Lehrbücher aus, denn dass die Schulbücher von heutzutage mehr und vielseitigere Illustrationen sowie technische Zusatzmaterialien als vor beispielsweise vierzig Jahren bieten können, steht außer Frage. Vielmehr werden die inhaltlichen Unterschiede festgestellt, speziell liegt die Geometrie in der Physik im Zentrum der Beobachtung.

Bei den in meine Analyse einbezogenen Physikschulbüchern handelt es sich um Lehrbücher für allgemeinbildende höhere Schulen in Österreich. Im Zuge dieser Arbeit werden ausschließlich Bücher für die Oberstufenklassen verwendet. Mein Ziel ist es, die unten angeführten Forschungsfragen im Rahmen der Literaturanalyse zu beantworten und durch eine anschließende Einschätzung die Entwicklung der geometrischen Aspekte im Physikunterricht zusammenzufassen und festzuhalten. Bei der genauen Betrachtung der Physikschulbücher von früher und heute werden folgende Fragen im Fokus stehen:

- Inwiefern werden in der Schulbuchliteratur geometrische Argumente eingesetzt?
- Wie wird in den aktuellen Schulbüchern bei bestimmten physikalischen Themengebieten geometrisch argumentiert? Darunter ist nicht nur beispielsweise eine vektorielle Skizze gemeint, sondern eine an das mathematische Vorwissen von SchülerInnen angepasste und übersichtliche Herleitung von bestimmten Aussagen oder Formeln, respektive die mathematische Ausführung in den Theoriebereichen.

2.2 Festlegung der mathematischen Themengebiete

- Wie oft und an welcher Stelle kommen bestimmte geometrische Argumentationen in den Schulbüchern vor?
- Wie hat sich die Verwendung von geometrischen Elementen in den heutigen Physik-Oberstufenschulbüchern im Vergleich zu den Lehrbüchern von vor vierzig Jahren geändert?

Welche Physikschulbücher für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen für die Analyse verwendet wurden, wird im folgenden Abschnitt dokumentiert. Bei der Bearbeitung der Forschungsfragen gehe ich auf einzelne physikalische Themengebiete genauer ein. Dabei achte ich darauf, interessante sowie nichttriviale Punkte hervorzuheben, die für den Physikunterricht von Nutzen sein können. Die Sammlung der früheren Schulbücher wurde so aufgestellt, dass zwischen den einzelnen Lehrbuchgenerationen in etwa zehn bis zwanzig Jahre liegen.

2.2 Festlegung der mathematischen Themengebiete

Bevor die Rolle der Geometrie in den Physikschulbüchern untersucht wird, muss die mathematische Benennung „Geometrie“ vorerst eingegrenzt werden. Da die Geometrie ein sehr vielseitiges Gebiet ist, möchte ich diesen Begriff auf die geometrischen Elemente, die im aktuellen Mathematiklehrplan der allgemeinbildenden höheren Schulen vorzufinden sind, beschränken.

Die für die Untersuchung relevanten mathematischen Themengebiete werden in den nachstehenden Abbildungen mit einem blauen Unterstrich markiert.

<p>Trigonometrie</p> <ul style="list-style-type: none">- Definieren von $\sin \alpha$, $\cos \alpha$, $\tan \alpha$ für $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$- Durchführen von Berechnungen an rechtwinkligen und allgemeinen Dreiecken, an Figuren und Körpern (auch mittels Sinus- und Kosinussatz)- Kennenlernen von Polarkoordinaten <p>Vektoren und analytische Geometrie der Ebene</p> <ul style="list-style-type: none">- Addieren von Vektoren und <u>Multiplizieren von Vektoren</u> mit reellen Zahlen, <u>geometrisches Veranschaulichen</u> dieser Rechenoperationen- Ermitteln von Einheitsvektoren und Normalvektoren- Arbeiten mit dem <u>skalaren Produkt</u>, Ermitteln des Winkels zweier Vektoren- Beschreiben von <u>Geraden durch Parameterdarstellungen</u> und durch Gleichungen, Schneiden von Geraden- Lösen von <u>geometrischen Aufgaben</u>, gegebenenfalls unter Einbeziehung der Elementargeometrie
--

Abbildung 2.1: Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 5.Klasse (AHS) [BMBF (2004). *AHS Lehrplan Mathematik Oberstufe*. [Online], S. 4]

2 Fachdidaktische und theoretische Vorbereitung

Abbildung 1.1 ist ein Screenshot aus dem Mathematiklehrplan der fünften Oberstufenklasse, hier liegen vor allem die Vektorrechnung und die analytische Geometrie im Zentrum der Betrachtung.

Im unteren Screenshot 1.2 aus dem Lehrplan der sechsten Oberstufenklasse sind das vektorielle Produkt und das Beschreiben von Geraden durch Gleichungen hervorgehoben. Diese beiden Elemente aus der Mathematik sind ebenfalls relevant für die Untersuchung der geometrischen Aspekte im Physikunterricht.

Analytische Geometrie des Raumes

- Übertragen bekannter Begriffe und Methoden aus der zweidimensionalen analytischen Geometrie, Erkennen der Grenzen dieser Übertragbarkeit
- Ermitteln von Normalvektoren, Definieren des vektoriellen Produkts
- Beschreiben von Geraden und Ebenen durch Parameterdarstellungen bzw. Gleichungen
- Schneiden von Geraden und Ebenen, Untersuchen von Lagebeziehungen
- Lösen von geometrischen Aufgaben, gegebenenfalls unter Einbeziehung der Elementargeometrie und der Trigonometrie

Abbildung 2.2: Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 6.Klasse (AHS)
[BMBF (2004). *AHS Lehrplan Mathematik Oberstufe*. [Online], S. 5]

Wie in der unteren Abbildung 1.3 ersichtlich wird, kommen weitere für die Analyse bedeutsame Teilgebiete der Mathematik in der siebten Oberstufenklasse vor. Dabei handelt es sich um die Kegelschnitte.

Nichtlineare analytische Geometrie

- Beschreiben von Kreisen, Kugeln und Kegelschnittslinien durch Gleichungen
- Schneiden von Kreisen bzw. Kegelschnittslinien mit Geraden, Ermitteln von Tangenten
- Beschreiben von ebenen Kurven durch Parameterdarstellungen
- *Beschreiben von Raumkurven und Flächen durch Parameterdarstellungen*

Abbildung 2.3: Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 7.Klasse (AHS)
[BMBF (2004). *AHS Lehrplan Mathematik Oberstufe*. [Online], S. 5]

Die nachstehende Abbildung 1.4 zeigt einen Ausschnitt des Oberstufenlehrplans für die achte Oberstufenklasse. Die hervorgehobene Passage ist für die nachfolgende Schulbuchuntersuchung insofern von Bedeutung, als hier zum ersten Mal im Mathematiklehrplan eine zumindest implizite Querverbindung zur Physik hergestellt wird.

2.2 Festlegung der mathematischen Themengebiete

Dynamische Prozesse

- Beschreiben von Systemen mit Hilfe von Wirkungsdiagrammen, Flussdiagrammen, Differenzgleichungen oder Differentialgleichungen
- Untersuchen des dynamischen Verhaltens von Systemen
- Lösen von einfachen Differentialgleichungen, insbesondere $y' = k \cdot y$

Abbildung 2.4: Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 8.Klasse (AHS)
[BMBF (2004). *AHS Lehrplan Mathematik Oberstufe*. [Online], S. 6]

Im Kompetenzteil des aktuellen Mathematiklehrplanes für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen wird die Verbindung zu den Begriffen, die sich auch auf Naturphänomene beziehen, verdeutlicht:

Sie äußern sich in der Fähigkeit, mathematische Begriffe mit adäquaten Grundvorstellungen zu verknüpfen. Die Schülerinnen und Schüler sollen Mathematik als spezifische Sprache zur Beschreibung von Strukturen und Mustern, zur Erfassung von Quantifizierbarem und logischen Beziehungen sowie zur Untersuchung von Naturphänomenen erkennen. (BMBF Mathematik Oberstufe 2004, 1)

Eine weitere Querverbindung zur Physik im Mathematikunterricht wird in den Aspekten der Mathematik hervorgehoben. Dabei findet man im erkenntnistheoretischen Aspekt die folgende Aussage:

Mathematik ist eine spezielle Form der Erfassung unserer Erfahrungswelt; sie ist eine spezifische Art, die Erscheinungen der Welt wahrzunehmen und durch Abstraktion zu verstehen; Mathematisierung eines realen Phänomens kann die Alltagserfahrung wesentlich vertiefen (BMBF Mathematik Oberstufe 2004, 1)

Die Welt der Natur und Technik in den Beiträgen zu den Bildungsbereichen des Mathematiklehrplans wird schlussendlich wie folgt festgehalten:

Viele Naturphänomene lassen sich mit Hilfe der Mathematik adäquat beschreiben und damit auch verstehen; Die Mathematik stellt eine Fülle von Lösungsmethoden zur Verfügung, mit denen Probleme bearbeitbar werden (BMBF Mathematik Oberstufe 2004, 2)

Wie man erkennen kann, wird im Mathematiklehrplan die Welt der Physik zwar einbezogen, jedoch wird nicht genauer darauf eingegangen, um welche Naturphänomene es sich dabei handelt.

2.3 Auflistung der Schulbücher

Die nachfolgende Tabelle 1.1 führt die Schulbücher für die Oberstufenklassen zwischen dem Jahr 1971 und 1992 an, die im Rahmen der Untersuchung verwendet wurden. Die Tabelle listet das Jahr Veröffentlichung, die Nachnamen der Autoren und den Titel des jeweiligen Schulbuches auf.

Jahr	Autor	Titel
1971	Schreiner	Lehrbuch der Physik 1
1971	Schreiner	Lehrbuch der Physik 2
1982	Schreiner	Physik 1. Teil
1982	Schreiner	Physik 2. Teil
1982	Sexl, Raab, Streeruwitz	Physik 1
1983	Sexl, Raab, Streeruwitz	Physik 2
1983	Sexl, Raab, Streeruwitz	Physik 3
1989	Schreiner	Physik 1
1990	Schreiner	Physik 2
1991	Schreiner	Physik 3
1992	Schreiner	Physik 4

Tabelle 2.1: Liste der analysierten Physikschulbücher aus den Jahren 1971-1992

2.3 Auflistung der Schulbücher

Die anschließende Tabelle 1.2 beinhaltet die aktuellen Physikschulbücher für die Oberstufenklassen. Alle Lehrbücher der unten angeführten Liste folgen den Richtlinien des derzeitigen Physiklehrplanes aus dem Jahr 2004.

Jahr	Autor	Titel
2007	Apolin	Big Bang 5
2008	Apolin	Big Bang 6
2008	Apolin	Big Bang 7
2008	Apolin	Big Bang 8
2011	Jaros, Nussbaumer, Nussbaumer, Kunze	Physik compact 5
2012	Jaros, Nussbaumer, Nussbaumer, Kunze	Physik compact 6
2012	Jaros, Nussbaumer, Nussbaumer, Kunze	Physik compact 7
2013	Jaros, Nussbaumer, Nussbaumer, Kunze	Physik compact 8
2012	Sexl	Physik 5
2012	Sexl	Physik 6
2012	Sexl	Physik 7
2013	Sexl	Physik 8

Tabelle 2.2: Liste der analysierten Physikschulbücher aus den Jahren 2007-2013

Elementare Geometrie

3 Satz des Pythagoras

3.1 Übersicht

In der Schulbuchliteratur wird der Satz des Pythagoras an mehreren Stellen verwendet. Die physikalischen Inhalte, die mit diesem geometrischen Werkzeug in den Lehrbüchern hergeleitet werden, sind:

- Länge eines Vektors (als räumlicher Abstand zweier Punkte)
- Längenkontraktion
- Zeitdilatation

Im folgenden Abschnitt möchte ich auf die Zeitdilatation näher eingehen und die Lage in den Schulbüchern zu diesem Thema dokumentieren.

3.2 Zeitdilatation

3.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1982

Bei der Analyse der geometrischen Argumentationsweise in der Schulliteratur beginne ich mit dem Werk „Physik 2. Teil“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1982. Die Zeitdilatation wird in diesem Schulbuch im Anschluss an die Grundsätze der speziellen Relativitätstheorie behandelt. Schreiner führt im Theorieteil die im Inertialsystem I ruhende Lichtuhr und die im Inertialsystem \bar{I} bewegte Lichtuhr mit einer Grafik (siehe Abbildung 2.1) ein. Die Koordinatenachsen in den Grafiken sind nach dem jeweiligen Inertialsystem beschriftet.

3 Satz des Pythagoras

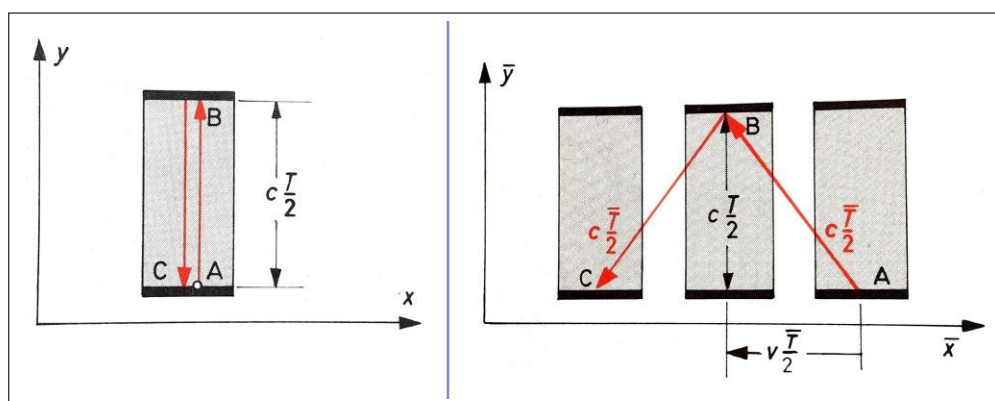


Abbildung 3.1: links: im Inertialsystem I ruhende Lichtuhr
 rechts: im Inertialsystem \bar{I} bewegte Lichtuhr
 [Schreiner, J. (1982). *Physik 2. Teil*, S. 82]

Das rechtwinkelige Dreieck, mit dem die untenstehende Formel (2.1) hergeleitet wird, ist in der rechten Grafik mit Pfeilen markiert. Der Satz des Pythagoras wird in der Erläuterung der Formel der Zeitdehnung explizit erwähnt und die Ausgangsformel wird zusätzlich angeschrieben:

$$\frac{c^2 \bar{T}^2}{4} = \frac{c^2 T^2}{4} + \frac{v^2 \bar{T}^2}{4} \quad (3.1)$$

$$\bar{T} = \frac{T}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = kT$$

Das Schulbuch fährt mit der Abhängigkeit des Faktors k von der Geschwindigkeit v fort. Diese Abhängigkeit wird mit einem Diagramm veranschaulicht.

3.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1992

Für die folgende Untersuchung der geometrischen Argumentationsweise zum Thema „Zeitdilatation“ verwende ich das Schulbuch „Physik 4“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1992. Da die Schulbücher aus der obigen und in dieser Analyse von demselben Autor stammen, kann ein direkter Vergleich erstellt werden.

Im Gegensatz zu dem Buch aus 1982 führt Schreiner zehn Jahre später das Kapitel über die Zeitdehnung nach einem kurzen Theorieteil mit einem Rechenbeispiel ein. Die unten angeführte Abbildung 2.2 zeigt die Grafik, die zur Verdeutlichung der Theorie im Lehrbuch beigefügt

wurde. Verglichen mit Abbildung 2.1 aus dem Schulbuch von 1982, wird in 1992 der Ablauf mit der ruhenden und bewegten Lichtuhr nicht mehr getrennt gezeigt, sondern in einem dargestellt. Zusätzlich kann die Länge des rechten roten Pfeiles, die mit $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ angegeben wird, im Prinzip als eine aufgelöste Kreisgleichung verstanden werden.

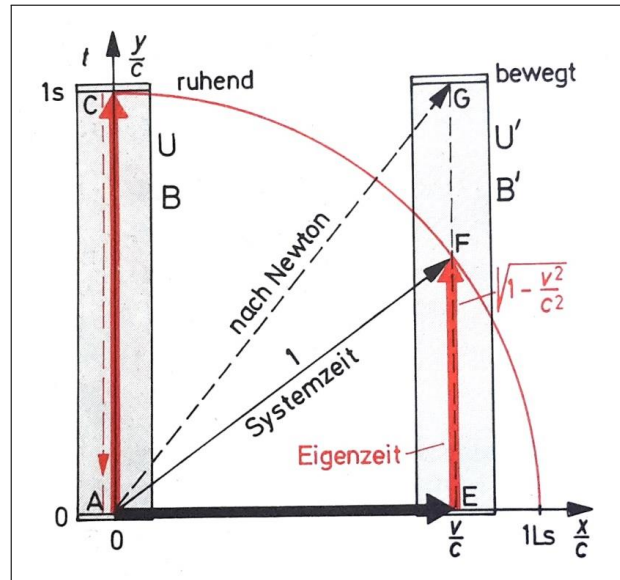


Abbildung 3.2: Ruhende und bewegte Lichtuhr
[Schreiner, J. (1992). *Physik 4*, S. 4]

Schreiner fügt die Formel der relativistischen Zeitdehnung zu einem abschließenden Merksatz dieses Kapitels hinzu. Das Schulbuch greift bei der Herleitung der Formel nicht auf den Lehrsatz des Pythagoras zurück, wie das im Jahr 1982 noch der Fall war.

3.2.3 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2013

Aus der Liste der aktuellen Schulbücher möchte ich das Werk „Physik 8“ von Roman Sexl aus dem Jahr 2013 untersuchen. Sexl führt die Relativität der Zeit mit einem Theorieteil ein, welcher auf den genauen Ablauf des Versuches mit drei Lichtuhren eingeht. Lichtuhr A und B sind zwei synchronisierte, ruhende Lichtuhren und C bezeichnet eine relativ dazu bewegte Lichtuhr.

3 Satz des Pythagoras

Die Erläuterungen werden mithilfe der unten abgebildeten Grafiken visuell unterstützt. Abbildung 2.3 zeigt die drei gegebenen Abläufe aus dem Schulbuch.

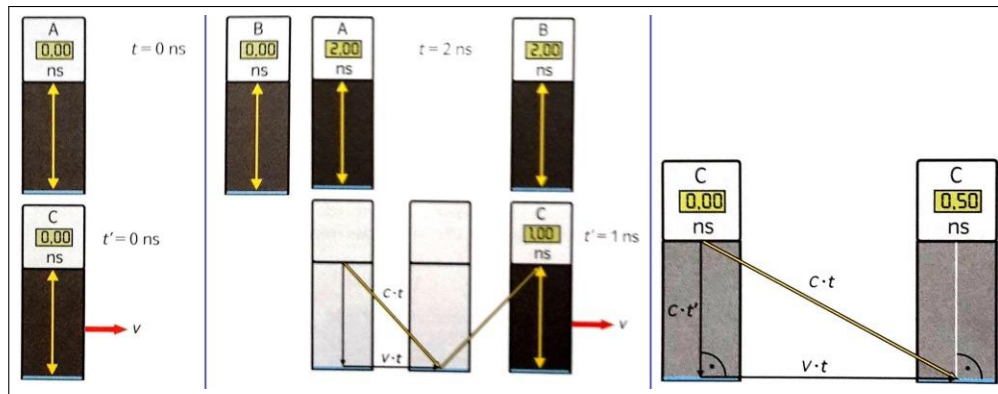


Abbildung 3.3: A und B: synchronisierte, ruhende Lichtuhren; C: bewegte Lichtuhr
[Sexl, R. (2013). *Physik 8*, S. 16]

In der dritten Grafik ist der rechte Winkel, der für die Herleitung der Zeitdehnungsformel mithilfe des pythagoreischen Lehrsatzes benötigt wird, bereits eingezeichnet. Das Schulbuch gibt in der dazugehörigen Bildunterschrift an: „Der Zusammenhang zwischen den Zeitangaben der Lichtuhren kann mit dem Pythagoreischen Lehrsatz berechnet werden.“ (Sexl 2013, 16). Der Autor bezieht sich bei der Herleitung der Formel auf die oben gezeigte Abbildung und argumentiert geometrisch: „Aus dem Pythagoreischen Lehrsatz folgt nämlich $l^2 + (vt)^2 = (ct)^2$. Setzen wir hier $l = ct'$ ein, so ergibt sich $(ct')^2 + (vt)^2 = (ct)^2$, oder, wenn wir nach t auflösen, $t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ “ (Sexl 2013, 16).

4 Ähnlichkeitssätze

4.1 Übersicht

Die Ähnlichkeit von Dreiecken wird in den Schulbüchern bei verschiedenen Herleitungen von physikalischen Inhalten herangezogen. Im Zuge meiner Literaturanalyse bin ich auf einige Werke gestoßen, die mithilfe dieses geometrischen Werkzeuges argumentieren. Die folgende Aufzählung beinhaltet Gebiete aus den Physikbüchern, die mit den Ähnlichkeitssätzen in Verbindung gebracht werden:

- Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene
- Bogenmaß
- Zentripetalbeschleunigung
- Linsengleichung

Die beiden folgenden Themen werden in den Physiklehrbüchern nicht mit den Ähnlichkeitssätzen in Verbindung gebracht. Aus den Argumentationen in den Schulbüchern geht nicht hervor, dass man mithilfe der Geometrie diese Kapiteln in den Physikunterricht einführen könnte:

- Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (speziell Diagramme)
- Parallaxe

In der nachfolgenden Dokumentation über Lage in den Schulbüchern beschränke ich mich auf die beiden Inhalte „Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene“ und „Zentripetalbeschleunigung“.

4.2 Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene

4.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1982

Aus der Liste der früheren Schulbuchgeneration möchte ich auf das Werk „Physik 1“ von Sexl et al. aus dem Jahr 1982 näher eingehen. Dieses Lehrbuch beschäftigt sich an zwei Stellen mit den Ähnlichkeitssätzen in Bezug auf die Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene.

Das Werk befasst sich zuerst mit dem Satz vom Kräfteparallelogramm, als Beispiel wird die Bewegung auf einer schiefen Ebene angegeben. Für die Herleitung der Bewegungsgleichung führt Sexl et al. explizit die Ähnlichkeit des farbigen Dreiecks und des Dreiecks der schiefen Ebene an. Die nachfolgende Grafik 3.1 bildet den visuellen Bezug zur Geometrie aus dem Schulbuch ab.

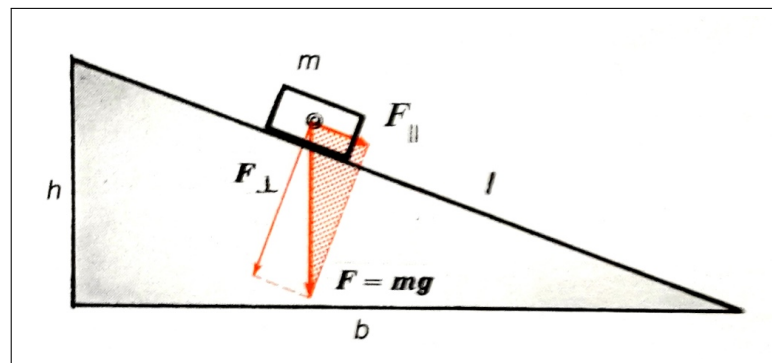


Abbildung 4.1: Der Satz vom Kräfteparallelogramm – Die Bewegung auf der schiefen Ebene [Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1982). *Physik 1*, Teil A: S. 33]

Die im Lehrbuch angeführte Herleitung kann anhand der obigen Abbildung 3.1 nachvollzogen werden:

$$F_{\parallel} : F = h : l \quad \text{oder} \quad F_{\parallel} = F \frac{h}{l} = mg \frac{h}{l} \tag{4.1}$$

$$F_{\perp} : F = b : l \quad \text{oder} \quad F_{\perp} = F \frac{b}{l} = mg \frac{b}{l}$$

(Sexl et al. 1982, 33).

4.2 Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene

Die Ähnlichkeit von Dreiecken wird an einer weiteren Stelle eingesetzt, hier geht es um den den Begriff der Arbeit. Das Physikbuch leitet die Formel der Arbeit im Theorieteil geometrisch her: „Die beiden roten Dreiecke der Abbildung sind nämlich ähnlich und liefern die Beziehung

$$\Delta s : \Delta s_{\parallel} = F : F_{\parallel} \quad \text{oder} \quad F \cdot \Delta s_{\parallel} = F_{\parallel} \cdot \Delta s. \quad (4.2)$$

Die nachstehende Grafik 3.2 unterscheidet sich zu Abbildung 3.1 insofern, als die beiden ähnlichen Dreiecke farblich hervorgehoben werden, um die Herleitung von Formel (3.2) für die Lernenden somit auf einen Blick ersichtlich zu machen.

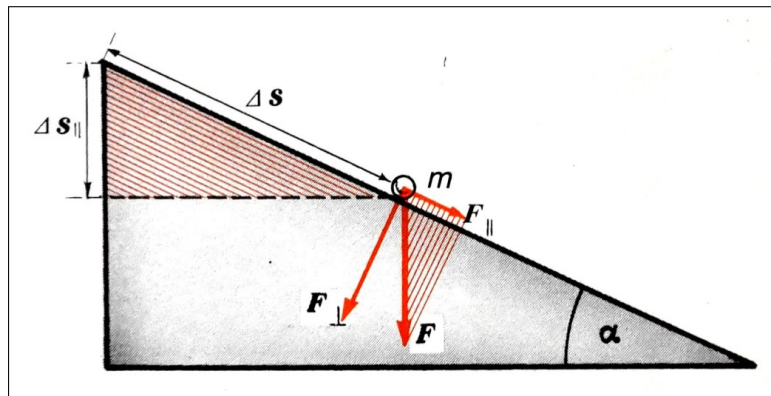


Abbildung 4.2: Kräftezerlegung - Der Begriff der Arbeit
[Sextl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1982). *Physik 1*, Teil A: S. 45]

4.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2007

Für die folgende Dokumentation aus der Reihe der neuesten Physiklehrbücher habe ich mich für das Werk „Big Bang 5“ von Martin Apolin aus dem Jahr 2007 entschieden. In diesem Schulbuch ist mir vermehrt aufgefallen, dass die Lernenden zum selbstständigen Arbeiten und Überlegen durch Gedankenexperimente angeregt werden. Ein Beispiel dazu ist, dass im Theorieteil zum Thema „Arbeit“ die Verbindung zur Geometrie hergestellt wird. Jedoch müssen die SchülerInnen, die den folgenden Textausschnitt und die Abbildung 3.3 aus dem Schulbuch nachvollziehen wollen, das Wissen über die Ähnlichkeitssätze in den Physikunterricht mit sich bringen müssen: „Das rote und das blaue Dreieck sind ähnlich (haben also gleiche Winkel), daher ist $F_H = G/2$: Also halbe Kraft, dafür doppelter Weg.“ (Apolin 2007, 84).

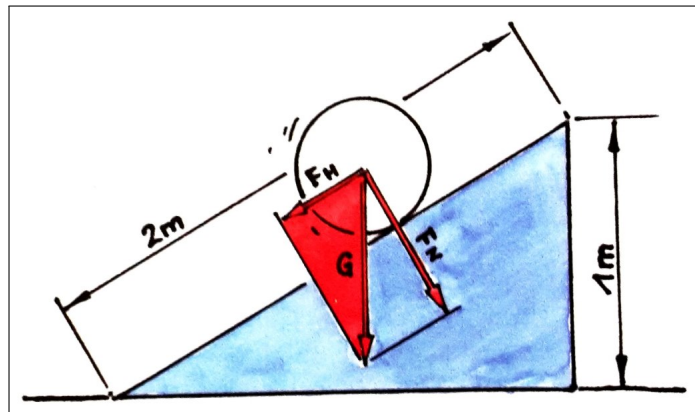


Abbildung 4.3: Ähnliche Dreiecke - Einführung des Arbeitsbegriffes
 [Apolin, M. (2007). *Big Bang 5*, S. 84]

4.3 Zentripetalbeschleunigung

4.3.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1982

Im folgenden Abschnitt befaße ich mich mit der geometrischen Argumentationsweise zu dem Thema „Zentripetalbeschleunigung“. Dafür stelle ich die Lage in dem Werk „Physik 1. Teil“, geschrieben von Josef Schreiner aus dem Jahr 1982 dar. Die Zentripetalbeschleunigung wird nach der Erläuterung der wichtigsten Größen der Drehbewegung wie dem Drehwinkel, der Winkelgeschwindigkeit und der Tangentialgeschwindigkeit gemeinsam mit der Zentripetalkraft eingeführt. Die unten angefügte Abbildung 3.4 zeigt eine Skizze zum Theorieteil, bei dem die Bewegung eines Massepunktes auf einer Kreisbahn erläutert wird.

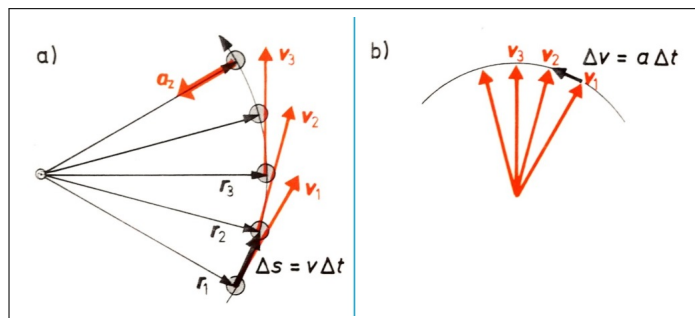


Abbildung 4.4: Darstellung der Zentripetalbeschleunigung
 [Schreiner, J. (1982). *Physik 1. Teil*, S. 157]

4.3 Zentripetalbeschleunigung

Man kann erkennen, dass die Geometrie mit der Physik in Zusammenhang gebracht wird und die obige Abbildung 3.4 wird mit folgendem Argument erweitert: „Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke gilt: $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{r} \Leftrightarrow \frac{\Delta v}{v} = \frac{v\Delta t}{r} \Leftrightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r} \Leftrightarrow a = \frac{v^2}{r}$ Für sehr klein gewähltes Δt ist Δv normal zu \mathbf{v} . Daher ist auch $\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$ zu \mathbf{v} normal und weist somit zum Zentrum.“ (Schreiner 1982, 157).

4.3.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2007

Die Zentripetalbeschleunigung wird im Gegensatz zu den früheren Physikwerken lediglich in einem der derzeitigen Schulbücher mit geometrischen Elementen hergeleitet. Aus diesem Grund dokumentiere ich diese Darstellungsform im Schulbuch von Martin Apolin aus dem Jahr 2007. In seinem Lehrbuch „Big Bang 5“ geht der Autor in einer hervorgehobenen Infobox vertiefend auf die Zentripetalkraft ein. In dieser Box wird zudem mithilfe der Ähnlichkeit von Dreiecken die Zentripetalbeschleunigung hergeleitet. Neben den theoretischen Ausführungen, in denen die Ähnlichkeitssätze explizit erwähnt werden, ist eine Grafik zu erkennen, bei der die ähnlichen Dreiecke farblich hinterlegt sind (siehe Abbildung 3.5).

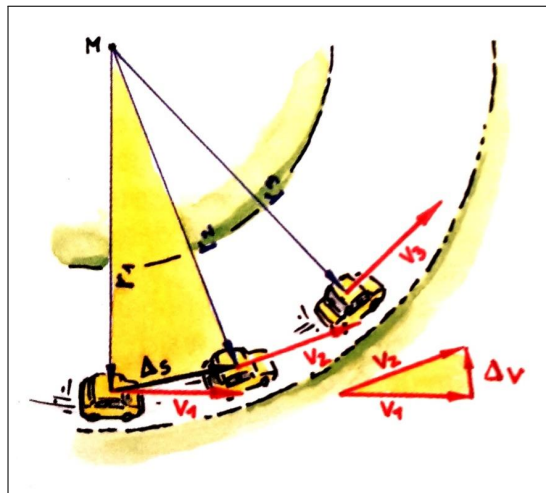


Abbildung 4.5: Ähnlichkeitssätze bei der Herleitung der Zentripetalbeschleunigung [Apolin, M. (2007). *Big Bang 5*, S. 116]

5 Dreiecksgeometrie mit Winkelfunktionen

5.1 Übersicht

Das Gebiet der Dreiecksgeometrie ist sehr weit gefächert, aus diesem Grund beschränke ich mich speziell auf die Winkelfunktionen. Ich habe im Rahmen meiner Schulbuchanalyse wahrgenommen, dass sowohl die früheren als auch die heutigen Lehrbücher Grundkenntnisse über Winkelfunktionen von den SchülerInnen voraussetzen. Die Themengebiete aus den Physikbüchern, die mithilfe der Dreiecksgeometrie hergeleitet werden, sind:

- Schiefer Wurf
- Fadenpendel
- Rückführung der harmonischen Schwingung auf eine Kreisbewegung
- Brechungsgesetz
- Beugung am Spalt und am Doppelspalt

Ich habe im Laufe der Literaturuntersuchung erkannt, dass es weitere physikalische Inhalte gibt, die man mithilfe von Winkelfunktionen im Unterricht behandeln könnte. Bei den beiden nachstehenden Themen argumentieren die früheren sowie auch die aktuellen Werke nicht mit Unterstützung der Dreiecksgeometrie:

- Drehspiegelverfahren
- Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes

Im kommenden Abschnitt werde ich auf die Ausführung des Kapitels „Schiefer Wurf“ in den Lehrbüchern näher eingehen und die Entwicklung in der Literatur erfassen.

5.2 Schiefer Wurf

5.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1982

Bei der Dokumentation der geometrischen Argumentationsweise beginne ich mit dem Schulbuch „Physik 1“ von Roman Sexl, Ivo Raab und Ernst Streeruwitz aus dem Jahr 1982. In diesem Werk wird der schiefe Wurf anhand eines Beispiels mit dem Wasserstrahl aus einem Gartenschlauch dargestellt. Die schiefe Wurfbewegung wird in einem räumlichen Diagramm abgebildet (siehe Abbildung 4.1) und in der Theorie wird die Bewegung des Körpers entlang der Parabel erläutert. Das Schulbuch gibt in einem Merksatz an: „Für $\alpha = 45^\circ$ erhält man die größte Wurfweite. Komplementäre Wurfwinkel liefern gleiche Wurfweiten.“ (Sexl et al. 1982, 35).

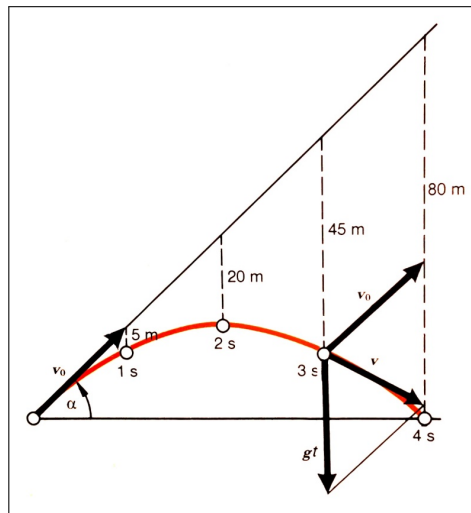


Abbildung 5.1: Der schiefe Wurf – Dreiecksgeometrie
 [Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1982). *Physik 1*, Teil A: S. 35]

Der Theorieteil geht nicht weiter darauf ein, wieso man bei einem Wurfwinkel von genau 45° am weitesten wirft. Aus dem Merksatz kann man außerdem schließen, dass der Autor davon ausgeht, dass die Lernenden wissen, was ein komplementärer Winkel ist.

5 Dreiecksgeometrie mit Winkelfunktionen

Es kristallisiert sich heraus, dass dieses Schulbuch weder auf die Winkelfunktionen, noch auf besondere Winkel zur Begründung des schiefen Wurfes eingeht.

5.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2012

Von den aktuellen Physikwerken möchte ich das Schulbuch „Physik 5“ von Roman Sexl aus dem Jahr 2012 vorzeigen. Da es sich bei diesem Lehrbuch um den selben Autor wie von dem obigen Abschnitt 4.2.1 handelt, ist ein direkter Vergleich möglich. Schreiner stellt in seinem Werk dreißig Jahre später eine Verbindung der Geometrie mit der Physik her.

Der schiefe Wurf wird analog zu der Ausgabe von 1982 anhand eines Experimentes mit dem Gartenschlauch eingeführt. Abbildung 4.2 zeigt das im Schulbuch zum Theorieteil beigefügte Wurfweite-Wurfhöhe-Diagramm.

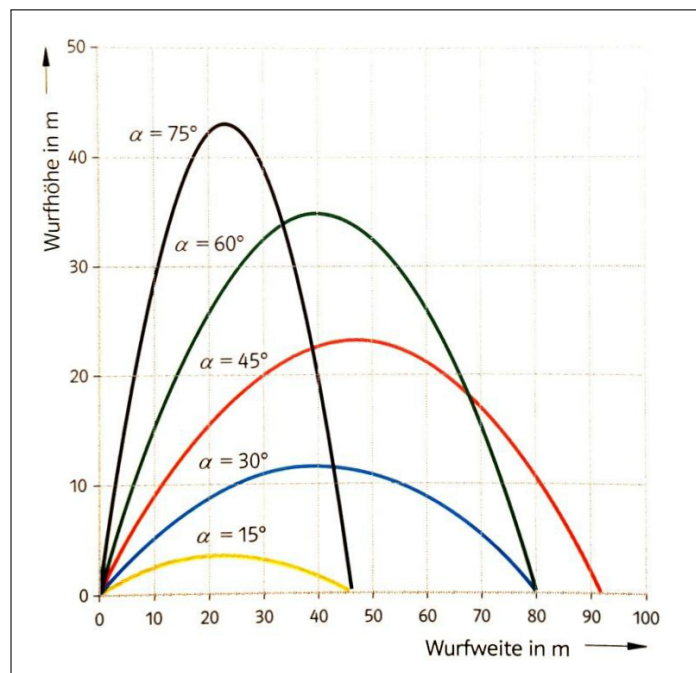


Abbildung 5.2: Der schiefe Wurf – Dreiecksgeometrie mit Winkelfunktionen
[Sexl, R. (2012). *Physik 5*, S. 46]

Verglichen mit Abbildung 4.1 aus dem Jahr 1982 kann man erkennen, dass in 2012 im räumlichen Diagramm zusätzlich fünf unterschiedliche Wurfwinkel eingezeichnet wurden. Ich halte die Gestaltung der Grafik mit mehreren Winkelangaben für sehr sinnvoll, denn so haben die SchülerInnen die Möglichkeit den Zusammenhang zwischen der Wurfweite und der

Wurfhöhe herauszulesen.

Mithilfe der folgenden Bildunterschrift wird dieser Zusammenhang ohne Begründung geometrisch beschrieben: „Für die Abwurfhöhe y_0 , die Abwurfgeschwindigkeit v_0 und den Winkel α gelten folgende Beziehungen:

Wurfweite: $x(t) = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t$

Wurfweite: $y(t) = y_0 + (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t - \frac{1}{2}g \cdot t^2$

Geschwindigkeit in x-Richtung: $v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha$

Geschwindigkeit in y-Richtung: $v_y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t$ “ (Sexl 2012, 46).

Der Merksatz im Schulbuch aus dem Jahr 1982 blieb nach dreißig Jahren unverändert. Allerdings haben nun die Lernenden die Möglichkeit, mithilfe der gegebenen geometrischen Herleitungen den Winkel für die größte Wurfweite nachzurechnen.

Nichtlineare analytische Geometrie

6 Kugel

6.1 Übersicht

In der Schulbuchliteratur kommt der Begriff der Kugel an mehreren Stellen vor. Im Zuge meiner Analyse habe ich darauf geachtet, inwiefern die Kugel als geometrisches Objekt behandelt wird. Das bedeutet, ich habe mich auf Argumentationen mit der Kugelgleichung und Aussagen über die Eigenschaften der Kugel beschränkt. Die physikalischen Themengebiete, die mit der Kugel geometrisch hergeleitet werden, sind hier vorzufinden:

- Kugelförmiger Hohlspiegel
- Kugelwelle (Lorentztransformation)

An dieser Stelle sei hervorgehoben, dass die Kugelgleichung bei der Lorentztransformation nur in einem Schulbuch angeschrieben wird. Bei diesem Werk handelt es von „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 2. Teil“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1971. Er beschreibt in dieser Ausgabe die Ausbreitung eines Lichtsignals als Kugelwelle und gibt die Gleichung einer Wellenfläche an: „ $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$ “ (Schreiner 1971, 395).

7 Kegelschnitte

7.1 Übersicht

Mit den Elementen des Kegelschnittes wird in den Schulbüchern mehrmals gearbeitet. Die nachstehende Themenliste beinhaltet Gebiete aus den Lehrbüchern, die mithilfe der Kegelschnitte geometrisch erläutert werden:

- Satellitenbahnen
- Kreisgleichung: Zeitdilatation
- Parabel: Parabolspiegel
- Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfes
- Ellipse: Keplersche Gesetze

Ich gehe nun auf die Lage in den Werken zu einem Thema aus der Optik, dem Parabolspiegel, näher ein. Dabei stelle ich die geometrische Argumentationsweise in zwei ausgewählten Physikbüchern dar.

7.2 Parabel: Parabolspiegel

7.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1990

Aus der Reihe der früheren Physikliteratur möchte ich für die Untersuchung der geometrischen Argumentationsweise das Buch „Physik 2“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1990 aufzeigen. Der Parabolspiegel wird in diesem Werk bei der Einführung der geometrischen Optik unter dem Kapitel „Reflexion des Lichtes“ behandelt. Der Autor beschreibt den Vorgang der Abbildung durch Reflexion wie folgt:

Der **Parabolspiegel** [...] sammelt alle achsenparallel einfallenden Strahlen nach der Reflexion in einem Punkt, dem **Brennpunkt** F. Er bildet also den unendlich fernen Punkt der optischen Achse (der dem 2. Brennpunkt des Ellipsoids entspricht) in F ab. (Schreiner 1990, 137)

Das Schulbuch gibt zum Theorieteil die unten gezeigte Abbildung 6.1 an. Man kann erkennen, dass Schreiner sowohl im Text als auch in der Abbildung mit dem Brennpunkt der Parabel arbeitet. Jedoch werden im Schulbuch die Eigenschaften einer Parabel und die Beziehung zu dem im Text erwähnten Ellipsoid nicht näher besprochen.

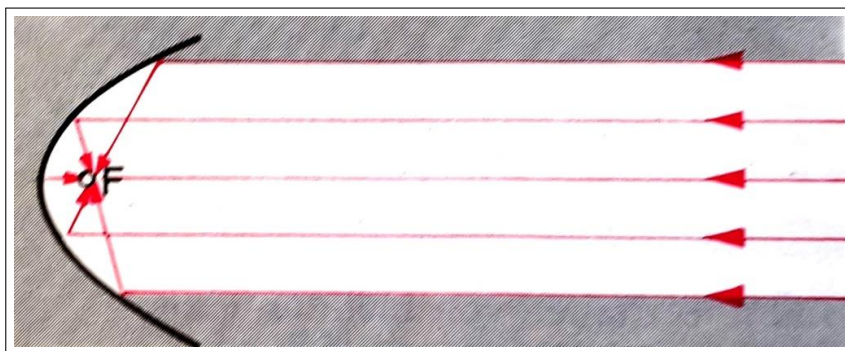


Abbildung 7.1: Paraboloid: Abbildung durch Reflexion
[Schreiner, J. (1990). *Physik 2*, S. 138]

7.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2012

In diesem Abschnitt möchte ich die geometrischen Herleitungen aus dem Lehrbuch „Physik 7“ von Roman Sexl aus dem Jahr 2012 aufzeigen. Das Schulbuch führt die Reflexion des Lichtes mit einer Reihe von Experimenten ein. Zuerst behandelt Sexl die Reflexion am ebenen Spiegel, und danach wird ein Versuch mit dem gewölbten Spiegel erläutert. Das Schulbuch bezieht sich im Theorieteil über gewölbte Spiegel ausschließlich auf einen Kugelspiegel.

7 Kegelschnitte

Abbildung 6.2 skizziert die Reflexion an einem kugelförmigen Hohlspiegel.

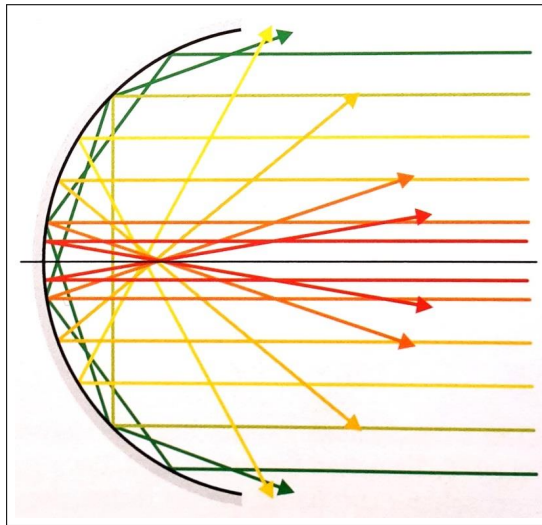


Abbildung 7.2: Kugelförmiger Hohlspiegel: Abbildung durch Reflexion
[Sexl, R. (2012). *Physik 7*, S. 11]

Sowohl in der Grafik als auch im Text werden der Parabolspiegel und ebenso die Parabeleigenschaften nicht behandelt. In der Bildunterschrift von Abbildung 6.2 wird betont: „Beim kugelförmigen Hohlspiegel werden nur die achsennahen Lichtstrahlen zum Brennpunkt gelenkt. Dies ist der Grund, warum man etwa für Antennen Parabolspiegel verwendet.“ (Sexl 2012, 11). Der Autor geht nicht näher darauf ein, welchen Effekt man mit Parabolspiegeln erzielen kann.

Vektorgeometrie

8 Koordinatendarstellung von Vektoren

8.1 Übersicht

Im Rahmen meiner Schulbuchanalyse habe ich weiters untersucht, inwiefern in der Literatur Vektoren in Koordinatenform ausgeschrieben werden und ob Herleitungen und Rechnungen in Koordinatendarstellung durchgeführt werden. In der folgenden Aufreihung beschränke ich mich auf häufig vorkommende vektorielle Größen und auf Rechenoperationen, die komponentenweise in den Physiklehrbüchern dargestellt werden:

- Ortsvektor
- Geschwindigkeitsvektor
- Komponentenweise rechnen: Vektoraddition
- Komponentenweise rechnen: Vielfaches von Vektoren

Ich stelle im nächsten Teil meiner Diplomarbeit das Rechnen mit Vektoren in den Physikbüchern dar. Dazu beschränke ich mich auf die komponentenweise Vektoraddition und auf die komponentenweise Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar.

8.2 Komponentenweise rechnen: Vektoraddition und Vielfaches von Vektoren

8.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1971

Bei der Analyse der geometrischen Argumentationen in der Schulliteratur erörtere ich die Lage in dem Werk „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen

8 Koordinatendarstellung von Vektoren

1. Teil“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1971. Im Kapitel „Bewegungslehre (Kinematik)“ geht das Schulbuch auf geradlinige Verschiebungen von Massepunkten ein. Diese Verschiebungen werden als „Vektoren“ bezeichnet. Schreiner beschreibt das Produkt eines Vektors mit einem Skalar in einem hervorgehobenen Merksatz wie folgt:

Das Produkt eines Vektors $\Delta \mathbf{r}$ mit einem positiven (negativen) Skalar a ist ein Vektor mit gleicher (entgegengesetzter) Richtung und a -fachem Betrag von $\Delta \mathbf{r}$. Es gilt: $a \cdot \Delta \mathbf{r}(\Delta x/\Delta y/\Delta z) = (\Delta ax/\Delta ay/\Delta az)$ und analog $\frac{\Delta \mathbf{r}(\Delta x/\Delta y/\Delta z)}{a} = (\frac{\Delta x}{a}/\frac{\Delta y}{a}/\frac{\Delta z}{a})$ (Schreiner 1971, 27)

Weiters wird erläutert, welche Wirkung das Vielfache eines Vektors auf dessen Betrag hat. Abbildung 7.1 veranschaulicht die zu den Erklärungen beigelegte Grafik.

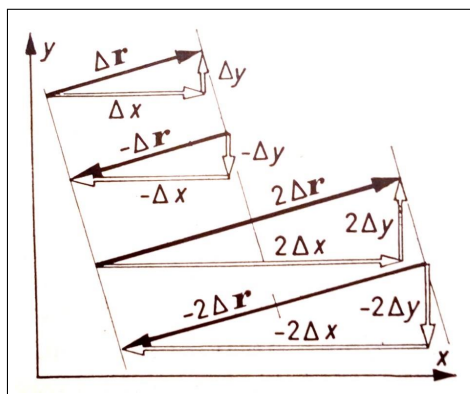


Abbildung 8.1: Vielfaches von Vektoren – proportionale Vektoren
[Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die OS der AHS 1. Teil*, S. 27]

Im darauffolgenden Kapitel „Summe und Differenz von Schiebungen (Vektoren)“ führt das Lehrbuch ebenso wie bei dem Vielfachen von Vektoren die Rechenoperationen komponentenweise durch. Den Lernenden wird im Theorieteil und zusätzlich mithilfe von Abbildungen die geradlinige Verschiebung eines Massepunktes geometrisch veranschaulicht. Die nachstehende Grafik zeigt die Addition von zwei und von mehreren Vektoren (Abbildung 7.2.a und 7.2.b) und das Kommutativgesetz beim Bilden der Summe (Abbildung 7.2.c).

8.2 Komponentenweise rechnen: Vektoraddition und Vielfaches von Vektoren

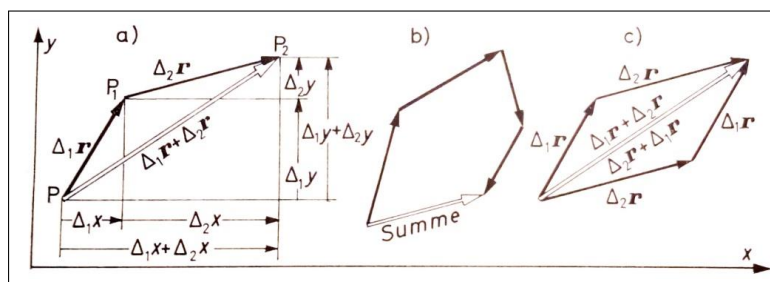


Abbildung 8.2: Vektoraddition

[Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die OS der AHS 1. Teil*, S. 28]

Zum Abschluss wird die Komponentenzerlegung von Vektoren beschrieben (siehe Abbildung 7.3.a und 7.3.b). Dieses geometrische Werkzeug wird im folgenden Merksatz verdeutlicht: „Unter der **Komponente eines Vektors in einer vorgegebenen Richtung** verstehen wir die Normalprojektion des Vektors auf diese Richtung [...].“ (Schreiner 1971, 28).

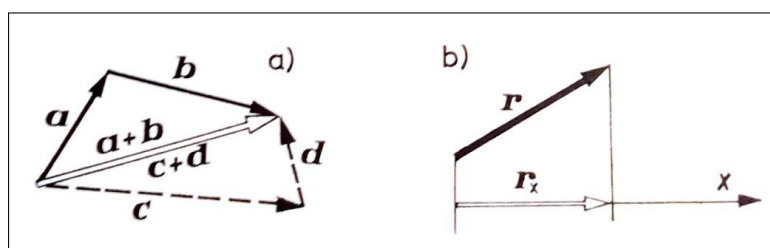


Abbildung 8.3: Vektoraddition: Komponentenzerlegung

[Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die OS der AHS 1. Teil*, S. 28]

An dieser Stelle möchte ich anmerken, dass Schreiner bereits in seinem Werk „Physik 1. Teil“ aus dem Jahr 1982 und auch in den darauffolgenden Ausgaben die Bewegungslehre nicht mehr mithilfe von Vektoren in Komponentendarstellung erläutert und berechnet.

8.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2011

Aus der Sammlung der aktuellen Literatur möchte ich das Schulbuch „Physik compact 5“ von Albert Jaros et al. aus dem Jahr 2011 untersuchen. Das Werk führt sämtliche Herleitungen, bei denen vektorielle Größen vorkommen, nicht in Komponentenschreibweise durch. Genauso wie bei den beiden anderen derzeitigen Schulbüchern von Apolin (2007) und Sexl (2012) werden auch im Werk von Jaros die Komponenten der Vektoren in den Abbildungen vereinzelt veranschaulicht. Allerdings ist mir lediglich ein Beispiel aufgefallen, bei dem sowohl das

8 Koordinatendarstellung von Vektoren

Vielfache von einem Vektor als auch die Vektoraddition komponentenweise berechnet werden. Bei diesem Beispiel im Lehrbuch von Jaros et al. geht es um den schiefen Stoß von zwei Massepunkten. Im Theorieteil wird der Stoß zweier Münzen in kurzen Worten beschrieben und mit der nachstehenden Abbildung 7.4 dargestellt.

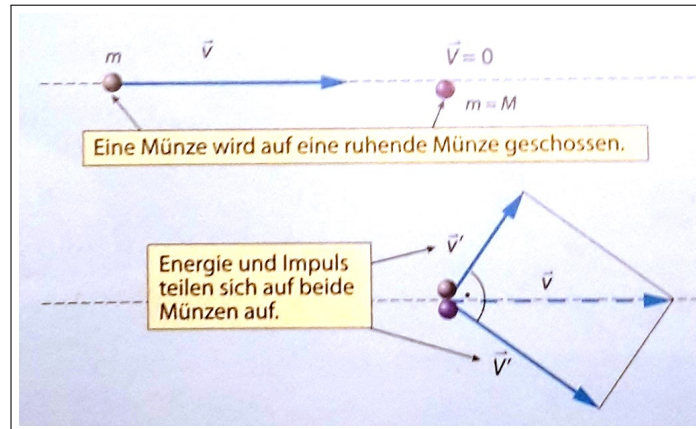


Abbildung 8.4: Versuch: Stoß zweier Münzen

[Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2011). *Physik compact 5*, S. 77]

Das Lehrbuch fährt mit einem Rechenbeispiel fort. Dabei geht es um den Zusammenstoß von zwei Fahrzeugen. Die Geometrie wird im Folgenden in Zusammenhang mit der Physik gebracht:

Weil dieser schiefe Stoß zweidimensional abläuft, lässt sich der Vorgang vorteilhaft mit zweidimensionalen Vektoren beschreiben. Die **Impulserhaltung** lässt sich schreiben als: $M \cdot \vec{V} + m \cdot \vec{v} = (M + m) \cdot \vec{v}'$
 $\begin{pmatrix} 1000 \cdot 10 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 3000 \cdot 5 \end{pmatrix} = 4000 \vec{v}'$

Daraus ergibt sich für die gemeinsame Geschwindigkeit nach dem Stoß:

$$\vec{v}' = \frac{1}{4000} \cdot \begin{pmatrix} 10000 \\ 15000 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,50 \\ 3,75 \end{pmatrix} \text{m/s}$$

Demnach beträgt der Betrag der Geschwindigkeit nach dem Stoß

$$|\vec{v}'| = \sqrt{2,50^2 + 3,75^2} \approx 4,5 \text{m/s}$$

(Jaros et al. 2011, 77)

9 Vektoraddition

9.1 Übersicht

In der Schulbuchliteratur kann man die Vektoraddition an mehreren Stellen finden. Bei meiner Untersuchung habe ich darauf geachtet, inwiefern die Physikbücher geometrisch argumentieren und welche mathematischen Kenntnisse von den Lernenden vorausgesetzt werden. Zwei physikalische Themengebiete sind mir bei der Untersuchung besonders aufgefallen:

- Kräfteaddition
- Geschwindigkeitsaddition

Ich habe beim Betrachten der Lehrbücher erkannt, dass die Kräfteaddition in allen früheren, wie auch in den neuesten Werken, geometrisch hergeleitet wird. Bei der Geschwindigkeitsaddition ist dies nur bei zwei Schulbüchern der Fall. Die beiden Werke stammen aus der Liste der aktuellen Bücher, dabei handelt es sich um „Big Bang 5“ von Martin Apolin (2007) und „Physik compact 5“ von Albert Jaros et al. (2011). Da die geometrische Herleitung der Geschwindigkeitsaddition in den Lehrbüchern so selten durchgeführt wird, möchte ich dies im nächsten Kapitel dokumentieren.

9.2 Geschwindigkeitsaddition

9.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2007

Eines der beiden Schulbücher, die die Geschwindigkeitsaddition geometrisch herleiten, ist das Werk „Big Bang 5“ von Martin Apolin aus dem Jahr 2007. Das Lehrbuch gibt die Geschwindigkeitsaddition mit mehreren Beispielen an. Diese sollen den Lernenden als Denkaufgabe dienen.

9 Vektoraddition

Bei einer Übung wird beschrieben, dass Regentropfen mit 8m/s senkrecht zu Boden fallen und ein Mensch mit 6m/s im Regen läuft. Die SchülerInnen sollen nun berechnen und erklären, wie der Regen aus der Sicht des laufenden Menschen zu Boden fällt und wie dieser den Schirm halten soll (vgl. Apolin 2007, 36 f.). Der Autor fügt zur Antwort auf die Fragen die untenstehende Grafik 8.1 hinzu.

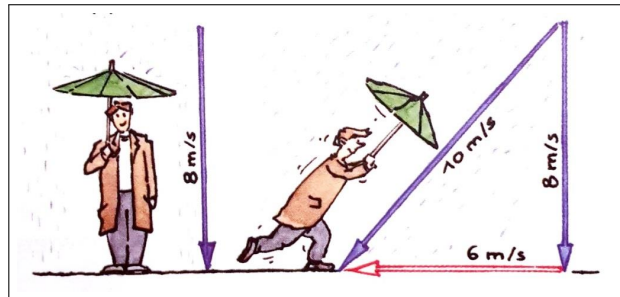


Abbildung 9.1: Geschwindigkeitsaddition - Regentropfen
[Apolin, M. (2007). *Big Bang 5*, S. 37]

In der obigen Abbildung 8.1 ist ein Vektordreieck ersichtlich. Das Schulbuch erläutert die Geschwindigkeitsaddition wie folgt:

In Summe kommen die Tropfen dadurch mit 10m/s schräg von vorne. [...] Wenn du läufst, addieren sich die Geschwindigkeiten. Weil es sich um ein rechtwinkeliges Dreieck handelt, kannst du mit **Pythagoras** rechnen:

$$\sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{36 + 64} = \sqrt{100} = 10 \quad (\text{Apolin 2007, 37})$$

An einer weiteren Stelle argumentiert Apolin bei der Geschwindigkeitsaddition mithilfe der Geometrie. Hier geht es um das Überqueren eines Flusses mit dem Boot (siehe Abbildung 8.2).

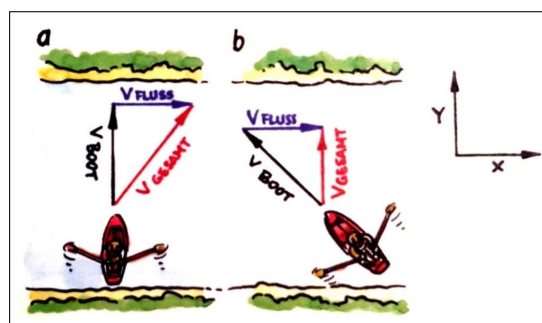


Abbildung 9.2: Geschwindigkeitsaddition - Bootsbeispiel
[Apolin, M. (2007). *Big Bang 5*, S. 65]

9.2 Geschwindigkeitsaddition

Im Schulbuch wird in diesem Fall keine Rechnung durchgeführt, sondern es werden die Kinder zum Nachdenken aufgefordert, wie der Bootsfahrer auf kürzestem Weg das andere Ufer erreichen könnte. Anhand der obigen Abbildung 8.2 wird erläutert, dass die linke Grafik den schnellsten Weg und die rechte Grafik den kürzesten Weg angeben. Ich bin der Meinung, dass diese Art von Abbildungen den Lernenden die Möglichkeit gibt, darüber nachzudenken, was ein kürzerer Geschwindigkeitsvektor v_{gesamt} für die Dauer der Flussüberquerung bedeuten würde.

10 Skalarprodukt

10.1 Übersicht

Das Skalarprodukt wird in der Schulliteratur vorwiegend bei dem nachstehenden physikalischen Thema zu Argumentationszwecken angewendet:

- Arbeit

Ich dokumentiere im kommenden Teil meiner Diplomarbeit das Einsetzen des Skalarproduktes zweier Vektoren bezüglich dem physikalischen Thema „Arbeit“ in drei verschiedenen Physikbüchern.

10.2 Arbeit

10.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1971

Im Werk „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 1. Teil“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1971 wird der Arbeitsbegriff im Kapitel über die Erhaltungssätze in der Mechanik eingeführt. Nach einem einleitenden Theorieteil beschreibt das Schulbuch die mechanische Arbeit mit den Worten: „**Unter der mechanischen Arbeit W (engl. Work) verstehen wir das Produkt aus der Kraftkomponente in der Wegrichtung und dem zurückgelegten Weg** [...] $W = F_s \cdot s$ “ (Schreiner 1971, 73).

Man kann erkennen, dass in diesem Merksatz geometrisch argumentiert wird. Der Ausdruck „Kraftkomponente in Wegrichtung“ beschreibt sozusagen das Skalarprodukt in Worten. Der geometrische Bezug in den Erläuterungen wird mithilfe von Abbildung 9.1 veranschaulicht, die Projektion des Kraftvektors auf die Wegrichtung wird mit F_s bezeichnet.

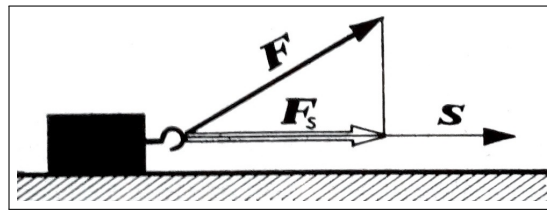


Abbildung 10.1: Skalarprodukt: mechanische Arbeit

[Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 1. Teil*, S. 73]

Der Autor gibt an, dass die Arbeit eine skalare Größe ist. Dass dieser Skalar jedoch durch die Multiplikation von zwei Vektoren entsteht, bleibt unerwähnt. Das Lehrbuch fährt mit der Erklärung fort, dass die Arbeit gleich Null ist, wenn die Bewegung eines Körpers normal zur Kraft erfolgt. Diese Aussage könnte man meiner Meinung nach mit der Eigenschaft des skalaren Produktes begründen, da dieses gleich Null ist, wenn zwei Vektoren aufeinander normal stehen.

10.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1989

In diesem Abschnitt möchte ich die geometrische Argumentationsweise zum Themengebiet der Arbeit aus dem Werk „Physik 1“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1989 dokumentieren. Das Schulbuch führt die Arbeit mit dem Zerlegen des Kraftvektors in die zur Bewegungsrichtung normale und parallele Komponente ein. Diese Zerlegung ist in der unteren Abbildung 9.2 ersichtlich.

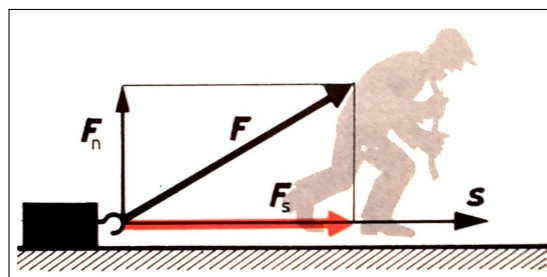


Abbildung 10.2: Skalarprodukt: Definition der Arbeit

[Schreiner, J. (1989). *Physik 1*, S. 45]

Im Gegensatz zu dem Schulbuch aus dem Jahr 1971 bezieht sich Schreiner in dieser Ausgabe auf die Eigenschaften des Skalarproduktes und erläutert die Formel der Arbeit mit der Angabe

10 Skalarprodukt

des Winkels: „Nur die zu \mathbf{s} parallele Kraftkomponente verrichtet Arbeit:

$$W = F_s s = F s \cos(\angle \mathbf{F}, \mathbf{s}) \quad (\text{Schreiner 1989, 45}).$$

Das Einbeziehen der Winkelfunktion Cosinus in die Formel der Arbeit halte ich im Physikunterricht für lehrreich. Auf diese Art und Weise können die SchülerInnen einen neuen Blickwinkel auf physikalische Abläufe mit mathematischem Zusammenhang erhalten.

10.2.3 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2011

Von den aktuellen Physiklehrbüchern untersuche ich in diesem Abschnitt das Werk „Physik compact 5“ von Albert Jaros et al. aus dem Jahr 2011. Hier wird der Arbeitsbegriff in kompakter Form mit einem Merksatz definiert. Das Schulbuch schildert den physikalischen Sachverhalt und das Skalarprodukt wird im Theorieteil explizit erwähnt:

Bei zahlreichen Vorgängen sind Kraft und Weg nicht parallel. In solchen Fällen wird bei der Berechnung der Arbeit nur die Kraftkomponente berücksichtigt, die parallel zum Weg gerichtet ist (F_p). [...] Rechnerisch lässt sich dies mit Hilfe des skalaren Produktes zweier Vektoren ausdrücken. [...] $W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F_p \cdot s$ [...] Nur die Parallelkomponente F_p trägt zur Arbeit bei. (Jaros et al. 2011, 61)

Zur Verdeutlichung der Projektion des Kraftvektors \vec{F} auf den Wegvektor \vec{s} wird die unten gezeigte Grafik 9.3 hinzugefügt.

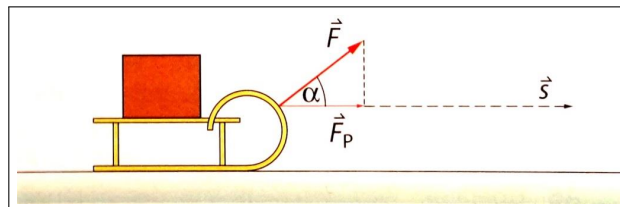


Abbildung 10.3: Skalarprodukt: parallele Kraftkomponente F_p mal Weg s
[Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2011). *Physik compact 5*, S. 61]

11 Vektoriellles Produkt

11.1 Übersicht

Zuletzt möchte ich die Anwendung des vektoriellen Produktes in den Physikbüchern behandeln. Ich konnte das Kreuzprodukt an mehreren Stellen in der Literatur finden. In der nachstehenden Aufzählung werden die physikalischen Inhalte aufgelistet, die mit diesem geometrischen Werkzeug beschrieben werden:

- Winkelgeschwindigkeit
- Bahngeschwindigkeit
- Drehmoment
- Drehimpuls
- Lorentzkraft

Im nächsten Abschnitt stelle ich die Lage über die Einbeziehung der Geometrie zu dem Thema „Winkelgeschwindigkeit“ in den Schulbüchern vor.

11.2 Winkelgeschwindigkeit

11.2.1 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1983

In der folgenden Untersuchung der geometrischen Aspekte zum Themengebiet „Winkelgeschwindigkeit“ verwende ich das Lehrbuch „Physik 2“ von Roman Sexl et al. aus dem Jahr 1983. Das Werk führt diesen physikalischen Sachverhalt mit einem ausführlichen Theorieteil über die Rotationsbewegung ein. Hier wird das Bogenmaß definiert und schließlich

11 Vektorielltes Produkt

die Winkelgeschwindigkeit angeben. Diese Größe wird folgenderweise beschrieben: „Die Winkelgeschwindigkeit $\boldsymbol{\omega}$ ist ein Vektor. Die Richtung von $\boldsymbol{\omega}$ fällt mit der Drehachse zusammen und wird durch die Korkenzieherregel festgelegt. Der Betrag von $\boldsymbol{\omega}$ ist gegeben durch $\boldsymbol{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \hat{\varphi}}{\Delta t}$ “ (Sextl et al. 1983, 58).

Wie man erkennen kann, wird für die Richtungsangabe des Winkelgeschwindigkeitsvektors die Korkenzieherregel verwendet. Abbildung 10.1.a zeigt die zum Theorieteil beigefügte Grafik, in der die Richtung der Winkelgeschwindigkeit veranschaulicht wird.

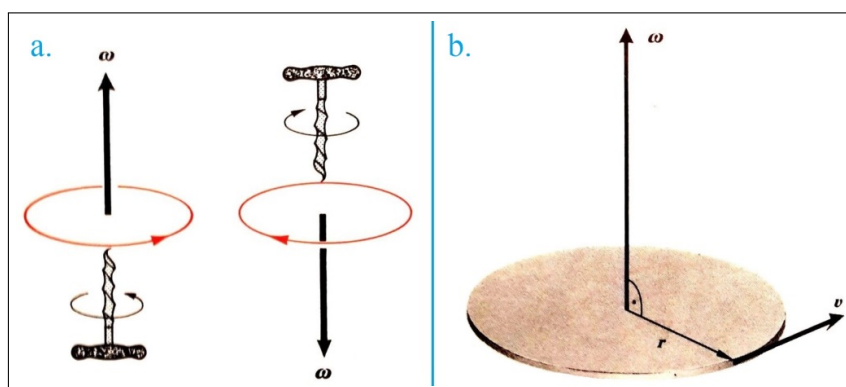


Abbildung 11.1: a. Korkenzieherregel; b. Bahn- und Winkelgeschwindigkeitsvektoren [Sextl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1983). *Physik 2*, Teil A: S. 58]

Das Kreuzprodukt kommt in Bezug auf die Bahngeschwindigkeit mit der nachstehenden Erläuterung zum Vorschein: „Die Richtung der Bahngeschwindigkeit lässt sich mit Hilfe der Vektorrechnung zum Ausdruck bringen. Wie die Zeichnung zeigt, gilt: $\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$ “ (Sextl et al. 1983, 58). Die im obigen Zitat erwähnte Zeichnung ist in der Grafik 10.1.b ersichtlich. Die Lernenden müssen ihr Wissen über das Kreuzprodukt bereits im Mathematikunterricht erworben haben, um den Zusammenhang zwischen der Richtung der Bahngeschwindigkeit und dem vektoriellen Produkt zu verstehen.

11.2.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2007

Von den aktuellen Physikwerken untersuche ich das Werk „Big Bang 5“ von Martin Apolin aus dem Jahr 2007. Das Schulbuch beschreibt die Winkelgeschwindigkeit im Theorieteil zuerst als den Drehwinkel pro Sekunde und gibt dabei die Formel an: $\boldsymbol{\omega} = \Delta \varphi / \Delta t$ (vgl. Apolin 2007, 106).

11.2 Winkelgeschwindigkeit

Im Anschluss stellt Apolin eine zweite Variante zur Herleitung der Winkelgeschwindigkeit vor, dabei handelt es sich um die Berechnung mit dem Kreuzprodukt. Im Lehrbuch wird diese Variante geometrisch hergeleitet und es wird Bezug auf die Rechte-Hand-Regel genommen: „Die Winkelgeschwindigkeit ω , die Geschwindigkeit v und der Radius r sind Vektoren. Sie stehen alle im rechten Winkel aufeinander - ω ist das Kreuzprodukt von r und v . Der Vektor ω liegt in der Drehachse.“ (Apolin 2007, 107).

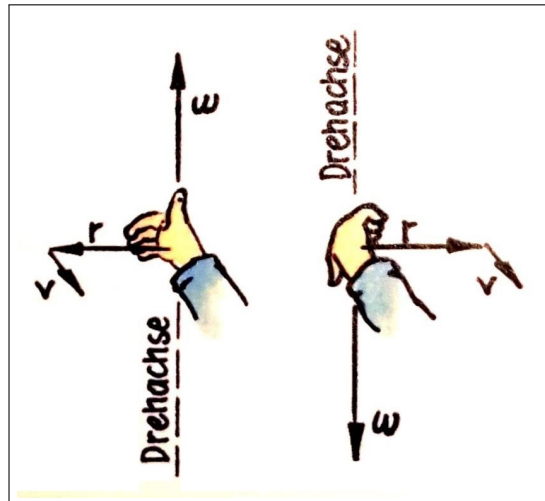


Abbildung 11.2: Richtung der Winkelgeschwindigkeit: Rechte-Hand-Regel
[Apolin, M. (2007). *Big Bang 5*, S. 107]

Mithilfe der obigen Abbildung 10.2 können die SchülerInnen die Rechte-Hand-Regel zur Bestimmung der Richtung der Winkelgeschwindigkeit eigenständig ausprobieren und die Wirkung des vektoriellen Produktes nachvollziehen.

Fallstudie

12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft

12.1 Mathematische Vorbereitung

Die Lorentzkraft wird in diesem Fallbeispiel hinsichtlich der geometrischen Eigenschaften untersucht. Dabei gehe ich speziell auf das **Kreuzprodukt**, in der Mathematik auch vektorielles Produkt genannt, ein. Bildet man das äußere Produkt zweier dreidimensionaler Vektoren, so schreibt man:

$$\vec{x} \times \vec{y} = \vec{z} \quad (12.1)$$

In Abbildung 11.1.a veranschauliche ich das Kreuzprodukt mittels einer vektoriellen Skizze. Der Vektor \vec{z} steht auf die beiden Vektoren \vec{x} und \vec{y} senkrecht, und zwar so, dass diese drei Vektoren ein sogenanntes Rechtssystem bilden. Eine Darstellungsform des vektoriellen Produktes ist die „Rechte-Hand-Regel“. Wie der Name bereits verrät, versteht man darunter den Daumen (= \vec{x}), den Zeigefinger (= \vec{y}) sowie den Mittelfinger (= \vec{z}) der gespreizten rechten Hand (siehe Abbildung 11.1.b).

Bei der Rechtsschraubenregel, auch Korkenzieherregel genannt, dreht sich der Vektor \vec{x} auf kürzestem Weg in \vec{y} , und durch die Bewegung der Schraube ergibt sich die beim Kreuzprodukt resultierende Richtung des Vektors \vec{z} (siehe Abbildung 11.1.c). Eine weitere Möglichkeit zur Veranschaulichung bietet die „Gekrümmte-Hand-Regel“. Hierbei zeigen die gekrümmten Finger der rechten Hand in Drehrichtung, und der Daumen gibt die Richtung des Vektors \vec{z} an (siehe Abbildung 11.1.d).

12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft

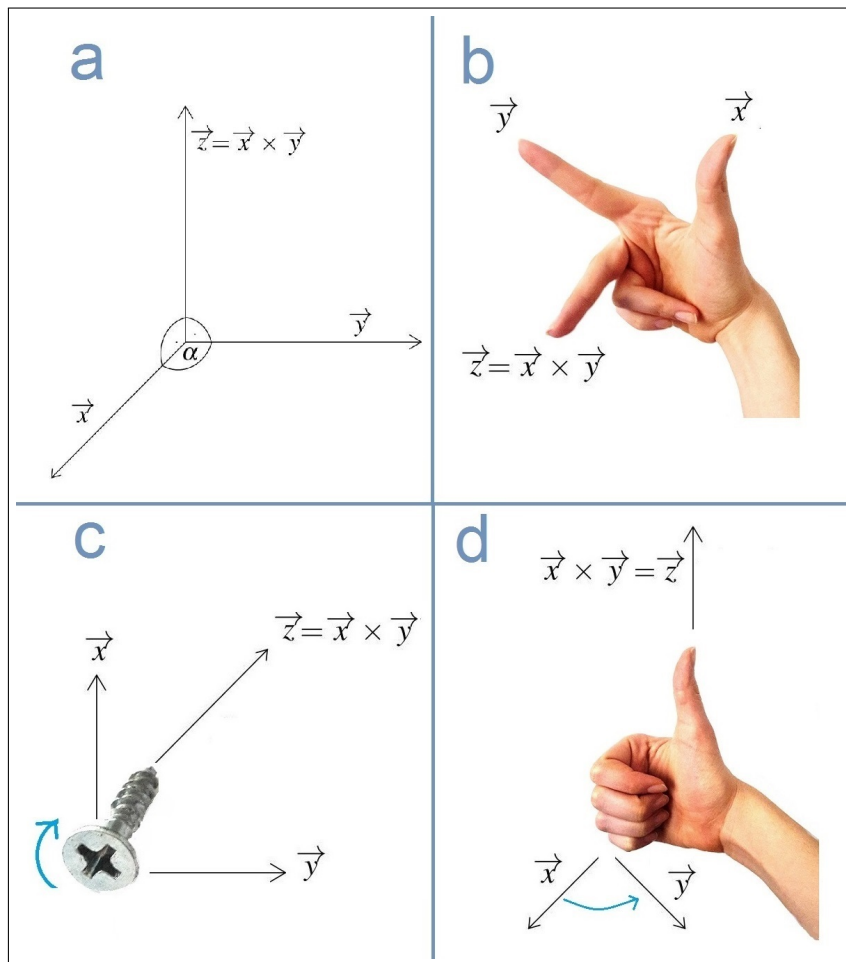


Abbildung 12.1: Die Richtung des Kreuzprodukts
[vgl. Dellago 2010, 53 ff.]

Das äußere Produkt $\vec{x} \times \vec{y} = \vec{z}$ ergibt einen Vektor mit dem Betrag $|\vec{z}| = |\vec{x}| \cdot |\vec{y}| \cdot \sin\alpha$. Dabei ist α der eingeschlossene Winkel zwischen den beiden Vektoren \vec{x} und \vec{y} . In meiner Schulbuchanalyse ist neben der Richtungsangabe der Vektoren folgende Eigenschaft des Kreuzproduktes von Bedeutung:

$$\vec{x} \times \vec{y} = \vec{0} \quad (12.2)$$

Die obige Eigenschaft (11.2) gilt, wenn \vec{x} und \vec{y} zueinander parallel, beziehungsweise antiparallel sind.

12.2 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1971

Für die folgende Analyse der Inhalte der mehr als vierzig Jahre alten Schulliteratur verwende ich das Werk „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 2. Teil“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1971. Das Schulbuch führt an, dass der Inhalt dem Lehrplan aus dem Jahr 1967 für allgemeinbildende höhere Schulen angepasst ist. An dieser Stelle möchte ich anmerken, dass in der angegebenen Zeit die Oberstufe aus fünf und nicht wie gegenwärtig aus vier Schulstufen bestand.

Dieser Lehrplan wurde am 24. August 1967 veröffentlicht. Das Gebiet der elektromagnetischen Felder und Kräfte, dem die Lorentzkraft zugeordnet wird, ist im Lernstoff der achten Klasse unter den folgenden Benennungen zu finden:

Die bewegte elektrische Ladung [...] Bewegte Ladungen als Ursache magnetischer Erscheinungen. [...] Wechselwirkung zwischen Strom und Magnetfeld [...] Die elektromagnetische Induktion
(RIS Lehrplan - Bundesgesetzblatt 1967, 111)

Schreiner führt die Lorentzkraft im Kapitel „Kräfte auf elektrische Ströme im Magnetfeld“ mit dem elektrodynamischen Grundgesetz ein. Dieser Abschnitt wird mit einem Versuch eingeleitet. Bei dem Experiment geht es um ein Leiterstück in einem homogenen Magnetfeld mit einer zur Feldrichtung normalen Stromrichtung. Der Stromleiter wird bei Stromfluss ausgelenkt, und auf ihn wirkt eine Kraft in Auslenkungsrichtung. Abbildung 11.2.a zeigt die Grafik aus dem Schulbuch, die zur Veranschaulichung des Experimentes dient.

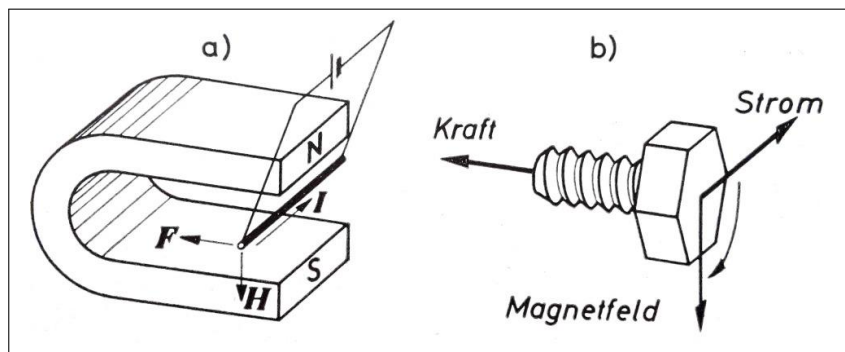


Abbildung 12.2: a. Versuch: Kraft des Magnetfeldes auf einen Leiter; b. Rechtsschraubenregel
[Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die OS der AHS 2. Teil*, S.178]

12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft

Anschließend fasst das Schulbuch die Richtung des Lorentzkraftvektors mit folgendem Bezug zur Geometrie zusammen: „Die hier auftretende Kraft wirkt normal zu der durch den Stromvektor \mathbf{I} und den magnetischen Feldvektor \mathbf{H} aufgespannten Ebene.“ (Schreiner 1971, 178).

Das Werk geht in Abbildung 11.2.b auf die Rechtsschraubenregel ein, indem die gegebenen physikalischen Größen \vec{H} , \vec{I} und \vec{F} mithilfe dieser Merkregel abgebildet werden.

An dieser Stelle möchte ich darauf hinweisen, dass in diesem Lehrbuch zwar die Effekte der Lorentzkraft besprochen werden, jedoch wird sie nicht explizit als „Lorentzkraft“ bezeichnet. Die auftretende Kraft wird in dem elektrodynamischen Grundgesetz mit der Formel $F_m = \mu_0 \cdot H \cdot I \cdot l$ angeschrieben, dabei werden μ_0 als die Induktionskonstante und l als die Länge des Leiterstücks bezeichnet. Anschließend wird die magnetische Kraftflussdichte $B = \mu_0 \cdot H$ eingeführt und in die Formel des elektrodynamischen Grundgesetzes eingesetzt: $F_m = B \cdot I \cdot l$.

Bei der Betrachtung der Formulierungen fällt auf, dass die Rechtsschraubenregel sowohl beim elektrodynamischen Grundgesetz als auch bei der magnetischen Kraftflussdichte Anwendung findet. Das vektorielle Produkt wird hingegen weder in einer Formel, noch in den Erläuterungen erwähnt.

Schreiner fährt in seinem Schulbuch mit dem Thema „Kräfte zwischen elektrischen Strömen“ fort, das mithilfe von zwei Versuchen den Lernenden näher gebracht werden soll. In einem Experiment werden nacheinander gleichgerichtete und ungleichgerichtete Ströme durch zwei parallele Leiter aus Lamettband geschickt. Die Richtung des Kraftvektors beim Anziehen und beim Abstoßen der parallelen Stromleiter wird im Theorieteil erläutert und ist in der nachstehenden Abbildung 11.3 ersichtlich.

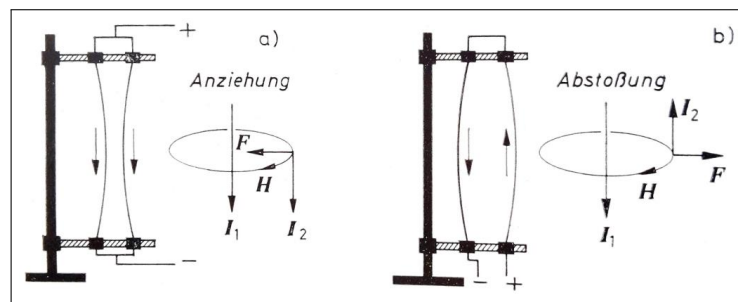


Abbildung 12.3: Versuch: Kraft zwischen zwei parallelen Leitern aus Lamettband [Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die OS der AHS 2. Teil*, S. 180]

Im Zuge meiner Untersuchung der geometrischen Herleitungen im Schulbuch aus dem Jahr 1971 konnte ich erkennen, dass das Kreuzprodukt nicht explizit zu Argumentationszwecken eingesetzt wurde. In den Grafiken hat das Lehrbuch allerdings die Richtungen der physikalischen Größen mithilfe der Rechtsschraubenregel gekennzeichnet.

12.3 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 1991

Das Schulbuch, das ich in diesem Abschnitt analysiere, stammt ebenso von Josef Schreiner, wie das untersuchte Lehrbuch aus dem vorigen Kapitel 11.2. Es trägt den Titel „Physik 3“ und wurde im Jahr 1991 veröffentlicht, zwanzig Jahre nach der Veröffentlichung von „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 2. Teil“.

In diesen zwei Jahrzehnten hat sich im Schulbuchwesen in Physik einiges geändert. Neben den Werken des bedeutungsvollsten Physikschulbuchautors Josef Schreiner in den siebziger Jahren kommen in den neunziger Jahren neue Physiklehrbücher von Roman Sexl, Ivo Raab und Ernst Streeruwitz auf den Markt. Im selben Zeitraum veröffentlicht Schreiner seine letzte Serie von Physikschulbüchern.

Das Lehrbuch „Physik 3“ verweist auf den im Jahr 1988 aktuellen Lehrplan, welcher am 30. August 1985 herausgegeben wurde. Das Themengebiet der elektrischen Ströme und Magnetfelder ist im Lehrplan der achten Klasse (von insgesamt neun Schulstufen) aus dem Jahr 1985 vorzufinden. Der Begriff der Lorentzkraft wird dabei thematisch unter folgenden Lehrstoffgebieten erwähnt:

Die bewegte elektrische Ladung [...] Bewegte Ladungen als Ursache magnetischer Erscheinungen. [...] Wechselwirkungen zwischen Strom und Magnetfeld. (RIS Lehrplan - Bundesgesetzblatt 1985, 14)

Die Lorentzkraft wird in dem Abschnitt „Das elektromagnetische Feld“ im Lehrbuch von Schreiner eingeführt. Auf die Frage, ob Magnetfelder durch magnetische Ladungen erzeugt werden, wie das beim elektrischen Feld durch elektrische Ladungen der Fall ist, liefert eine Versuchsanleitung die Antwort. Bei dem Experiment wird das Magnetfeld eines geraden, stromdurchflossenen Leiters mithilfe von Eisenfeilspänen demonstriert. Im darauffolgenden Theorieteil werden die Erkenntnisse über das elektromagnetische

12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft

Feld nochmals zusammengefasst. An dieser Stelle wird die Rechtsschraubenregel zum ersten Mal wie folgt angewendet: „Die Richtung der Feldlinien definieren wir nach der **Rechtsschraubenregel**: Blickt man in die Stromrichtung, so umlaufen die magnetischen Feldlinien den Leiter im Uhrzeigersinn.“ (Schreiner 1991, 29).

Das nachfolgende Experiment mit der Leiterschaukel soll die Frage beantworten, worauf das Magnetfeld wirkt. Wie in Abbildung 11.4 ersichtlich wird, wurde die zum Versuch hinzugefügte Grafik im Vergleich zu Abbildung 11.2 aus dem Jahr 1971 verändert. Der magnetische Feldvektor \vec{H} wurde durch das Vektorfeld der magnetischen Flussdichte \vec{B} ersetzt. Dies ist erlaubt, da der Vektor mit einem Skalar multipliziert wird und die Richtung sich dadurch nicht ändert. Es gilt: $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$.

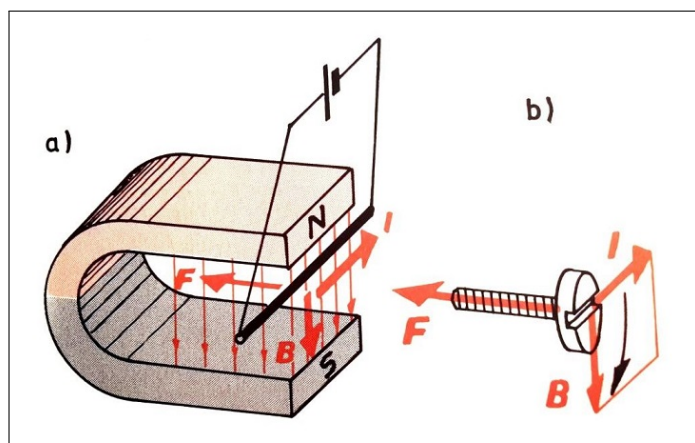


Abbildung 12.4: a. Versuch: Nachweis der Lorentzkraft; b. Rechtsschraubenregel
[Schreiner, J. (1991). *Physik 3*, S. 30]

Im Gegensatz zu dem Lehrbuch von 1971 wird im Werk von 1991 der Begriff der Lorentzkraft explizit genannt und das elektrodynamische Grundgesetz wird mit der Formel $F = B \cdot I \cdot l$ angegeben. Ein neuer geometrischer Aspekt zeigt sich durch das Ausdrücken dieser Formel in Vektorschreibweise: $\mathbf{F} = (\mathbf{I} \times \mathbf{B})l$.

Ich möchte hier hervorheben, dass das vektorielle Produkt an dieser Stelle zum ersten Mal in Verbindung mit der Lorentzkraft gebracht wird. Der Autor bezieht sich in der folgenden Aussage auf die Normalkomponenten von Vektoren: „Nur die Normalkomponente $B_n = B \cdot \sin \alpha$ bzw. $I_n = I \cdot \sin \alpha$ erzeugt die Lorentzkraft.“ (Schreiner 1991, 30). Den Lernenden, die verstehen wollen, weshalb lediglich die Komponenten B_n und I_n die Lorentzkraft erzeugen, wird der

geometrische Hintergrund nicht weitergehend erklärt.

Bei der Herleitung der Lorentzkraft auf bewegte Teilchen konnte ich eine weitere Anwendung von geometrischen Elementen feststellen. Die auf die bewegten Teilchen (der Ladung Q mit Geschwindigkeit \vec{v}) normal wirkende Lorentzkraft wird zunächst mit der Formel in Betragsschreibweise $F = Q \cdot v \cdot B$ angegeben. Der Theorieteil bezieht sich auf die Berechnung in Vektorschreibweise und das vektorielle Produkt kommt zum Vorschein. Das Schulbuch drückt die Lorentzkraft mit der nachstehenden Erklärung aus: „ $\mathbf{F} = Q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ [...] Ist \mathbf{v} zu \mathbf{B} parallel, so ist $F = 0$.“ (Schreiner 1991, 31).

Mit der Angabe der parallelen Lagebedingung wird die Eigenschaft des Kreuzproduktes in Worten beschrieben. Schreiner bezieht sich jedoch nicht auf den Winkel zwischen den Vektoren \vec{v} und \vec{B} .

Bei einer anderen Versuchsanleitung geht es um die Ablenkung des Elektronenstrahls im Magnetfeld. Abbildung 11.5 veranschaulicht sowohl den geraden als auch den abgelenkten Elektronenstrahl eines Elektronenstrahloszilloskops, der mit einem Magneten angenähert wird.

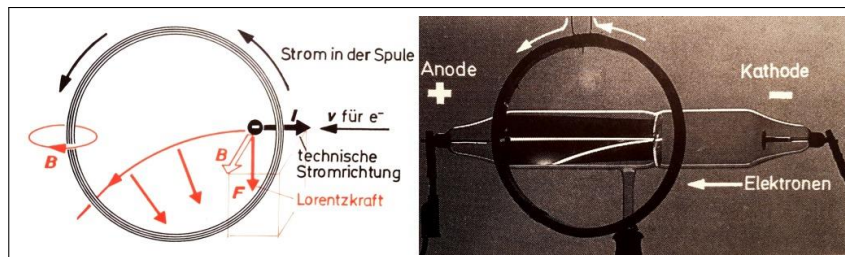


Abbildung 12.5: Versuch: Ablenkung des Elektronenstrahls
[Schreiner, J. (1991). *Physik 3*, S. 31]

Die Grafik 11.5 zeigt die im Theorieteil beschriebene Aussage über die Normalkomponenten der Vektoren \vec{B} und \vec{v} . Steht die Lorentzkraft auf den Geschwindigkeitsvektor normal, so bewegt sich der Elektronenstrahl in einem homogenen Magnetfeld kreisförmig - sofern \vec{B} und \vec{v} normal zueinander sind (vgl. Schreiner 1991, 31).

Verglichen mit dem Schulbuch aus dem Jahr 1971 kann man in dem Werk von 1991 eine Zunahme der geometrischen Argumentationen bei der Herleitung der Lorentzkraft feststellen. In der neueren Version wird das vektorielle Produkt ausgeschrieben und die Lorentzkraft wird explizit als physikalische Größe ausgedrückt. Ebenso ist die Anzahl der

Grafiken mit mathematischem Inhalt im Lehrbuch von 1991 gestiegen. Die Abbildungen in diesem Schulbuch stellen nicht ausschließlich Versuche dar, sondern sie beziehen sich auf geometrische Gegebenheiten, wie zum Beispiel bei der Darstellung der Normalkomponente von Vektoren.

12.4 Lage im Schulbuch aus dem Jahr 2012

Im folgenden Kapitel beschränke ich mich auf die Untersuchung der geometrischen Herleitungen im Schulbuch „Physik 7“, geschrieben von Roman Sexl aus dem Jahr 2012. Die Inhalte richten sich nach dem derzeit aktuellen Oberstufenlehrplan aus dem Jahr 2004. Im Abschnitt „Didaktische Grundsätze“ des Physiklehrplans für allgemeinbildende höhere Schulen wird auf die Bedeutung der mathematischen Ebene näher eingegangen. Die nachfolgende Passage bezieht sich auf das Einbeziehen der Mathematik in den Physikunterricht:

Mathematisierung als spezifische physikalische Arbeitsweise bedeutet das Durchlaufen verschiedener Stufen zunehmender Abstraktion von der Gegenstandsebene über bildliche, sprachliche und symbolische Ebenen zur formal-mathematischen Ebene. (BMBF Physik Oberstufe 2004, 3)

Das Gebiet der elektrischen Ströme und Magnetfelder wird dem Lehrstoff der siebten und der achten Klasse zugeordnet. An dieser Stelle möchte ich betonen, dass in dem Lehrplan von 2004, sowie auch schon im Lehrplan von 1989 die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen aus vier Schulstufen besteht. Die mit der Lorentzkraft thematisch verbundenen Bildungsziele werden wie folgt formuliert:

Die Schülerinnen und Schüler sollen folgende physikalische Bildungsziele erreichen [...] mit Hilfe der Elektrodynamik Grundphänomene elektrischer und magnetischer Felder (Feldquellen, Induktionsprinzip, elektromagnetische Wellen [...] erklären können und ihre Bedeutung in einfachen technischen Anwendungen verstehen [...] (BMBF Physik Oberstufe 2004, 3f.)

Das Schulbuch „Physik 7“ bereitet das Thema der elektrischen Ströme im Magnetfeld mit dem einführenden Kapitel über elektrische Felder vor. Im Anschluss schildert Sexl den Zusammenhang zwischen Strömen und Magnetfeldern mit dem Versuch nach Christian Oersted. In diesem Experiment geht es um die Veranschaulichung des Magnetfeldes mithilfe

von Eisenfeilspänen, die um einen stromdurchflossenen Leiter verstreut werden. Das Lehrbuch weist auf die Rechtsschraubenregel zur Bestimmung der Krafrichtung hin. Zwei Fotos veranschaulichen an der Stelle die Form des Magnetfeldes um einen Leiter, allerdings wird die Richtung der Stromstärke, des Magnetfeldes und der Kraft nicht explizit gezeigt.

Als nächstes wird der Versuch mit der stromdurchflossenen Leiterschaukel in einem Magnetfeld angeführt. Dabei werden die SchülerInnen dazu aufgefordert, die Stromstärke sowie die Magnetfeldrichtung zu verstellen. Daraus sollen sie den Zusammenhang zwischen der Auslenkung des Leiters und den jeweiligen Einstellungen herausfinden.

Der Theorieteil geht auf das qualitative Experiment mit folgender Bemerkung ein: „Der Draht wird ausgelenkt, wenn er zu den Feldlinien normal steht. Liegt er parallel zu den Feldlinien, wirkt keine Kraft.“ (Sexl 2012, 67). Weshalb bei normaler Lagebeziehung der Vektoren der Draht abgelenkt wird, beziehungsweise weswegen bei paralleler Stellung keine Kraft wirkt, wird in diesem Werk nicht geometrisch erläutert. Die dazu gehörige Prinzipskizze wird in Abbildung 11.6 ersichtlich.

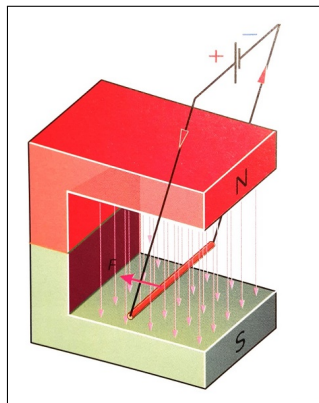


Abbildung 12.6: Versuch: Leiterschaukel im Magnetfeld
[Sexl, R. (2012). *Physik 8*, S. 67]

Wie man erkennen kann, werden die Pfeile der magnetischen Flussdichte und die auf den Draht wirkende Kraft eingezeichnet. Die Richtung des Stromes wird nicht als Vektor angegeben, jedoch kann man bei genauer Betrachtung der Grafik auf die Stromrichtung mithilfe der bei der Spannungsquelle gekennzeichneten Pfeile schließen.

12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft

Nach der Einführung der magnetischen Flussdichte wird die Lorentzkraft angeführt und wie folgt dargestellt: „In einem Magnetfeld B erfährt ein Leiter der Länge s , in dem ein Strom I fließt, die Kraft $F = I \cdot s \cdot B$, wenn I normal zur Feldrichtung fließt.“ (Sexl 2012, 68). Der Merksatz wird mit dem nachstehenden geometrischen Zusammenhang ergänzt: „In Vektorform: $\vec{F} = s \cdot \vec{I} \times \vec{B}$, wobei I in die technische Stromrichtung zeigt. Auf Ströme parallel zur Feldrichtung wirkt keine Kraft.“ (Sexl 1992, 68). Das Schulbuch geht weder auf die Aussage über die zur Feldrichtung parallele Stromrichtung ein, noch wird die Herleitung mithilfe des äußeren Produktes genützt. Das Kreuzprodukt aus der Formel der Lorentzkraft wird anhand der Rechten-Hand-Regel begrifflich gemacht und mit einer Abbildung grafisch unterstützt.

Eine weitere Sichtweise auf die Lorentzkraft erhält man im darauffolgenden Abschnitt, welcher die Wirkung der Lorentzkraft auf einzelne Ladungen behandelt. Im Theorieteil wird die mathematische Herleitung der Lorentzkraft Schritt für Schritt durchgeführt. Zuerst geht man von einem Elektronenstrahl mit der Geschwindigkeit v aus, und die Stromstärke wird mit $I = \frac{q}{\Delta t}$ festgelegt. Die Folgerung aus diesen Bedingungen ist die Formel der Lorentzkraft in Betragsschreibweise: $F = q \cdot v \cdot B$. Sexl betont an dieser Stelle, dass diese Formel dann gilt, wenn \vec{v} auf \vec{B} normal steht. Die Formel der Lorentzkraft in Vektorschreibweise wird in dem nachstehenden Merkkästchen in Abbildung 11.7 definiert.

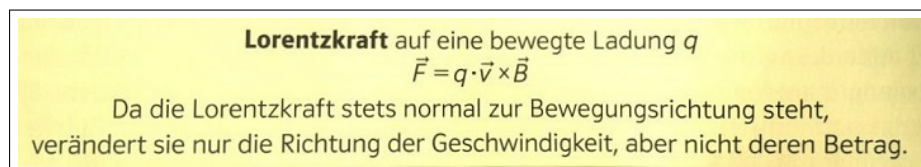


Abbildung 12.7: Merksatz zur Lorentzkraft auf einzelne Ladungen
[Sexl, R. (2012). *Physik 7*, S. 68]

Ebenso wie im Schulbuch von Schreiner aus dem Jahr 1991 beschreibt das Werk von Sexl aus dem Jahr 2012 das Experiment, bei dem die anziehende und die abstoßende magnetische Kraft auf zwei parallele Leiter wirkt. Mithilfe der sogenannten „UVW-Regel“ (siehe Rechte-Hand-Regel in Kapitel 11.1) werden die Effekte im Versuch begründet. Die Auslenkungsrichtung der Leiter wurde nicht mit dem vektoriiellen Produkt begründet.

12.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

In diesem Abschnitt möchte ich die beobachteten Unterschiede bei der geometrischen Herleitung der Lorentzkraft festhalten.

Zu den drei Schulbüchern aus den Jahren 1971, 1991 und 2012 habe ich zusätzlich vier Werke in die Ergebnisdarstellung aufgenommen; diese sind mit einem Stern markiert. Durch diese Erweiterung der Literaturliste schaffe ich ein klares Bild über die zeitliche Entwicklung der Argumentationsweise in den Lehrbüchern. Die folgende chronologisch gereichte Literaturtabelle 11.1 beinhaltet die jeweiligen Abkürzungen zu den verwendeten Werken.

Abkürzung	Schulbuch
A	Schreiner, J. (1971). <i>Lehrbuch der Physik 2. Teil</i> . 3.Aufl., Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
B*	Schreiner, J. (1982). <i>Physik 2. Teil</i> . 2.Aufl., Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
C*	Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1983). <i>Physik 3 Teil A + Teil B</i> , Wien: Ueberreuter
D	Schreiner, J. (1991). <i>Physik 3</i> , Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
E*	Apolin, M. (2008). <i>Big Bang 7</i> , Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
F*	Jaros, A., Nussbaumer A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2012). <i>Physik compact 8</i> , Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
G	Sexl, R. (2012). <i>Physik 7</i> , Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG

Tabelle 12.1: Literaturliste der Ergebnisdarstellung

Wie wird das Gebiet der Lorentzkraft in den Schulbüchern vorbereitet?

A: In diesem Lehrbuch wird die Lorentzkraft nicht explizit erwähnt. Die Effekte dieser Kraft werden im Rahmen von Versuchserläuterungen erklärt. Das Gebiet der Elektrodynamik wird mit dem elektrodynamischen Grundgesetz eingeführt.

B*: Schreiner führt zur Vorbereitung das elektromagnetische Feld ein, dabei werden neben dem Theorieteil drei Experimente behandelt.

12 Fallstudie über die geometrische Argumentation bei der Lorentzkraft

C*: Das Experiment mit der Leiterschaukel in einem Magnetfeld dient dem Wissensaufbau über die Lorentzkraft. Diese wird nach einem ausführlichen Theorieteil über die magnetische Feldstärke mithilfe eines Merkkästchens und einer Grafik vorgestellt.

D: Das Schulbuch setzt sich vorerst mit dem Entstehen von Magnetfeldern und dem elektrodynamischen Gesetz auseinander, erst dann wird auf die Lorentzkraft eingegangen.

E*: Apolin bereitet die Lernenden auf die Lorentzkraft mit Oerstedts Entdeckung und den Kräften zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern vor. Bei den Erläuterungen über die technische Stromrichtung wird die Gekrümmte-Hand-Regel eingesetzt.

F*: Bevor der Begriff der Lorentzkraft eingeführt wird, beschäftigt sich das Schulbuch mit parallelen stromdurchflossenen Leitern, die von Magnetfeldern umgeben sind. Ähnlich dazu wird das Magnetfeld um eine stromdurchflossene Spule und Leiterschleife besprochen. Die jeweiligen mathematischen Erläuterungen werden mittels der Rechten-Hand-Regel dargestellt.

G: Sexl geht vorerst auf die Ströme in einem Magnetfeld ein und leitet dann durch eine für SchülerInnen gerechte Forschungsfrage auf die Lorentzkraft.

Findet eine Beschränkung auf den Fall $\vec{v} \perp \vec{B}$ statt?

(Unter dem Symbol \perp wird die normale Lagebeziehung verstanden.)

A: Die Effekte der Lorentzkraft werden zwar erwähnt, jedoch wird weder in Form eines Theorieteils, noch mathematisch explizit auf diese Kraft eingegangen.

B*: In der Betragsschreibweise der Lorentzkraft auf ein einzelnes Teilchen wird der Winkel α nicht konkret erwähnt. Für die Gültigkeit der Formel wird allerdings vorausgesetzt, dass die Vektoren der Geschwindigkeit und der magnetischen Flussdichte normal zueinander liegen.

C*: Dieses Schulbuch gibt die Lorentzkraft mit der Formel $F = I \cdot s \cdot B$ an. Der eingeschlossene Winkel zwischen dem Stromvektor und dem Magnetfeld wird nicht explizit ausgeschrieben. Sexl vermerkt an dieser Stelle, dass diese Formel dann gilt, falls der Strom normal zur Feldrichtung fließt. Die Formel der Lorentzkraft auf eine einzelne Ladung weist ebenso nicht auf den Winkel α hin.

D: Schreiner geht in seinem Schulbuch bei der Vorstellung der Lorentzkraft nicht auf den Winkel α ein. Allerdings werden die Lagebeziehungen der einzelnen Vektoren vor dem Einführen der Formel erläutert.

E*: Die Darstellung der Lorentzkraft wird in einem ausführlichen theoretischen Abschnitt besprochen, der Winkel α wird allerdings diesbezüglich nicht erwähnt.

F*: Jaros gibt bei dem Betrag der Lorentzkraft den Winkel α nicht an, sondern setzt stattdessen die Lage der beiden Vektoren \vec{v} und \vec{B} voraus.

G: Dieses Schulbuch beschreibt den Winkel in der Betragsschreibweise der Lorentzkraft in Worten, indem die Stromrichtung normal zur magnetischen Feldrichtung angegeben wird.

Wird das äußere Produkt in der Formel (in Vektorschreibweise) der Lorentzkraft angeführt?

A: Es werden lediglich die Richtungen der physikalischen Größen, die mit der Lorentzkraft zusammenhängen, besprochen. Die Formel wird nicht in Vektorform angegeben.

B*: Die Lorentzkraft auf ein einzelnes Teilchen wird in Vektorschreibweise dargestellt. Zur Unterstützung der Vorstellung dieser Kraft dient eine Abbildung, mithilfe derer die jeweiligen Vektoren dargestellt werden.

C*: Die Formel der Lorentzkraft wird neben der Betragsschreibweise in Vektorschreibweise wie folgt angeführt: „ $\mathbf{F} = I[\mathbf{s} \times \mathbf{B}]$ “ (Sexl 1983, 7). Der Vektor \vec{s} gibt dabei die technische Stromrichtung an. Wie die Lagebeziehungen der einzelnen Vektoren zueinander aussehen, wird im Merkkästchen über die Betragsschreibweise dieser Formel definiert. Im darauffolgenden Abschnitt wird die Lorentzkraft auf ein einzelnes Teilchen ebenso in Vektorschreibweise behandelt.

D: Das äußere Produkt wird in diesem Lehrbuch in Bezug auf die Lorentzkraft angegeben. Zudem wird die Bedingung „Ist \mathbf{v} zu \mathbf{B} parallel, so ist $F = 0$.“ (Schreiner 1991, 31) angefügt. Dass man dies jedoch aus den Eigenschaften des vektoriiellen Produktes herleiten kann, wird nicht erwähnt.

E*: Apolin führt die Formel der Lorentzkraft ausschließlich in der Betragsschreibweise an. Das äußere Produkt wird mit der folgenden Aussage erwähnt: „ F_L entspricht dabei dem Kreuzprodukt von v und B .“ (Apolin 2008, 58). Eine weitere Verbindung zum äußeren Produkt wird durch die Rechte-Hand-Regel hergestellt.

F*: Die Vektorschreibweise der Kraft wird in diesem Werk angeführt, somit auch das Kreuzprodukt in der Formel.

G: Sexl gibt in seinem Schulbuch die Formel der Lorentzkraft sowohl für die Kraft auf einen Leiter als auch für die Kraft auf eine bewegte Ladung mit Bezug auf das äußere Produkt an.

Mit welcher geometrischen Argumentation wird die Richtung der Lorentzkraft festgelegt?

A: Für die Darstellung der Richtung des Stromvektors, des magnetischen Feldvektors und der Kraft wird die Rechtsschraubenregel herangezogen.

B*: Wie auch bei der Formel des elektrodynamischen Grundgesetzes erkennbar ist, wird zur Veranschaulichung des Kreuzproduktes, beziehungsweise für den Nachweis der Lorentzkraft die Rechtsschraubenregel verwendet.

C*: Die Position der Stromstärke, des Magnetfeldes und der Lorentzkraft wird im theoretischen Teil festgelegt. Die einzelnen Lagebeziehungen der Vektoren werden nicht geometrisch begründet. Eine beigefügte Grafik veranschaulicht mithilfe der Rechtsschraubenregel die Richtung des Kraftvektors. Die Lorentzkraft auf ein einzelnes Teilchen wird durch die Rechtsschraubenregel erklärt und durch eine dazu angepasste Abbildung verdeutlicht.

D: Das Lehrbuch stellt zum einen die Lorentzkraft mit einem geometrischen Hilfsmittel der Rechtsschraubenregel dar, zum anderen wird ausgeführt, dass die Lorentzkraft ausschließlich durch die Normalkomponente der magnetischen Flussdichte und der Stromstärke erzeugt wird.

E*: Das Schulbuch verdeutlicht durch eine Grafik den Zusammenhang zwischen der Rechten-Hand-Regel und der Lorentzkraft. Des Weiteren wird die Position der Vektoren sowohl in der Theorie als auch in den Versuchserläuterungen festgelegt.

F*: Jaros unterstreicht das Kreuzprodukt mit Unterstützung der Korkenzieher-Regel, diese kann mit der Gekrümmten-Hand-Regel gleichgesetzt werden.

G: In diesem Lehrbuch wird mit der Rechten-Hand-Regel geometrisch argumentiert. Sexl setzt sich verglichen mit den anderen analysierten Lehrbüchern am intensivsten mit dem Aufstellen der Formel in Vektorschreibweise auseinander. Dies wird erkennbar durch die schrittweise und ausführliche Herleitung.

In welchem Kontext wird die Lorentzkraft in dem Schulbuch nochmals erwähnt?

A: Bei den Versuchen zu den Kräften zwischen elektrischen Strömen wird die Lorentzkraft nicht explizit erwähnt, es wird jedoch von einer abstoßenden beziehungsweise anziehenden Kraft gesprochen.

12.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

B*: Die Lorentzkraft wird in diesem Schulbuch bei dem Experiment mit zwei parallelen leitenden Lamettabändern nochmals angeführt. Weiters wird im Kapitel „Wechselstrom“ beim Entstehen von Induktionsspannung die auf die Ladungsträger im Leiter wirkende Lorentzkraft besprochen.

C*: Sexl bezieht sich in seinem Schulbuch bei der Erläuterung des Induktionsgesetzes erneut auf die Lorentzkraft. Im Zuge dieses Kapitels werden mehrere Versuche dargestellt und in den dazugehörigen Erläuterungen die Verbindung zur Lorentzkraft hergestellt. Diese Experimente setzen sich mit ruhenden Magneten und bewegten Leitern, oder mit bewegten Magneten und ruhenden Leitern auseinander (vgl. Sexl 1983, 16ff.).

D: Schreiner beschäftigt sich in den Abschnitten „Das Magnetfeld der Erde“ und „Kräfte zwischen Stromleitern“ sowohl in der Theorie als auch in den dazugehörigen Abbildungen mit den Effekten der Lorentzkraft.

E*: Dieses Werk bezieht sich weitgehend auf Phänomene aus dem Alltag. Eines dieser beobachtbaren Ereignisse ist das Polarlicht, mit dem die Lorentzkraft in Verbindung gebracht wird.

F*: In den weiterführenden Kapiteln dieses Schulbuches taucht die Lorentzkraft in dem Kapitel „Elektromotor“ erneut auf. Die zu diesem Abschnitt beigefügten Grafiken zeigen den Vektor der Lorentzkraft. Im Anschluss wird die Induktion behandelt, auch hier spielt die Lorentzkraft eine relevante Rolle.

G: Sexl bezieht sich bei den von Strömen erzeugten Magnetfeldern erneut auf die Definition der Lorentzkraft. Auch für die Deutung des Induktionsgesetzes wird diese Kraft benützt.

Resümee

13 Themenliste

Für eine klare Übersicht über die Argumentationsweise in der Physikkultur sorgt die nachstehende Themenliste. Die Werke, die den mathematischen Zugang für die Erläuterungen gewählt haben, werden in der Aufzählung mit diesem Häkchen markiert: ✓

Den drei Hauptbereichen aus der Geometrie, „Elementargeometrie“, „Nichtlineare analytische Geometrie“ und „Vektorgeometrie“ werden die dazugehörigen mathematischen Elemente unterteilt. Schließlich werden diesen geometrischen Elementen die damit in Zusammenhang stehenden physikalischen Inhalte zugeteilt.

Auf diese Art und Weise sieht man auf einen Blick, wie sich die Erläuterungen in der Literatur von früher bis heute verändert haben. Für eine optisch klare Trennung zwischen den älteren Werken und den aktuellen Lehrbüchern sorgt bei den thematischen Gruppierungen eine dünne graue Trennlinie. Die Aufzählung beinhaltet den Nachnamen des ersten Autors, den Titel sowie das Erscheinungsjahr des Schulbuches. Die in den runden Klammern stehenden Zahlen geben die Seitenzahlen in den Werken an, unter denen die entsprechenden physikalischen Gebiete nachgeschlagen werden können. Unter den in den eckigen Klammern stehenden Zahlen sind die jeweiligen Seiten meiner Diplomarbeit zu verstehen. Auf diesen Seiten in den eckigen Klammern kann man jene Themen in dieser Arbeit nachschlagen, auf die ich im Zuge meiner Untersuchung näher eingegangen bin.

Um den Lesefluss der thematisch in Gruppen geteilten Liste zu erleichtern, habe ich bei zwei Schulbüchern den Titel abgekürzt. Statt „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 1. Teil“ und „Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 2. Teil“ von Josef Schreiner aus dem Jahr 1971 stehen nun die Titel „Lehrbuch der Physik 1“ und „Lehrbuch der Physik 2“ in der Auflistung.

Elementare Geometrie

Satz des Pythagoras:

Betrag eines Vektors (Ortsvektor, Geschwindigkeitsvektor)

Schreiner.	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(27)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(13)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(9)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(34-37, 65, 68)	

Zeitdilatation

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971		(390)	
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	✓	(82)	[25]
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(C: 8)	
Sexl	<i>Physik 3</i>	1983		(B: 92)	
Schreiner	<i>Physik 4</i>	1992		(4)	[26]
Apolin	<i>Big Bang 8</i>	2008	✓	(17)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 8</i>	2013	✓	(16/17)	
Sexl	<i>Physik 8</i>	2013	✓	(16)	[27]

Ähnlichkeitssätze:

Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (speziell Diagramme)

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(30)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(17)	
Sexl et al.	<i>Physik 1</i>	1982		(A: 23)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989		(13)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007		(53)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(36)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012		(17)	

Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(55)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(37)	
Sexl et al.	<i>Physik 1</i>	1982	✓	(A: 33, 45)	[30]
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(38)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(84)	[31]
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(23, 63)	

Bogenmaß					
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(233)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(155)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983		(A: 59)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989		(102)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007		(106)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(79)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(47)	
Zentripetalbeschleunigung					
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(236)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982	✓	(157)	[32]
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983		(A: 12)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(103)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(116)	[33]
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011		(82, 97)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012		(47)	
Linsengleichung					
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	✓	(71)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(B: 42)	
Sexl	<i>Physik 7</i>	2012	✓	(19)	
Parallaxe					
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(175)	
Schreiner	<i>Physik 4</i>	1992		(106)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 8</i>	2013		(83)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012		(30)	

Dreiecksgeometrie mit Winkelfunktionen:

Schiefer Wurf					
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(53)	
Sexl et al.	<i>Physik 1</i>	1982		(A: 35)	[35]
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(34)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(68)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011		(41)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(46)	[36]

Fadenpendel

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(77)
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(45)
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(A: 78)
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	✓	(97)
Apolin	<i>Big Bang 6</i>	2008	✓	(30)
Jaros et al.	<i>Physik compact 6</i>	2012		(46)
Sexl	<i>Physik 6</i>	2012	✓	(70)

Rückführung der harmonischen Schwingung auf eine Kreisbewegung

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	✓	(2)
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	✓	(3)
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(A: 76)
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	✓	(95)
Apolin	<i>Big Bang 6</i>	2008	✓	(36)
Jaros et al.	<i>Physik compact 6</i>	2012	✓	(44)
Sexl	<i>Physik 6</i>	2012	✓	(68)

Brechungsgesetz

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	✓	(30, 60)
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	✓	(26, 39)
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(B: 7)
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	✓	(123,140)
Apolin	<i>Big Bang 6</i>	2008	✓	(63)
Apolin	<i>Big Bang 7</i>	2008	✓	(84)
Jaros et al.	<i>Physik compact 6</i>	2012	✓	(69)
Jaros et al.	<i>Physik compact 7</i>	2012		(13)
Sexl	<i>Physik 6</i>	2012	✓	(90)
Sexl	<i>Physik 7</i>	2012		(12)

Beugung am Spalt und am Doppelspalt

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971		(85)
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	✓	(52)
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983		(B: 27)
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990		(156)
Apolin	<i>Big Bang 7</i>	2008		(4)
Jaros et al.	<i>Physik compact 6</i>	2012	✓	(88)
Sexl	<i>Physik 7</i>	2012	✓	(30)

Drehspiegelverfahren

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	(84)
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	(37)
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	(139)
Jaros et al.	<i>Physik compact 7</i>	2012	(28)

Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes

Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1982	(A: 21)
Apolin	<i>Big Bang 6</i>	2008	(4)
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	(15)

Nichtlineare analytische Geometrie

Kugel:

Kugelförmiger Hohlspiegel

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	(54)
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	(35)
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	✓ (137)
Sexl	<i>Physik 7</i>	2012	✓ (11)

Kugelwelle (Lorentztransformation)

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	(389)
-----------	------------------------------	------	-------

Kegelschnitte

Satellitenbahnen

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	(278)
Sexl et al.	<i>Physik 2. Teil</i>	1983	(A: 16)
Apolin	<i>Big Bang 6</i>	2008	✓ (23)

Kreisgleichung: Zeitdilatation

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	(390)
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	(82)
Sexl et al.	<i>Physik 3</i>	1983	(B: 92)
Schreiner	<i>Physik 4</i>	1992	✓ (4)
Apolin	<i>Big Bang 8</i>	2008	(17)
Jaros et al.	<i>Physik compact 8</i>	2013	(16)
Sexl	<i>Physik 8</i>	2013	(16)

Parabel: Parabolspiegel

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971	(54)	
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	(35)	
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	(137)	[42]
Sexl	<i>Physik 7</i>	2012	(11)	[43]

Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfes

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	(52)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982	(35)	
Sexl et al.	<i>Physik 1</i>	1982	(A: 42)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	(33)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	(45)	

Ellipse: Keplersche Gesetze

Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	(177)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	(A: 16)	
Schreiner	<i>Physik 2</i>	1990	(7)	
Apolin	<i>Big Bang 6</i>	2008	✓ (8)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 7</i>	2012	(30)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	(51)	

Vektorgeometrie**Koordinatendarstellung von Vektoren:****Ortsvektor**

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(25)
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982	✓	(13)
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(9)
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(37)
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(36, 76)

Geschwindigkeitsvektor

Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(20)
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(35)
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(36, 76)
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012		(17)

Komponentenweise rechnen: Vektoraddition						
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(28)		[47]
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(77)		[49]
Komponentenweise rechnen: Vielfaches von Vektoren						
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(27)		[47]
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(77)		[49]

Vektoraddition						
Geschwindigkeitsaddition						
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(37, 65)		[51]
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(40)		
Jaros et al.	<i>Physik compact 6</i>	2012		(46)		
Kräfteaddition						
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(55)		
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982	✓	(37)		
Sexl et al.	<i>Physik 1</i>	1982	✓	(A: 33)		
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(37,106)		
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(38)		
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(35, 63)		

Skalarprodukt						
Arbeit						
Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971	✓	(74)		[54]
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982	✓	(42)		
Sexl et al.	<i>Physik 1</i>	1982	✓	(A: 45)		
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(A: 27)		
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(45, 103)		[55]
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(84)		
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(61)		[56]
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(35, 63)		

Vektoriellles Produkt

Winkelgeschwindigkeit

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(234)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(156)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983		(A: 58)	[57]
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989		(61, 102)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(107)	[58]
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(80, 97)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012		(48, 83)	

Bahngeschwindigkeit

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(234)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(156)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983	✓	(A: 58)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989		(61, 102)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007		(107)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011		(80, 97)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(48, 83)	

Drehmoment

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(63)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(50)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983		(A: 54)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989		(61)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007	✓	(110)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(87, 97)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012	✓	(84)	

Drehimpuls

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 1</i>	1971		(242)	
Schreiner	<i>Physik 1. Teil</i>	1982		(163)	
Sexl et al.	<i>Physik 2</i>	1983		(A: 63)	
Schreiner	<i>Physik 1</i>	1989	✓	(110)	
Apolin	<i>Big Bang 5</i>	2007		(110)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 5</i>	2011	✓	(84, 97)	
Sexl	<i>Physik 5</i>	2012		(87)	

Lorentzkraft

Schreiner	<i>Lehrbuch der Physik 2</i>	1971		(178)	[65]
Schreiner	<i>Physik 2. Teil</i>	1982	✓	(126)	
Sexl et al.	<i>Physik 3</i>	1983	✓	(A: 7)	
Schreiner	<i>Physik 3</i>	1991	✓	(31)	[67]
Apolin	<i>Big Bang 7</i>	2008	✓	(59)	
Jaros et al.	<i>Physik compact 7</i>	2012	✓	(58)	
Sexl	<i>Physik 7</i>	2012	✓	(68)	[70]

14 Bücherliste

In diesem Abschnitt befindet sich die Aufreihung der Bücher, beginnend von dem ältesten bis zum dem neuesten Schulbuch. Diese Bücherliste sorgt für eine neue Perspektive auf die analysierten Werke. Hier wurden die geometrischen und die dazugehörigen physikalischen Themengebiete den Lehrbüchern zugeordnet. Konnte ich im Laufe der Untersuchung einen inhaltlichen Bezug auf die Geometrie entdecken, so habe ich die entsprechenden physikalischen Themengebiete mit einem Häkchen markiert. Die nachstehende Auflistung dient der übersichtlichen Ergebnisdarstellung der Schulbuchanalyse womit die in Kapitel 14 formulierte Ergebnisinterpretation somit leichter nachvollziehbar wird.

Schreiner, J. Lehrbuch der Physik 1. Teil (1971)**Elementargeometrie****Satz des Pythagoras:**

Betrag eines Vektors (Ortsvektor, Geschwindigkeitsvektor) ✓ (27)

Ähnlichkeitssätze:

Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm) (30)

Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene ✓ (55)

Bogenmaß (233)

Zentripetalbeschleunigung ✓ (236)

Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:

Schiefer Wurf (53)

Fadenpendel (77)

Nichtlineare analytische Geometrie**Kegelschnitte:**

Satellitenbahnen (278)

Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfes (52)

Vektorgeometrie**Koordinatendarstellung von Vektoren:**

Ortsvektor ✓ (25)

Komponentenweise rechnen: Vektoraddition ✓ (28) [47]

Komponentenweise rechnen: Vielfaches von Vektoren ✓ (27) [47]

Vektoraddition:

Kräfteaddition ✓ (55)

Skalarprodukt

Arbeit ✓ (74) [54]

Vektoriell Produkt:

Winkelgeschwindigkeit (234)

Bahngeschwindigkeit (234)

Drehmoment (63)

Drehimpuls (242)

Schreiner, J. Lehrbuch der Physik 2. Teil (1971)**Elementargeometrie****Satz des Pythagoras:**

Zeitdilatation (390)

Ähnlichkeitssätze:		
Linsengleichung	✓	(71)
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓	(2)
Brechungsgesetz	✓	(30, 60)
Beugung am Spalt und am Doppelspalt		(85)
Drehspiegelverfahren		(84)
Nichtlineare analytische Geometrie		
Kugel:		
Kugelförmiger Hohlspiegel		(54)
Kugelwelle (Lorentztransformation)		(389)
Kegelschnitte:		
Kreisgleichung: Zeitdilatation		(390)
Parabel: Parabolspiegel		(54)
Vektorgeometrie		
Vektoriell Produkt:		
Lorentzkraft		(178) [65]

Schreiner, J. Physik 1. Teil (1982)		
Elementargeometrie		
Satz des Pythagoras:		
Betrag eines Vektors (Ortsvektor, Geschwindigkeitsvektor)		(13)
Ähnlichkeitssätze:		
Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm)		(17)
Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene		(37)
Bogenmaß		(155)
Zentripetalbeschleunigung	✓	(157) [32]
Parallaxe		(175)
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Fadenpendel		(45)
Nichtlineare analytische Geometrie		
Kegelschnitte:		
Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfes		(35)

Vektorgeometrie

Koordinatendarstellung von Vektoren:

Ortsvektor	✓ (13)
Geschwindigkeitsvektor	(20)

Vektoraddition:

Kräfteaddition	✓ (37)
----------------	--------

Skalarprodukt

Arbeit	✓ (42)
--------	--------

Vektoriell Produkt:

Winkelgeschwindigkeit	(156)
Bahngeschwindigkeit	(156)
Drehmoment	(50)
Drehimpuls	(163)

Schreiner, J. Physik 2. Teil (1982)

Elementargeometrie

Satz des Pythagoras:

Zeitdilatation	✓ (82)	[25]
----------------	--------	------

Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:

Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓ (3)
Brechungsgesetz	✓ (26, 39)
Beugung am Spalt und am Doppelspalt	✓ (52)
Drehspiegelverfahren	(37)

Nichtlineare analytische Geometrie

Kugel:

Kugelförmiger Hohlspiegel	(35)
---------------------------	------

Kegelschnitte:

Kreisgleichung: Zeitdilatation	(82)
Parabel: Parabolspiegel	(35)
Ellipse: Keplersche Gesetze	(177)

Vektorgeometrie

Vektoriell Produkt:

Lorentzkraft	✓ (126)
--------------	---------

Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. Physik 1 (1982)**Elementargeometrie****Ähnlichkeitssätze:**

Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm)	(A: 23)	
Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene	✓ (A: 33, 45)	[30]

Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:

Schiefer Wurf	(A: 35)	[35]
---------------	---------	------

Nichtlineare analytische Geometrie**Kegelschnitte:**

Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfes	(A: 42)	
--	---------	--

Vektorgeometrie**Vektoraddition:**

Kräfteaddition	✓ (A:33)	
----------------	----------	--

Skalarprodukt

Arbeit	✓ (A: 45)	
--------	-----------	--

Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. Physik 2 (1983)**Elementargeometrie****Satz des Pythagoras:**

Zeitdilatation	✓ (C: 8)	
----------------	----------	--

Ähnlichkeitssätze:

Bogenmaß	(A: 59)	
Zentripetalbeschleunigung	(A: 12)	
Linsengleichung	✓ (B: 42)	

Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:

Fadenpendel	✓ (A: 78)	
Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓ (A: 76)	
Brechungsgesetz	✓ (B: 7)	
Beugung am Spalt und am Doppelspalt	(B: 27)	
Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes	(A: 21)	

Nichtlineare analytische Geometrie**Kegelschnitte:**

Satellitenbahnen	(A: 16)	
Ellipse: Keplersche Gesetze	(A: 16)	

Vektorgeometrie		
Skalarprodukt		
Arbeit	✓	(A: 27)
Vektoriell Produkt:		
Winkelgeschwindigkeit		(A: 58) [57]
Bahngeschwindigkeit	✓	(A: 58)
Drehmoment		(A: 54)
Drehimpuls		(A: 63)

Sextl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. <i>Physik 3</i> (1983)		
Elementargeometrie		
Satz des Pythagoras:		
Zeitdilatation		(B: 92)
Nichtlineare analytische Geometrie		
Kegelschnitte:		
Kreisgleichung: Zeitdilatation		(B: 92)
Vektorgeometrie		
Vektoriell Produkt:		
Lorentzkraft	✓	(A: 7)

Schreiner, J. <i>Physik 1</i> (1989)		
Elementargeometrie		
Satz des Pythagoras:		
Betrag eines Vektors (Ortsvektor, Geschwindigkeitsvektor)	✓	(9)
Ähnlichkeitssätze:		
Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm)		(13)
Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene	✓	(38)
Bogenmaß		(102)
Zentripetalbeschleunigung	✓	(103)
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Schiefer Wurf	✓	(34)
Nichtlineare analytische Geometrie		
Kegelschnitte:		
Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfs		(33)

Vektorgeometrie			
Koordinatendarstellung von Vektoren:			
Ortsvektor	✓	(9)	
Vektoraddition:			
Geschwindigkeitsaddition		(57, 106)	
Kräfteaddition	✓	(37, 106)	
Skalarprodukt			
Arbeit	✓	(45, 103)	[55]
Vektoriell Produkt:			
Winkelgeschwindigkeit		(61, 102)	
Bahngeschwindigkeit		(61, 102)	
Drehmoment		(61)	
Drehimpuls	✓	(110)	

Schreiner, J. Physik 2 (1990)			
Elementargeometrie			
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:			
Fadenpendel	✓	(97)	
Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓	(95)	
Brechungsgesetz	✓	(123, 140)	
Beugung am Spalt und am Doppelspalt		(156)	
Drehspiegelverfahren		(139)	
Nichtlineare analytische Geometrie			
Kugel:			
Kugelförmiger Hohlspiegel	✓	(137)	
Kegelschnitte:			
Parabel: Parabolspiegel		(137)	[42]
Ellipse: Keplersche Gesetze		(7)	

Schreiner, J. Physik 3 (1991)			
Vektorgeometrie			
Vektoriell Produkt:			
Lorentzkraft	✓	(31)	[67]

Schreiner, J. Physik 4 (1992)		
Elementargeometrie		
Satz des Pythagoras:		
Zeitdilatation	(4)	[26]
Ähnlichkeitssätze:		
Parallaxe	(106)	
Nichtlineare analytische Geometrie		
Kegelschnitte:		
Kreisgleichung: Zeitdilatation	✓ (4)	

Apolin, M. Big Bang 5 (2007)		
Elementargeometrie		
Satz des Pythagoras:		
Betrag eines Vektors (Ortsvektor, Geschwindigkeitsvektor)	✓ (34-37, 65, 68)	
Ähnlichkeitssätze:		
Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm)	(53)	
Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene	✓ (84)	[31]
Bogenmaß	(106)	
Zentripetalbeschleunigung	✓ (116)	[33]
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Schiefer Wurf	✓ (68)	
Vektorgeometrie		
Koordinatendarstellung von Vektoren:		
Ortsvektor	✓ (37)	
Geschwindigkeitsvektor	✓ (35)	
Vektoraddition:		
Geschwindigkeitsaddition	✓ (37, 65)	[51]
Kräfteaddition	✓ (38)	
Skalarprodukt		
Arbeit	✓ (84)	
Vektoriell Produkt:		
Winkelgeschwindigkeit	✓ (107)	[58]
Bahngeschwindigkeit	(107)	
Drehmoment	✓ (110)	
Drehimpuls	(110)	

Apolin, M. Big Bang 6 (2008)**Elementargeometrie****Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:**

Fadenpendel	✓	(30)
Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓	(36)
Brechungsgesetz	✓	(63)
Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes		(4)

Nichtlineare analytische Geometrie**Kegelschnitte:**

Satellitenbahnen	✓	(23)
Ellipse: Keplersche Gesetze	✓	(8)

Apolin, M. Big Bang 7 (2008)**Elementargeometrie****Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:**

Brechungsgesetz	✓	(84)
Beugung am Spalt und am Doppelspalt		(4)

Vektorgeometrie**Vektoriell Produkt:**

Lorentzkraft	✓	(59)
--------------	---	------

Apolin, M. Big Bang 8 (2008)**Elementargeometrie****Satz des Pythagoras:**

Zeitdilatation	✓	(17)
----------------	---	------

Nichtlineare analytische Geometrie**Kegelschnitte:**

Kreisgleichung: Zeitdilatation		(17)
--------------------------------	--	------

Jaros, A. Physik compact 5 (2011)**Elementargeometrie****Ähnlichkeitssätze:**

Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm)	✓	(36)
Bogenmaß	✓	(79)
Zentripetalbeschleunigung		(82, 97)

Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Schiefer Wurf	(41)	
Vektorgeometrie		
Koordinatendarstellung von Vektoren:		
Ortsvektor	✓ (36, 76)	
Geschwindigkeitsvektor	✓ (36, 76)	
Komponentenweise rechnen: Vektoraddition	✓ (77)	[49]
Komponentenweise rechnen: Vielfaches von Vektoren	✓ (77)	[49]
Vektoraddition:		
Geschwindigkeitsaddition	✓ (40)	
Skalarprodukt		
Arbeit	✓ (61)	[56]
Vektoriell Produkt:		
Winkelgeschwindigkeit	✓ (80,97)	
Bahngeschwindigkeit	(80, 97)	
Drehmoment	✓ (87, 97)	
Drehimpuls	✓ (84, 97)	

Jaros, A. Physik compact 6 (2012)		
Elementargeometrie		
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Fadenpendel	(46)	
Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓ (44)	
Brechungsgesetz	✓ (69)	
Beugung am Spalt und am Doppelspalt	✓ (88)	
Vektorgeometrie		
Vektoraddition:		
Geschwindigkeitsaddition	(46)	

Jaros, A. Physik compact 7 (2012)		
Elementargeometrie		
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Brechungsgesetz	(13)	
Drehspiegelverfahren	(28)	

Nichtlineare analytische Geometrie	
Kegelschnitte:	
Ellipse: Keplersche Gesetze	(39)
Vektorgeometrie	
Vektoriell Produkt:	
Lorentzkraft	✓ (58)

Jaros, A. Physik compact 8 (2013)

Elementargeometrie	
Satz des Pythagoras:	
Zeitdilatation	✓ (16/17)
Ähnlichkeitssätze:	
Parallaxe	(83)
Nichtlineare analytische Geometrie	
Kegelschnitte:	
Kreisgleichung: Zeitdilatation	(16)

Sexl, R. Physik 5 (2012)

Elementargeometrie	
Ähnlichkeitssätze:	
Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen (Diagramm)	(17)
Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene	✓ (23, 63)
Bogenmaß	✓ (47)
Zentripetalbeschleunigung	(47)
Parallaxe	(30)
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:	
Schiefer Wurf	✓ (46) [36]
Bestimmung des Erdradius nach Eratosthenes	(15)
Nichtlineare analytische Geometrie	
Kegelschnitte:	
Parabel: Zeit-Weg-Diagramm des lotrechten Wurfes	(45)
Ellipse: Keplersche Gesetze	(51)
Vektorgeometrie	
Koordinatendarstellung von Vektoren:	
Geschwindigkeitsvektor	(17)

Vektoraddition:		
Kräfteaddition	✓	(35, 63)
Skalarprodukt		
Arbeit	✓	(35, 63)
Vektoriell Produkt:		
Winkelgeschwindigkeit		(48, 83)
Bahngeschwindigkeit	✓	(48, 83)
Drehmoment	✓	(84)
Drehimpuls		(87)

Sexl, R. Physik 6 (2012)		
Elementargeometrie		
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Fadenpendel	✓	(70)
Rückführung d. harm. Schwingung auf eine Kreisbewegung	✓	(68)
Brechungsgesetz	✓	(90)

Sexl, R. Physik 7 (2012)		
Elementargeometrie		
Ähnlichkeitssätze:		
Linsengleichung	✓	(19)
Dreieckgeometrie mit Winkelfunktionen:		
Brechungsgesetz		(12)
Beugung am Spalt und am Doppelspalt	✓	(30)
Nichtlineare analytische Geometrie		
Kugel:		
Kugelförmiger Hohlspiegel	✓	(11)
Kegelschnitte:		
Parabel: Parabolspiegel		(11) [43]
Vektorgeometrie		
Vektoriell Produkt:		
Lorentzkraft	✓	(68) [70]

Sexl, R. Physik 8 (2013)

Elementargeometrie

Satz des Pythagoras:

Zeitdilatation ✓ (16) [27]

Nichtlineare analytische Geometrie

Kegelschnitte:

Kreisgleichung: Zeitdilatation (16)

15 Zusammenfassung

In dieser Zusammenfassung möchte ich meine Einschätzung über die Entwicklung der Schulbücher zum Thema „Geometrie im Physikunterricht“ vermitteln. Die Themenliste in Kapitel 12 und die Bücherliste in Kapitel 13 sollen den LeserInnen dabei helfen, diese Ergebnisinterpretation zu überprüfen und nachzuvollziehen. Die Bewegung in der Literatur lässt sich durch die Aufteilung der Vergleiche nach den Autoren übersichtlich darstellen.

Die Lehrbücher des ersten Autors, die miteinander verglichen werden, stammen von Josef Schreiner. In der Liste der analysierten Bücher findet man seine Werke aus den Jahren 1971, 1982 und 1989-1992. Ein Aspekt, der sehr auffällig ist, sind die Veränderungen zwischen dem Jahr 1971 und den beiden nachfolgenden Buchgenerationen aus den achtziger und neunziger Jahren. Konkret geht es bei den bedeutsamen Unterschieden um die Gebiete aus der Vektorgeometrie. Das ältere Werk gibt bei den Erläuterungen vermehrt die Vektoren in Komponentenschreibweise an, auch die Rechenoperationen mit den Vektoren werden in einem abgegrenzten Mathematikteil wiederholt. In der Literatur von 1982 und 1989-1992 kann man diesen Bezug zur Geometrie nicht mehr finden. Bis auf eine Ausnahme, dem Kreuzprodukt, kann man daher sagen, dass das Einbeziehen von geometrischen Hilfsmitteln bei den Herleitungen im Laufe der Zeit seltener Anwendung gefunden hat.

Im Bereich der Optik, bei der die Dreiecksgeometrie im Vordergrund steht, werden vermehrt in den späteren Schulbüchern die Winkelfunktionen zu Argumentationszwecken detailliert angeführt.

Aus dem Gebiet der Elementargeometrie ist mir besonders aufgefallen, dass 1971 die Rolle der Argumente mit geometrischem Hintergrund viel mehr im Fokus stand, als in den Werken von 1982. Schreiners spätere Lehrbücher von 1989-1992 argumentieren hingegen erneut öfter mit den Elementen aus der Geometrie als in 1982.

Als nächstes fahre ich mit dem Vergleich der Werke von Sexl et al. aus den Jahren 1982-1983 sowie 2012-2013 fort. Mein erster Eindruck bei der Analyse hat ergeben, dass die

15 Zusammenfassung

früheren Werke von Sexl et al. bei den Argumentationen weniger geometrische Schwerpunkte haben, als es bei seinen aktuellen Werken der Fall ist.

Aus dem Bereich der Dreiecksgeometrie geht Sexl in dem aktuellen Schulbuch auf die Winkelfunktionen in den Kapiteln „Schiefer Wurf“ und „Beugung des Lichtes am Spalt und am Doppelspalt“ näher ein. Interessanterweise ist mir dies in seinem früheren Physikbuch nicht aufgefallen. Das bedeutet, es wurde angenommen, dass die Lernenden die Winkelfunktionen bereits aus dem Mathematikunterricht kennen. Teilweise wurden aber auch die Winkelfunktionen bei gewissen Themengebieten einfachheitshalber komplett ausgelassen.

Das Ausmaß an nichtlinearer analytischer Geometrie hat in den Werken von Sexl im Laufe der Zeit zugenommen. Dies macht sich bei der geometrischen Optik, speziell bei dem kugelförmigen Hohlspiegel und dem Parabolspiegel bemerkbar. Während im Lehrbuch aus dem Jahr 1983 die Reflexion des Lichtes am gewölbten Spiegel nicht beschrieben wird, weist die Version aus dem Jahr 2012 auf deutliche Unterschiede hin. Hier wird nämlich in Form eines Versuches am kugelförmigen Hohlspiegel der Verlauf der Lichtstrahlen geometrisch diskutiert und im Theorieteil wird zudem erwähnt, wofür Parabolspiegel eingesetzt werden.

Wie auch in der Themenliste in Kapitel 12 meiner Diplomarbeit ersichtlich wird, sind die Schulbücher von Sexl et al. die Einzigen, die die Formel der Bahngeschwindigkeit mit einem Kreuzprodukt angeben. In den Werken der anderen Autoren aus meiner Analyse geht der Trend zur Herleitung der Winkelgeschwindigkeit mithilfe des Kreuzproduktes. Sexl gibt allerdings nur in der aktuellen Ausgabe die Formel der Winkelgeschwindigkeit mithilfe des vektoriellen Produktes an.

Ein weiterer Unterschied zwischen dem Werk aus den achtziger Jahren und dem Schulbuch von heute zeigt sich bei der Herleitung des Drehmomentes. In der Version aus dem Jahr 2012 wird mit der Eigenschaft des äußeren Produktes argumentiert, dabei geht es um die Feststellung der Richtung und um die Berechnung des Drehmomentes.

Abschließend möchte ich die Beobachtung anführen, dass die früheren Werke von Sexl insgesamt weniger Berechnungen und Herleitungen mit geometrischem Hintergrund aufweisen. Dies ist sowohl in den Theorieabschnitten als auch in den Grafiken erkennbar.

Von den Schulbüchern des Autors Martin Apolin stehen lediglich die Versionen aus den Jahren 2007-2008 auf der Liste der untersuchten Schulbücher. Meiner Einschätzung nach behandelt Apolin die physikalischen Inhalte in seinen Werken mit dem Titel „Big Bang“ auf eine völlig neue Art und Weise. neuartig. Darunter verstehe ich, dass in diesen Lehrbüchern

der Theorieteil meist nach einer spannenden Denkaufgabe für die SchülerInnen folgt. In diesen Gedankenexperimenten werden sie dazu aufgefordert, selbstständig über bestimmte Situationen, die überwiegend aus dem Alltag stammen, zu reflektieren. Die zu den Herleitungen beigefügten Abbildungen veranschaulichen vorwiegend den mathematischen Sachverhalt.

Bei der Definition des Bogenmaßes ist mir aufgefallen, dass in dem Werk von Apolin die Ähnlichkeitssätze zur Erklärung nicht angegeben werden.

Die Gestaltung der Lehrbücher der Reihe „Big Bang“ unterscheidet sich zu den anderen untersuchten Schulbüchern durch die sogenannte Infoboxen. Diese Kästchen befinden sich größtenteils nach dem theoriebezogenen Fließtext und beinhalten vertiefende Informationen zu gewissen physikalischen Themen. Zu diesen detaillierten Informationen zählen auch geometrische Herleitungen physikalischer Größen und Rechenbeispiele, die mithilfe von geometrischen Werkzeugen gelöst werden.

Abschließend möchte ich meine Einschätzung über die Werke mit dem Titel „Physik compact“ von Albert Jaros et al. aus den Jahren 2011-2013 geben. Der erste Eindruck im Allgemeinen war, dass diese Schulbücher so gestaltet sind, wie es der Titel bereits verrät – kompakt.

Wie auch in der Themenliste aus Kapitel 13 meiner Diplomarbeit erkennbar ist, stellt das Werk die Gerade im Zeit-Weg-Diagramm einer gleichförmig beschleunigten Bewegung als Einziges mithilfe der Ähnlichkeitssätze dar.

Die physikalischen Themengebiete werden in einem kurzen Theorieteil knapp formuliert. Ebenso werden die Formeln nicht mit großem Aufwand hergeleitet, sondern eher direkt zu einem Merksatz angehängt. Allerdings möchte ich an dieser Stelle hervorheben, dass sich der Autor dennoch sehr wohl in den Übungsbeispielen, in den Abbildungen und in den Bildunterschriften auf die Geometrie stützt.

Von den untersuchten aktuellen Werken wird alleine im Lehrbuch von Jaros et al. die Vektoraddition und das Vielfache von Vektoren in der Komponentenschreibweise in Form eines Rechenbeispiels durchgeführt.

Das Lehrbuch führt die Reflexion des Lichtes an einem kugelförmigen Spiegel oder an einem Parabolspiegel nicht aus. Somit werden auch die Eigenschaften der Kegelschnitte nicht zu Argumentationszwecken behandelt.

15 Zusammenfassung

Dass die Geometrie in den Physikschulbüchern im Laufe der Zeit weniger oft vorkommt, um Inhalte zu unterstützen, kann man nicht konkret sagen. Auf der einen Seite gibt es vereinzelte Themengebiete, die in den älteren Werken näher ausgeführt werden. Zu diesen Gebieten zählen vor allem:

- Das Einbeziehen des pythagoreischen Lehrsatzes bei dem Betrag von Vektoren
- Die Ähnlichkeit von Dreiecken beim Aufstellen der Linsengleichung
- Die Ähnlichkeitssätze bei der Herleitung der Zentripetalbeschleunigung
- Die Winkelfunktionen bei der Erläuterung des Brechungsgesetzes
- Die Koordinatendarstellung des Ortsvektors

Das Ausmaß an Geometrie in der Physik hat auf der anderen Seite bei bestimmten Abschnitten mit den Jahren zugenommen. Dies ist besonders bei folgenden Punkten der Fall:

- Das Verwenden des pythagoreischen Lehrsatzes bei der Zeitdilatation
- Das Einbeziehen von Ähnlichkeitssätzen bei der Beschreibung der Diagramme der gleichförmigen und beschleunigten Bewegung
- Die Erläuterung des Bogenmaßes mithilfe der Ähnlichkeitssätze
- Die Winkelfunktionen bei der Theorie über den schiefen Wurf
- Die Verwendung von Winkelfunktionen für die Herleitung der Beugung am Spalt und am Doppelspalt
- Die Koordinatendarstellung des Geschwindigkeitsvektors
- Das Beschreiben der Geschwindigkeitsaddition basierend auf der Theorie der Vektoraddition
- Das Einbeziehen des vektorziellen Produktes bei der Winkelgeschwindigkeit und bei dem Drehmoment

Schlussendlich möchte ich mich auf einige Standpunkte aus der Literatur beziehen. Franz Boczianowski gibt in seinem Artikel „Pfeile als themenübergreifendes Symbolsystem im Physikunterricht“ an, dass ein einheitlicher Pfeilformalismus für das Verständnis der geometrischen Argumentationsweise in Physikunterricht von Nutzen ist. Zudem führt er an, dass es von Vorteil ist, Rechnungen mit Vektorpfeilen in der Mechanik mithilfe des Polygonzug-Verfahren und Pfeilplänen durchzuführen. (vgl. Boczianowski 2012, 5-11)

Wie in der obigen Aufzählung der Untersuchungsergebnisse meiner Diplomarbeit ersichtlich wird, hat das Ausmaß an Vektorgeometrie in den österreichischen Schulbüchern mit den Jahren mehrheitlich zugenommen. Ich konnte zudem sowohl in der früheren Schulbuchgeneration, als auch in den aktuellen Physiklehrbüchern Grafiken mit dem Polygonzug-Verfahren und Pfeilplänen finden. Skizzen dieser Art habe ich in den analysierten Physiklehrbüchern am häufigsten im Zusammenhang mit folgenden Themengebieten vorgefunden: geradlinige Verschiebungen, Geschwindigkeitsaddition, Kräfteaddition und Arbeit.

Wolfgang Reusch befürwortet in seinem Artikel „Nicht nur wie schnell, sondern auch wohin?“ die differenzierte Darstellung ungerichteter und gerichteter Größen in der Schulphysik und gibt folgenden Lösungsvorschlag an:

Das Grundproblem der Unterscheidung zwischen skalaren (ungerichteten) und vektoriellen (gerichteten) Größen ist aber wesentlich umfassender und erfordert eine rechtzeitige Thematisierung auf einem angepassten Anforderungsniveau. So können und sollten Pfeildarstellungen für gerichtete Größen schon weit vor Beginn der Vektorrechnung Anwendung finden. (Reusch 2012, 11)

Diese klare Trennung zwischen ungerichteten und gerichteten Größen macht sich im Schulbuch „Physik compact 5“ von Albert Jaros et al. eindeutig bemerkbar. In der Themenliste in Kapitel 13 meiner Diplomarbeit wird ersichtlich, dass in diesem Physiklehrbuch die physikalischen Größen aus der Kreisbewegung und Rotation, die mithilfe des vektoriellen Produktes hergeleitet werden können, doppelt vorkommen. Als erstes führen Albert Jaros et al. die Winkelgeschwindigkeit, die Bahngeschwindigkeit, das Drehmoment und den Drehimpuls als ungerichtete Größen ein. Anschließend werden diese physikalischen Begriffe im Kapitel „Beschreibung der Drehbewegung mit Vektoren“ erneut mithilfe der Vektorgeometrie, sowohl im Theorieteil, als auch graphisch mit Pfeilplänen angeführt. (vgl. Jaros et al. 2011)

Gerhard Rath bezieht sich in seinem Artikel „Auseinandergelebt? Physik und Mathematik“ auf den Rückgang der mathematischen Anwendung im Physikunterricht seit

15 Zusammenfassung

dem 19. Jahrhundert in Österreich. Dieses Resultat deckt sich teilweise mit meiner Ergebniseinschätzung. Sowohl die Themenliste in Kapitel 13 als auch die Bücherliste in Kapitel 14 meiner Diplomarbeit verdeutlichen die Entwicklung der geometrischen Herleitungen in der Physikschulbuchliteratur. Ich stimme bis zu einem gewissen Punkt der Aussage von Gerhard Rath zu und bestätige, dass aus dem Bereich der Geometrie vor allem die Eigenschaften des Dreiecks und Winkelfunktionen in den früheren Physiklehrbüchern öfter zu Argumentationszwecken eingesetzt wurden als in den heutigen Werken. Meine Untersuchungsergebnisse decken sich jedoch nicht mit den Schlüssen von Gerhard Rath, wenn es um die Vektorgeometrie geht. Hier habe ich den Eindruck gewonnen, dass der Trend in den aktuellen Physikschulbüchern zur Herleitung der physikalischen Themen mithilfe von Vektorrechnung bewegt.

Literaturverzeichnis

- Apolin, M. (2007). *Big Bang 5*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Apolin, M. (2008). *Big Bang 6*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Apolin, M. (2008). *Big Bang 7*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Apolin, M. (2008). *Big Bang 8*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- BMBF (2004). *AHS Lehrplan Mathematik Oberstufe*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_07_11859.pdf [17.12.2014]
- BMBF (2004). *AHS Lehrplan Physik Oberstufe*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf [23.12.2014]
- Boczianowski, F. (2012). *Pfeile als themenübergreifendes Symbolsystem im Physikunterricht*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 4, 61, 5-11
- Dellago, C. (2010). *Skriptum zur Vorlesung Einführung in die Physikalischen Rechenmethoden I + II*. Unveröff. Vorlesungsskriptum, Universität Wien.
- Ehlers, J. (2006). *Mathematik als ‚Sprache‘ der Physik*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 5, 55, 2-17
- Embacher, F. *Spezielle Relativitätstheorie - Zeitdilatation*. [Online]. Verfügbar unter: <http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/SRT/Zeitdilatation.html> [25.03.2015]
- Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2011). *Physik compact 5*, Wien:

Literaturverzeichnis

- Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2012). *Physik compact 6*, Wien:
Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2012). *Physik compact 7*, Wien:
Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P. & Kunze, H. (2012). *Physik compact 8*, Wien:
Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Lotze, K.-H. (2006). *Mathematik als Sprache der Physik*. In: Praxis der Naturwissenschaften -
Physik in der Schule, 5, 55, 1
- Mathe Online (2014). Verfügbar unter: <http://www.mathe-online.at> [17.12.2014]
- Müller R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.) (2011). *Schülervorstellungen in der Physik*.
3.Aufl.: Aulis
- Rath, G. (2006). *Auseinandergelebt? Physik und Mathematik*. [Online]. Verfügbar
unter: <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/061/s0913.pdf>
[13.05.2015] In: Plus Lucis, 1, 2, 9-13
- Reusch, W. (2012). *Nicht nur wie schnell, sondern auch wohin? Notwendigkeit und
Möglichkeiten der differenzierten Behandlung ungerichteter und gerichteter Größen im
Physikunterricht*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 4, 61, 11-17
- RIS Lehrplan - Bundesgesetzblatt (1967). *AHS Lehrplan Physik Oberstufe 295. Verordnung*.
[Online]. Verfügbar unter: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/
BgblPdf/1967_295_0/1967_295_0.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1967_295_0/1967_295_0.pdf) [23.12.2015]
- RIS Lehrplan - Bundesgesetzblatt (1971). *AHS Lehrplan Physik Oberstufe 275. Verordnung*.
[Online]. Verfügbar unter: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/
BgblPdf/1970_275_0/1970_275_0.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1970_275_0/1970_275_0.pdf) [23.12.2015]
- RIS Lehrplan - Bundesgesetzblatt (1985). *AHS Lehrplan Physik Oberstufe 360. Verordnung*.
[Online]. Verfügbar unter: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/
BgblPdf/1985_360_0/1985_360_0.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1985_360_0/1985_360_0.pdf) [02.01.2015]
- RIS Lehrplan - Bundesgesetzblatt (1989). *AHS Lehrplan Physik Oberstufe 63. Verordnung*.
[Online]. Verfügbar unter: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/
BgblPdf/1989_63_0/1989_63_0.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1989_63_0/1989_63_0.pdf) [04.01.2015]
- Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren*

- Schulen 1. Teil*. 4.Aufl., Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1971). *Lehrbuch der Physik für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen 2. Teil*. 3.Aufl., Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1982). *Physik 1. Teil. 2.Aufl. B*, Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1982). *Physik 2. Teil. 2.Aufl.*, Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1989). *Physik 1*, Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1990). *Physik 2*, Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1991). *Physik 3*, Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Schreiner, J. (1992). *Physik 4*, Wien: Hölder – Pichler – Tempisky
- Sexl, R. (2012). *Physik 5*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Sexl, R. (2012). *Physik 6*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Sexl, R. (2012). *Physik 7*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Sexl, R. (2013). *Physik 8*, Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG
- Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1982). *Physik 1 Teil A + Teil B*, Wien: Ueberreuter
- Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1983). *Physik 2 Teil A + Teil B + Teil C*, Wien: Ueberreuter
- Sexl, R., Raab, I. & Streeruwitz, E. (1983). *Physik 3 Teil A + Teil B*, Wien: Ueberreuter
- Uhden, O. & Pospiech, G. (2013). *Die physikalische Bedeutung der mathematischen Beschreibung*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 2, 62, 13-18
- Wagner, P., Reischl, G. & Steiner, G. (2010). *Einführung in die Physik*, Wien: Facultas

Tabellenverzeichnis

2.1	Liste der analysierten Physikschulbücher aus den Jahren 1971-1992	24
2.2	Liste der analysierten Physikschulbücher aus den Jahren 2007-2013	25
12.1	Literaturliste der Ergebnisdarstellung	77

Abbildungsverzeichnis

2.1	Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 5.Klasse (AHS)	21
2.2	Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 6.Klasse (AHS)	22
2.3	Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 7.Klasse (AHS)	22
2.4	Ausschnitt aus dem Mathematiklehrplan der 8.Klasse (AHS)	23
3.1	links: im Inertialsystem I ruhende Lichtuhr rechts: im Inertialsystem \bar{I} bewegte Lichtuhr	30
3.2	Ruhende und bewegte Lichtuhr	31
3.3	A und B: synchronisierte, ruhende Lichtuhren; C: bewegte Lichtuhr	32
4.1	Der Satz vom Kräfteparallelogramm – Die Bewegung auf der schiefen Ebene .	34
4.2	Kräftezerlegung - Der Begriff der Arbeit	35
4.3	Ähnliche Dreiecke - Einführung des Arbeitsbegriffes	36
4.4	Darstellung der Zentripetalbeschleunigung	36
4.5	Ähnlichkeitssätze bei der Herleitung der Zentripetalbeschleunigung	37
5.1	Der schiefe Wurf – Dreiecksgeometrie	39
5.2	Der schiefe Wurf – Dreiecksgeometrie mit Winkelfunktionen	40
7.1	Paraboloid: Abbildung durch Reflexion	47
7.2	Kugelförmiger Hohlspiegel: Abbildung durch Reflexion	48
8.1	Vielfaches von Vektoren – proportionale Vektoren	52
8.2	Vektoraddition	53
8.3	Vektoraddition: Komponentenzerlegung	53
8.4	Versuch: Stoß zweier Münzen	54
9.1	Geschwindigkeitsaddition - Regentropfen	56

Abbildungsverzeichnis

9.2	Geschwindigkeitsaddition - Bootsbeispiel	56
10.1	Skalarprodukt: mechanische Arbeit	59
10.2	Skalarprodukt: Definition der Arbeit	59
10.3	Skalarprodukt: parallele Kraftkomponente F_p mal Weg s	60
11.1	a. Korkenzieherregel; b. Bahn- und Winkelgeschwindigkeitsvektoren	62
11.2	Richtung der Winkelgeschwindigkeit: Rechte-Hand-Regel	63
12.1	Die Richtung des Kreuzprodukts	68
12.2	a. Versuch: Kraft des Magnetfeldes auf einen Leiter; b. Rechtsschraubenregel	69
12.3	Versuch: Kraft zwischen zwei parallelen Leitern aus Lamettband	70
12.4	a. Versuch: Nachweis der Lorentzkraft; b. Rechtsschraubenregel	72
12.5	Versuch: Ablenkung des Elektronenstrahls	73
12.6	Versuch: Leiterschaukel im Magnetfeld	75
12.7	Merksatz zur Lorentzkraft auf einzelne Ladungen	76

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Abstract (deutsch)

Eine der grundlegenden Herausforderungen im Physikunterricht ist die Einbeziehung der Geometrie bei der Erläuterung physikalischer Inhalte. Das Ziel dieser Diplomarbeit besteht darin, die Unterschiede in der didaktischen Aufbereitung in Bezug auf die geometrische Argumentationsweise in den Physikschulbüchern über die letzten Jahrzehnte hinweg zu zeigen. Dabei habe ich geometrische Argumentationen in unterschiedlichen physikalischen Themengebieten zusammengestellt und die jeweiligen Darstellungsformen in den Lehrbüchern diskutiert.

Zum Zweck der Übersicht über die fortlaufende Entwicklung in den Schulbüchern werden diese miteinander verglichen und analysiert. Im Zentrum der Beobachtung stehen die geometrischen und physikalischen Zusammenhänge in den früheren sowie in den aktuellen Lehrbüchern. Ein Fallbeispiel über die Verwendung des Kreuzproduktes bei der Lorentzkraft soll für einen tieferen Einblick in den Sachverhalt sorgen.

Meine Erkenntnisse aus der Untersuchung werden im Ergebnisteil durch eine Themenliste und durch eine Bücherliste erfasst. Abschließend wird die Zusammenfassung basierend auf den beiden Listen formuliert.

Abstract (english)

It is an uncontroversial fact in teaching methodology that one of the biggest challenges in physics education is to establish a bridge between mathematics and physics.

The aim of this diploma thesis therefore is to analyse the development of geometry in physics lecture material over the last decades and to point out the different ways of explaining geometry in school literature. At first, specific physical topics are categorized into the three main chapters of geometry: the elementary, the non-linear analytic and the vector geometry. The thesis then discusses specific ways of geometrical argumentation in selected schoolbooks. This happens especially with respect to the time development of the lecture material in physics schoolbooks, to give the reader a clear overview within the thesis.

In conclusion, the results of the examination will be presented.

