

**Richtlinien und Lehrpläne  
für die Sekundarstufe II – Gymnasium/Gesamtschule  
in Nordrhein-Westfalen**

**Physik**

ISBN 3-89314-622-9

Heft 4721

Herausgegeben vom  
Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Völklinger Straße 49, 40221 Düsseldorf

Copyright by Ritterbach Verlag GmbH, Frechen

Druck und Verlag: Ritterbach Verlag  
Rudolf-Diesel-Straße 5-7, 50226 Frechen  
Telefon (0 22 34) 18 66-0, Fax (0 22 34) 18 66 90  
[www.ritterbach.de](http://www.ritterbach.de)

1. Auflage 1999

## Vorwort

Die bisher vorliegenden Richtlinien und Lehrpläne für die gymnasiale Oberstufe sind im Jahre 1981 erlassen worden. Sie haben die Arbeit in der gymnasialen Oberstufe geprägt, sie haben die fachlichen Standards für neue Fächer erstmalig formuliert und so die Grundlage für die Vergleichbarkeit der Abituranforderungen gesichert.

Die Überarbeitung und Weiterentwicklung muss bewährte Grundorientierungen der gymnasialen Oberstufe sichern und zugleich Antworten auf die Fragen geben, die sich in der Diskussion der Kultusministerkonferenz seit 1994 im Dialog mit der Hochschulrektorenkonferenz und in der Diskussion der Schulen und der pädagogisch interessierten Öffentlichkeit herausgebildet haben und aus deren Beantwortung sich die Leitlinien der Weiterentwicklung ergeben.

Hierbei sind folgende Gesichtspunkte wesentlich:

- Eine vertiefte allgemeine Bildung, wissenschaftspropädeutische Grundbildung und soziale Kompetenzen, die in der gymnasialen Oberstufe erworben bzw. weiterentwickelt werden, sind Voraussetzungen für die Zuerkennung der allgemeinen Hochschulreife; sie befähigen in besonderer Weise zur Aufnahme eines Hochschulstudiums oder zum Erlernen eines Berufes.
- Besondere Bedeutung kommt dabei grundlegenden Kompetenzen zu, die notwendige Voraussetzung für Studium und Beruf sind. Diese Kompetenzen – sprachliche Ausdrucksfähigkeit, fremdsprachliche Kommunikationsfähigkeit, Umgang mit mathematischen Systemen, Verfahren und Modellen – werden nicht nur in den Fächern Deutsch, Mathematik, Fremdsprache erworben.
- Lernprozesse, die nicht nur auf kurzfristige Lernergebnisse zielen, sondern die dauerhafte Lernkompetenzen aufbauen, müssen gestärkt werden. Es sollten deutlicher Lehr- und Lernsituationen vorgesehen werden, die selbstständiges Lernen und Lernen in der Gruppe begünstigen und die die Selbststeuerung des Lernens verbessern.
- Zum Wesen des Lernens in der gymnasialen Oberstufe gehört das Denken und Arbeiten in übergreifenden Zusammenhängen und komplexen Strukturen. Unverzichtbar dafür ist neben dem fachbezogenen ein fachübergreifend und fächerverbindend angelegter Unterricht.

Lernen in diesem Sinne setzt eine deutliche Obligatorik und den klaren Ausweis von Anforderungen, aber auch Gestaltungsspielräumen für die Schulen voraus. Die Richtlinien und Lehrpläne sollen die Arbeit in der gymnasialen Oberstufe steuern und entwickeln. Sie sichern durch die Festlegung von Verbindlichkeiten einen Bestand an gemeinsamen Lernerfahrungen und eröffnen Freiräume für Schulen, Lehrkräfte und Lerngruppen.

Die Richtlinien und Lehrpläne bilden eine Grundlage für die Entwicklung und Sicherung der Qualität schulischer Arbeit. Sie verdeutlichen, welche Ansprüche von Eltern, Schülerinnen und Schülern an die Schule gestellt werden können und welche Anforderungen die Schule an Schülerinnen und Schüler stellen kann. Sie sind Bezugspunkt für die Schulprogrammarbeit und die regelmäßige Überprüfung der eigenen Arbeit.

Allen, die an der Entwicklung der Richtlinien und Lehrpläne mitgearbeitet haben, danke ich für ihre engagierten Beiträge.

A handwritten signature in black ink, reading 'Gabriele Behler'. The script is cursive and fluid, with the first letters of 'Gabriele' and 'Behler' being capitalized and prominent.

(Gabriele Behler)

Ministerin für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen

**Auszug aus dem Amtsblatt  
des Ministeriums für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Teil 1 Nr. 4/99**

**Sekundarstufe II –  
Gymnasiale Oberstufe des Gymnasiums und der Gesamtschule;  
Richtlinien und Lehrpläne**

RdErl. d. Ministeriums  
für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung  
v. 17. 3. 1999 – 732.36–20/0–277/99

Für die gymnasiale Oberstufe des Gymnasiums und der Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen werden hiermit Richtlinien und Lehrpläne für die einzelnen Fächer gemäß § 1 SchVG (BASS 1 – 2) festgesetzt.

Sie treten am 1. August 1999, beginnend mit der Jahrgangsstufe 11, in Kraft. Die in den Lehrplänen vorgesehenen schulinternen Abstimmungen zur Umsetzung der Lehrpläne können im Laufe des Schuljahres 1999/2000 erfolgen.

Die Veröffentlichung erfolgt in der Schriftenreihe „Schule in NRW“.

Die vom Verlag übersandten Hefte sind in die Schulbibliothek einzustellen und dort u. a. für die Mitwirkungsberechtigten zur Einsichtnahme bzw. zur Ausleihe verfügbar zu halten.

Die bisherigen Richtlinien und Materialien zur Leistungsbewertung treten zum 1. August 2001 außer Kraft. Die Runderlasse

vom 16. 6.1981, vom 27.10.1982 und  
vom 27. 6.1989 (BASS 15 – 31 Nr. 01, 1 bis 29),  
vom 15. 7.1981 (BASS 15 – 31 Nr. 30),  
vom 30. 6.1991 (BASS 15 – 31 Nr. 31),  
vom 9.11.1993 (BASS 15 – 31 Nr. 32) und  
vom 21.12.1983 (BASS 15 – 31 Nr. 02 bis 30.1)

werden zum 1. August 2001 aufgehoben.



# Gesamtinhalt

	Seite
<b>Richtlinien</b>	
1 Aufgaben und Ziele der gymnasialen Oberstufe	XI
2 Rahmenbedingungen	XV
3 Prinzipien des Lernens und Lehrens in der gymnasialen Oberstufe	XVII
4 Aufbau und Gliederung der gymnasialen Oberstufe	XX
5 Schulprogramm	XXI
<b>Lehrplan Physik</b>	
1 Aufgaben und Ziele des Faches	5
2 Bereiche, Themen, Gegenstände	8
3 Unterrichtsgestaltung/Lernorganisation	20
4 Lernerfolgsüberprüfungen	50
5 Die Abiturprüfung	60
6 Hinweise zur Arbeit mit dem Lehrplan	94
7 Anhang	96





# Richtlinien

„(1) Ehrfurcht vor Gott, Achtung vor der Würde des Menschen und Bereitschaft zum sozialen Handeln zu wecken, ist vornehmstes Ziel der Erziehung.

(2) Die Jugend soll erzogen werden im Geiste der Menschlichkeit, der Demokratie und der Freiheit, zur Duldsamkeit und zur Achtung vor der Überzeugung des anderen, zur Verantwortung für die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen, in Liebe zu Volk und Heimat, zur Völkergemeinschaft und Friedensgesinnung.“

(Artikel 7 der Verfassung für das Land Nordrhein-Westfalen)

# 1 Aufgaben und Ziele der gymnasialen Oberstufe

## 1.1 Grundlagen

Die gymnasiale Oberstufe setzt die Erziehungs- und Unterrichtsarbeit der Sekundarstufe I fort. Wie in den Bildungsgängen der Sekundarstufe I vollziehen sich Erziehung und Unterricht auch in der gymnasialen Oberstufe im Rahmen der Grundsätze, die in Artikel 7 der Verfassung für das Land Nordrhein-Westfalen und in § 1 des Schulordnungsgesetzes festgelegt sind.

Die gymnasiale Oberstufe beginnt mit der Jahrgangsstufe 11 und nimmt auch Schülerinnen und Schüler aus anderen Schulformen auf, die die Berechtigung zum Besuch der gymnasialen Oberstufe besitzen. Sie vermittelt im Laufe der Jahrgangsstufen 11 bis 13 die Studierfähigkeit und führt zur allgemeinen Hochschulreife. Die allgemeine Hochschulreife ermöglicht die Aufnahme eines Studiums und eröffnet gleichermaßen den Weg in eine berufliche Ausbildung.

## 1.2 Auftrag

Die gymnasiale Oberstufe fördert den Bildungsprozess der Schülerinnen und Schüler in seiner personalen, sozialen und fachlichen Dimension. Bildung wird dabei als Lern- und Entwicklungsprozess verstanden, der sich auf das Individuum bezieht und in dem kognitives und emotionales, fachliches und fachübergreifendes Lernen, individuelle und soziale Erfahrungen, Theorie und Praxis miteinander verknüpft und ethische Kategorien vermittelt und angeeignet werden.

Erziehung und Unterricht in der gymnasialen Oberstufe sollen

- **zu einer wissenschaftspropädeutischen Ausbildung führen und**
- **Hilfen geben zur persönlichen Entfaltung in sozialer Verantwortlichkeit.**

Die genannten Aufgaben sind aufeinander bezogen. Die Schülerinnen und Schüler sollen zunehmend befähigt werden, für ihr Lernen selbst verantwortlich zu sein, in der Bewältigung anspruchsvoller Lernaufgaben ihre Kompetenzen zu erweitern, mit eigenen Fähigkeiten produktiv umzugehen, um so dauerhafte Lernkompetenzen aufzubauen. Ein solches Bildungsverständnis zielt nicht nur auf Selbstständigkeit und Selbsttätigkeit, sondern auch auf die Entwicklung von Kooperationsbereitschaft und Teamfähigkeit.

Voraussetzung für das Gelingen dieses Bildungsprozesses ist die Festigung „einer **vertieften allgemeinen Bildung** mit einem gemeinsamen Grundbestand von Kenntnissen und Fähigkeiten, die nicht erst in der gymnasialen Oberstufe erworben werden sollen“<sup>1)</sup>. Die Schülerinnen und Schüler sollen durch die Auseinandersetzung mit einem Gefüge von Aufgabenfeldern, fachlichen und überfachlichen Themen, Gegenständen, Arbeitsweisen und Lernformen studierfähig werden.

---

<sup>1)</sup> KMK-Beschluss vom 25.2.1994 „Sicherung der Qualität der allgemeinen Hochschulreife als schulische Abschlussqualifikation und Gewährleistung der Studierfähigkeit“.

## **1.3 Erziehung und Unterricht in der gymnasialen Oberstufe**

### **1.3.1 Wissenschaftspropädeutik**

Wissenschaftspropädeutisches Lernen ist ein besonders akzentuiertes wissenschaftsorientiertes Lernen, das durch Systematisierung, Methodenbewusstsein, Problematisierung und Distanz gekennzeichnet ist und das die kognitiven und affektiven Verhaltensweisen umfasst, die Merkmale wissenschaftlichen Arbeitens sind. Wissenschaftspropädeutisches Lernen setzt Wissen voraus.

Ansätze wissenschaftspropädeutischen Arbeitens finden sich bereits in der Sekundarstufe I. Das Lernen in der gymnasialen Oberstufe baut darauf auf.

Wissenschaftspropädeutisches Lernen umfasst systematisches und methodisches Arbeiten sowohl in den einzelnen Fächern als auch in fachübergreifenden und fächerverbindenden Vorhaben.

Im Einzelnen lassen sich folgende Elemente wissenschaftspropädeutischen Lernens unterscheiden:

#### **Grundlagenwissen**

Wissenschaftspropädeutisches Lernen setzt ein jederzeit verfügbares, gut vernetztes fachliches Grundlagenwissen voraus, das eine Orientierung im Hinblick auf die relevanten Inhalte, Fragestellungen, Kategorien und Methoden der jeweiligen Fachbereiche ermöglicht und fachübergreifende Fragestellungen einschließt. Wissenschaftspropädeutisches Lernen baut daher auf einer vertieften Allgemeinbildung auf, die sich auf ein breites Spektrum von Fachbereichen und Fächern bezieht, und trägt umgekehrt zu ihr bei (vgl. Kapitel 2.3 und 2.4).

#### **Selbstständiges Lernen und Arbeiten**

Wissenschaftspropädeutisches Lernen ist methodisches Lernen. Es zielt darauf hin, dass die Schülerinnen und Schüler grundlegende wissenschaftliche Erkenntnis- und Verfahrensweisen systematisch erarbeiten.

Der Unterricht muss daher so gestaltet werden, dass die Schülerinnen und Schüler lernen, eine Aufgabenstellung selbstständig zu strukturieren, die erforderlichen Arbeitsmethoden problemangemessen und zeitökonomisch auszuführen, Hypothesen zu bilden und zu prüfen und die Arbeitsergebnisse angemessen darzustellen.

#### **Reflexions- und Urteilsfähigkeit**

Wissenschaftspropädeutisches Arbeiten erfordert problem- und prozessbezogenes Denken und Denken in Zusammenhängen. Die Schülerinnen und Schüler sollen sachgemäß argumentieren lernen, Meinungen von Tatsachen, Wesentliches von Unwesentlichem unterscheiden, Prinzipien und Regeln verstehen, anwenden und übertragen können. Sie sollen die Grenzen und Geschichtlichkeit wissenschaftlicher Aussagen erkennen und den Zusammenhang und das Zusammenwirken von Wissenschaften kennen lernen. Schließlich geht es um das Verständnis für grundlegende wissenschaftstheoretische und philosophische Fragestellungen, Deutun-

gen der Wirklichkeit, um ethische Grundüberlegungen und um die Reflexion des eigenen Denkens und Handelns.

### **Grundlegende Einstellungen und Verhaltensweisen für wissenschaftliches Arbeiten**

Es gilt, Verhaltensweisen zu entwickeln und zu pflegen, mit denen wissenschaftliches Arbeiten als ein spezifischer Zugriff auf Wirklichkeit erlebt und begriffen werden kann. Wissenschaft soll auch als soziale Praxis erfahrbar werden, die auf spezifische Weise eine Verständigung über unterschiedliche Positionen und Sichtweisen hinweg ermöglicht. Dazu ist Kommunikations- und Kooperationsbereitschaft erforderlich. Voraussetzung für wissenschaftspropädeutisches Arbeiten sind Verhaltensweisen wie Konzentrationsfähigkeit, Geduld und Ausdauer, das Aushalten von Frustrationen, die Offenheit für andere Sichtweisen und Zuverlässigkeit.

### **1.3.2 Persönliche Entfaltung und soziale Verantwortlichkeit**

Persönliche Entfaltung und soziale Verantwortlichkeit bestimmen den Erziehungsauftrag der gymnasialen Oberstufe. Erziehung findet in erster Linie im Unterricht statt; das Schulleben insgesamt muss aber ebenso Ansatzpunkte bieten, um den Erziehungsprozess zu fördern und die Schülerinnen und Schüler in die Arbeit und die Entscheidungsprozesse der Schule einzubeziehen.

#### **Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre individuellen Fähigkeiten weiter entfalten und nutzen.**

Schülerinnen und Schüler sollen sich ihrer Möglichkeiten und Grenzen bewusst werden. Dieser Prozess wird dadurch unterstützt, dass durch ein Spektrum unterschiedlicher Angebote und Wahlmöglichkeiten, Anforderungen und Aufgabenstellungen sowie durch Methoden, die die Selbstständigkeit fördern, Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben wird, ihre Fähigkeiten zu entdecken, zu erproben und ihre Urteils- und Handlungsfähigkeit zu entwickeln. Hierbei soll auch den Grundsätzen einer reflexiven Koedukation Rechnung getragen werden, die die unterschiedlichen Erfahrungen, Verhaltensweisen und Einstellungen von Jungen und Mädchen berücksichtigen.

#### **Die Schülerinnen und Schüler sollen sich mit Werten, Wertsystemen und Orientierungsmustern auseinander setzen können, um tragfähige Antworten auf die Fragen nach dem Sinn des eigenen Lebens zu finden.**

Die in Grundgesetz und Landesverfassung festgeschriebene Verpflichtung zur Achtung der Würde eines jeden Menschen, die darin zum Ausdruck kommenden allgemeinen Grund- und Menschenrechte sowie die Prinzipien des demokratisch und sozial verfassten Rechtsstaates bilden die Grundlage des Erziehungsauftrages der Schule. Die Schule muss den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit geben, sich mit den Grundwerten des Gemeinwesens auseinander zu setzen und auf dieser Grundlage ihre Wertpositionen zu entwickeln.

Die Auseinandersetzung mit existentiellen Fragen, mit der eigenen Religion und mit anderen Religionen und religiösen Erfahrungen und Orientierungen, ihrer jeweiligen Wirkungsgeschichte und der von ihnen mitgeprägten gesellschaftlichen Wirklichkeit, sollen auch dazu beitragen, Antworten auf die Fragen nach dem Sinn der eigenen Existenz zu finden.

**Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre sozialen Kompetenzen entwickeln und in der aktiven Mitwirkung am Leben in einem demokratisch verfassten Gemeinwesen unterstützt werden.**

Die Schülerinnen und Schüler müssen ihre Bereitschaft und Fähigkeit weiterentwickeln können, sich mit anderen zu verständigen und mit ihnen zu kooperieren. Dies ist sowohl für das Leben in der Schule als auch in einer demokratischen Gesellschaft und in der Staaten- und Völkergemeinschaft von Bedeutung. Es geht um eine kritische und konstruktive Auseinandersetzung mit gesellschaftlich und politisch begründeten, religiösen und kulturell gebundenen, ökonomisch geprägten und ökologisch orientierten Einstellungen und Verhaltensweisen sowie um die Entwicklung von Toleranz, Solidarität und interkultureller Akzeptanz.

Dabei ist auch ein Verhalten zu fördern, das auf Gleichberechtigung und Chancengleichheit von Frau und Mann und auf die Veränderung überkommener geschlechtsspezifischer Rollen zielt.

Der Unterricht thematisiert hierzu Geschichte und Struktur unserer Gesellschaft, ihre grundlegenden Werte und Normen, ihre sozialen, ökonomischen und ökologischen Probleme. Er vermittelt Einblicke in politische Entscheidungsprozesse und leitet dazu an, Entscheidungs- und Einflussmöglichkeiten wahrzunehmen.

**Die Schülerinnen und Schüler sollen auf ein Leben in einem zusammenwachsenden Europa und in einer international verflochtenen Welt vorbereitet werden.**

Die Welt, in der die Schülerinnen und Schüler leben werden, ist in hohem Maße durch politische, wirtschaftliche und soziale Verflechtungen bestimmt. Ein Leben in dieser Welt erfordert Kenntnisse und Einblicke in die historischen, politischen, sozialen und ökonomischen Zusammenhänge. Es benötigt Verständnis für die eigene Kultur und für andere Kulturen, für interkulturelle Zusammenhänge, setzt Fremdsprachenkompetenz, Medienkompetenz, Erfahrungen im Ausland und die Bereitschaft, in einer internationalen Friedensordnung zu leben, voraus.

**Die Schülerinnen und Schüler sollen bei ihrer Studien- und Berufswahl unterstützt werden.**

Die gymnasiale Oberstufe soll Qualifikationen fördern, die sowohl für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife als auch für die Studien- und Berufswahl von Bedeutung sind, wie beispielsweise die folgenden Fähigkeiten: Ein breites Verständnis für sozial-kulturelle, ökonomische, ökologische, politische, naturwissenschaftliche und technische Zusammenhänge; die Fähigkeit, die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien nutzen zu können; ein Denken in übergreifen-

den, komplexen Strukturen; die Fähigkeit, Wissen in unterschiedlichen Kontexten anzuwenden; die Fähigkeit zur Selbststeuerung des Lernens und der Informationsbeschaffung; Kommunikations- und Teamfähigkeit, Entscheidungsfähigkeit.

In der gymnasialen Oberstufe muss darüber hinaus eine Auseinandersetzung mit der gesellschaftlichen Bedeutung der Arbeit, eine Orientierung über Berufsfelder und mögliche neue Berufe, die systematische Information über Strukturen und Entwicklungsgesetzmäßigkeiten des Arbeitsmarktes ermöglicht werden. Dies kann durch Angebote von Betriebspraktika sowie Betriebserkundungen und -besichtigungen, durch studienkundliche Veranstaltungen und die Einrichtung von Fachpraxiskursen geschehen. Dabei arbeiten die Schulen mit den Hochschulen, den Arbeitsämtern und freien Trägern aus Wirtschaft und Gesellschaft zusammen.

## **2 Rahmenbedingungen**

Voraussetzung für die Verwirklichung des oben dargestellten Auftrags ist zunächst die Organisationsstruktur der gymnasialen Oberstufe. Deren Merkmale sind:

- die prinzipielle Gleichwertigkeit der Fächer,
- die Gliederung des Kurssystems in Grund- und Leistungskurse,
- die Zuordnung der Fächer (außer Religionslehre und Sport) zu Aufgabenfeldern,
- die Festlegung von Pflicht-, Wahlpflicht- und Wahlfächern.

### **2.1 Gleichwertigkeit der Fächer**

Gleichwertigkeit der Fächer bedeutet nicht, dass die Fächer gleichartig sind. Die prinzipielle Gleichwertigkeit der Fächer ist darin begründet, dass jedes Fach Gleiches oder Ähnliches sowohl zum wissenschaftspropädeutischen Lernen als auch zur persönlichen Entfaltung in sozialer Verantwortlichkeit beitragen kann.

### **2.2 Kursarten**

In der Jahrgangsstufe 11 ist der Unterricht in Grundkursen organisiert, in den Jahrgangsstufen 12 und 13 wird das System der Grund- und Leistungskurse entfaltet.

Die Grundkurse repräsentieren das Lernniveau der gymnasialen Oberstufe unter dem Aspekt einer grundlegenden wissenschaftspropädeutischen Ausbildung.

Die Leistungskurse repräsentieren das Lernniveau der gymnasialen Oberstufe unter dem Aspekt einer exemplarisch vertieften wissenschaftspropädeutischen Ausbildung. Eine differenzierte Unterscheidung zwischen Grund- und Leistungskursen findet sich in den Lehrplänen.

Nicht die Stoffhäufung ist das Ziel der Leistungskurse, vielmehr muss auf der Grundlage gesicherter Kenntnisse das methodische Lernen im Vordergrund stehen.

## 2.3 Aufgabenfelder

Aufgabenfelder bündeln und steuern das Unterrichtsangebot der gymnasialen Oberstufe.

Die Unterscheidung der folgenden drei Aufgabenfelder ist das Ergebnis bildungstheoretischer, didaktischer und pragmatischer Überlegungen. Die Aufgabenfelder werden bezeichnet als

- das sprachlich-literarisch-künstlerische Aufgabenfeld
- das gesellschaftswissenschaftliche Aufgabenfeld
- das mathematisch-naturwissenschaftlich-technische Aufgabenfeld.

Die eher theoretischen Begründungen orientieren sich an den Bemühungen, bildungstheoretisch relevante Sach- und Problembereiche und wissenschaftstheoretische Schwerpunktsetzungen zu unterscheiden sowie bildungsgeschichtliche Traditionen aufzugreifen und modifiziert fortzuführen.

Die Aufgabenfelder sind durch folgende Gegenstandsbestimmungen gekennzeichnet:

- Gegenstand der Fächer im **sprachlich-literarisch-künstlerischen Aufgabenfeld (I)** sind sprachliche, musikalische und bildnerische Gestaltungen (als Darstellung, Deutung, Kritik, Entwurf etc.), in denen Wirklichkeit als konstruierte und vermittelte Wirklichkeit erscheint, sowie die Verfahrens- und Erkenntnisweisen, die der Auseinandersetzung mit diesen Gestaltungen dienen.
- Hier geht es darum, Mittel und Möglichkeiten der Kommunikation zu thematisieren und zu problematisieren in einer Welt, die wesentlich durch Vermittlungssysteme und Medien geprägt und gesteuert wird. In den im Aufgabenfeld I zusammengefassten Fächern spielen eigenständige Produktion und Gestaltung im Sinne kultureller Teilhabe eine wichtige Rolle.
- Den Fächern im **gesellschaftswissenschaftlichen Aufgabenfeld (II)** kommt in besonderer Weise die Aufgabe der politischen Bildung zu, die in Artikel 11 der Landesverfassung von Nordrhein-Westfalen festgelegt ist. Diese Fächer befassen sich mit Fragen nach den Möglichkeiten und Grenzen menschlichen Denkens und Handelns insbesondere im Blick auf ihre jeweiligen individuellen, gesellschaftlichen, zeit- und raumbezogenen Voraussetzungen, Bedingungen und Auswirkungen sowie mit den Verfahrens- und Erkenntnisweisen, die der Klärung dieser Fragen dienen.
- Gegenstand der Fächer im **mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Aufgabenfeld (III)** sind die empirisch erfassbare, die in formalen Strukturen beschreibbare und die durch Technik gestaltbare Wirklichkeit sowie die Verfahrens- und Erkenntnisweisen, die ihrer Erschließung und Gestaltung dienen.
- Außerhalb dieser Aufgabenfelder stehen die Fächer **Sport** und **Religionslehre**.

Das Fach **Sport** trägt, ausgehend von der körperlich-sinnlichen Dimension des Menschen, zu einer ganzheitlichen Bildung und Erziehung bei. Auf der Basis unmittelbar erlebter sportlicher Handlungssituationen soll der Sportunterricht



zur aktiven Teilhabe an der Bewegungs-, Spiel- und Sportkultur und zur kritischen Auseinandersetzung mit ihr befähigen.

In **Religionslehre** geht es um Lernerfahrungen, die auf der Basis des christlichen Glaubens oder anderer tradierter bzw. heute wirksamer Religionen und Weltanschauungen Erkenntnis-, Urteils- und Handlungsmöglichkeiten eröffnen und Einsichten in Sinn- und Wertfragen des Lebens in Dialog und Auseinandersetzung mit anderen Religionen und Weltanschauungen fördern.

Die Aufgabenfelder können die Abstimmungen und Kooperation in der Schule erleichtern, wenn es darum geht,

- wie Fachlehrpläne zu gestalten sind, damit sie als exemplarisch für das jeweilige Aufgabenfeld begriffen werden können
- wie die Lehrpläne der Fächer innerhalb eines Aufgabenfeldes für thematische Entwicklungen offen gehalten werden können
- wie im Aufgabenfeld und über das Aufgabenfeld hinaus fachübergreifend und fächerverbindend konzipierter Unterricht entwickelt und erprobt werden kann.

Die drei Aufgabenfelder sind ein Steuerungsinstrument, weil mit Hilfe einer Zusammenfassung verschiedener Unterrichtsfächer zu Fächergruppen Wahlfachregelungen getroffen werden können, die einer zu einseitigen Fächerwahl entgegenwirken. Jedes der drei Aufgabenfelder muss von den Schülerinnen und Schülern durchgehend bis zur Abiturprüfung belegt werden. Keines ist austauschbar.

## **2.4 Fachspezifische Bindungen**

Neben den Festlegungen der Wahlmöglichkeiten in den Aufgabenfeldern gibt es fachspezifische Belegverpflichtungen, die jeweils einen bestimmten Lernzusammenhang konstituieren:

- Deutsch, eine Fremdsprache, ein künstlerisches Fach, ein gesellschaftswissenschaftliches Fach, in jedem Fall zwei Kurse in Geschichte und in Sozialwissenschaften, Mathematik, eine Naturwissenschaft
- sowie Religionslehre und Sport.

Schülerinnen und Schüler, die vom Religionsunterricht befreit sind, müssen Philosophie belegen.

## **3 Prinzipien des Lernens und Lehrens in der gymnasialen Oberstufe**

### **3.1 Fachspezifisches Lernen**

Der Unterricht in der gymnasialen Oberstufe ist in erster Linie durch den Fachbezug geprägt. Indem in der fachgebundenen Ausbildung Fachwissen, fachliche Theorien und Methoden vermittelt werden, ermöglichen die Schulfächer eine strukturierte Sicht auf komplexe Phänomene der Wirklichkeit. Sie eröffnen so einen je spezifischen Zugang zur Welt. Fachliches Lernen soll geordnetes, systematisches

Lernen fördern. In wissenschaftspropädeutischer Hinsicht verknüpft sich im fachlichen Lernen gegenständliches Wissen mit ausgewählten Theorien und Methoden der Referenzdisziplinen sowie mit Grundaussagen der Wissenschaftstheorie und Methodologie.

### 3.2 Fachübergreifendes und fächerverbindendes Lernen

So wichtig es ist, durch systematische fachliche Arbeit fachliche Kompetenzen zu fördern, so bedeutsam ist es, die Fachperspektive zu überschreiten. Durch fachübergreifendes und fächerverbindendes Lernen wird eine mehrperspektivische Betrachtung der Wirklichkeit gefördert, und es werden damit auch übergreifende Einsichten, Fähigkeiten, Arbeitsmethoden und Lernstrategien entwickelt, die unterschiedliche fachliche Perspektiven für gemeinsame Klärungen und Problemlösungsstrategien verbinden und so zur Kenntnis der komplexen und interdependenten Probleme der Gegenwart beitragen. Deshalb gehört das Überschreiten der Fächergrenzen, das Einüben in die Verständigung über Differenzen und über Differenzen hinweg neben dem Fachunterricht zu den tragenden Prinzipien der gymnasialen Oberstufe.

Wissenschaftspropädeutisches Lernen erfordert beides: das fachliche Arbeiten, seine Reflexion und das Denken und Handeln in fachübergreifenden Zusammenhängen.

### 3.3 Gestaltungsprinzipien des Unterrichts

Lernen ist ein individueller, aktiver und konstruktiver Aufbau von Wissen, der maßgeblich durch das verfügbare Vorwissen und den entsprechenden Verständnishorizont beeinflusst wird. Lernen heißt auch: Fähigkeiten und Fertigkeiten, Neigungen und Interessen, Einstellungen und Werthaltungen zu entwickeln. Umfang, Organisation, langfristige Verfügbarkeit machen die Qualität des Wissensbestandes aus. Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler tragen für den Aufbau eines solchen Wissens eine gemeinsame Verantwortung. Eine aufgabenorientierte Strukturierung des Unterrichts durch die Lehrkräfte ist genau so wichtig wie das Schaffen offener Lern- und Arbeitssituationen. Dabei ist zu bedenken, dass übermäßige Engführung eines Frontalunterrichts den sachbezogenen Handlungsspielraum der Schülerinnen und Schüler ebenso einengt, wie völlig offener Unterricht mit einer Fiktion vom "autonomen Lernen" überfordert.

Der Unterricht soll folgenden Prinzipien folgen:

- Er soll **fachliche Grundlagen vermitteln**, die Lerninhalte in sinnvolle Kontexte einbinden, ihre Verfügbarkeit und eine anspruchsvolle Lernprogression sichern.
- Der Unterricht soll **schülerorientiert** sein. Die Lernenden müssen ihre eigenen Fragestellungen und Probleme ernst genommen finden. Sie müssen die Möglichkeit haben, an ihren individuellen Erfahrungs- und Lernstand anzuschließen und ihre eigenen Lernwege zu entwickeln. Dies gilt besonders für die unterschiedlichen Ausgangsdispositionen von Jungen und Mädchen. Die individuellen Dispositionen und Leistungsmöglichkeiten sollen so genutzt werden, dass

die Lernprozesse für die Einzelnen und die Gruppe möglichst erfolgreich verlaufen können.

- Lernprozesse sollen sich am **Leitbild aktiven und selbstständigen Arbeitens** orientieren. Wenn Lernende sich aktiv mit den Lerngegenständen auseinandersetzen, werden ihr Wissenserwerb und ihre Methodenkompetenz gefestigt und erweitert. Das heißt für den Unterricht, Aufgaben zu stellen, die die Schülerinnen und Schüler vor die Notwendigkeit stellen, auf erworbenes Vorwissen und Können Bezug zu nehmen. Sie müssen Inhalte und Methoden wiederholen, im neuen Zusammenhang anwenden und ihre Lernprozesse reflektieren können, um fachliche und überfachliche Lernstrategien langfristig aufzubauen. In der methodologischen Reflexion werden Lernen und Erkenntniserwerb selbst zum Lerngegenstand.
- Lernprozesse sollen Gelegenheit für **kooperative Arbeitsformen** geben. Je mehr die Notwendigkeit besteht, eigene Lernerfahrungen und -ergebnisse mit den Problemlösungen anderer zu vergleichen, zu erörtern, sie dabei zu überprüfen und zu verbessern, desto nachhaltiger ist das Lernen.
- Teamfähigkeit herauszubilden heißt für den Unterricht, arbeitsteilige und kooperative Arbeitsformen zu initiieren und dabei zu einer Verständigung über die Zusammenarbeit und die Methoden zu kommen, Arbeitsergebnisse abgestimmt zu präsentieren und gemeinsam zu verantworten.
- Lernprozesse sollen durch **komplexe Aufgabenstellungen** geleitet werden. Solche Aufgaben bedingen multiperspektivische und mehrdimensionale Sichtweisen, sie tragen zur Methodenreflexion bei und erfordern die Erstellung von Produkten, die individuelle oder gemeinsame Lernergebnisse repräsentieren und einer Selbst- und Fremdbewertung unterzogen werden. Referate, Facharbeiten, Ausstellungen, Aufführungen etc. können herausragende Ergebnisse solcher Aufgabenstellungen sein.
- Der Unterricht soll auf **Anwendung und Transfer** der zu erwerbenden Fähigkeiten und Kenntnisse zielen. Transfer ist zu erwarten, wenn die Lerngegenstände mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und authentischen Handlungssituationen verbunden sowie unabhängig von bekannten Kontexten beherrscht werden. Das heißt für den Unterricht, solche Probleme und Fragestellungen zum Gegenstand zu machen, die Zugriffe aus unterschiedlichen fachlichen Perspektiven erfordern. Die jeweiligen Sichtweisen können relativiert und in Bezug auf ihren spezifischen Beitrag zur Problemlösung beurteilt werden. So werden Möglichkeiten und Grenzen der Übertragbarkeit von Erkenntnissen und Verfahren deutlich. Anwendung und Transfer werden auch in Projekten und in Vorhaben zur Gestaltung und Öffnung von Schule und in Zusammenarbeit mit außerschulischen Partnern gefördert.
- Der Unterricht darf nicht ausschließlich linear erfolgen, sondern muss die **Vernetzung** eines Problems innerhalb des Faches, aber auch über das Fach hinaus sichtbar machen. Es wird darauf ankommen, Formen der Organisation von Lernsituationen, die sich an fachlicher Systematik orientieren, durch solche Arrangements zu ergänzen, die dialogisches und problembezogenes Lernen ermöglichen. Insbesondere sollen die Schülerinnen und Schüler in diesem

Zusammenhang mit Themen und Arbeitsmethoden des fachübergreifenden und fächerverbindenden Arbeitens vertraut gemacht werden.

## **4 Aufbau und Gliederung der gymnasialen Oberstufe**

Der Bildungsgang in der gymnasialen Oberstufe gliedert sich in die Einführungsphase (Jahrgangsstufe 11) und die Qualifikationsphase (Jahrgangsstufen 12 und 13). Er schließt mit der Abiturprüfung ab, die am Ende des 2. Halbjahres der Jahrgangsstufe 13 stattfindet.

Um die allgemeine Hochschulreife und die Studierfähigkeit zu gewährleisten, ist es wichtig, das fachliche Lernen, das fachübergreifende und fächerverbindende Arbeiten, die Beherrschung wissenschaftspropädeutischer Arbeitsformen und eine Studien- und Berufswahlvorbereitung für jeden individuellen Bildungsgang sicherzustellen<sup>2)</sup>.

Der Unterricht in der gymnasialen Oberstufe folgt von der Jahrgangsstufe 11 bis zur Jahrgangsstufe 13 einem aufbauenden Sequenzprinzip, das den Lernzuwachs sichert.

### **Die Einführungsphase (Jahrgangsstufe 11)**

Die Jahrgangsstufe 11 ist als eine Einheit konzipiert, die aus aufeinander aufbauenden Grundkursen besteht. Die Leistungskurse beginnen mit der Jahrgangsstufe 12. Der Unterricht folgt dem Prinzip der fachlichen Progression, die die Jahrgangsstufen 11 bis 13 umfasst.

Das zentrale Ziel der Einführungsphase ist es, die Schülerinnen und Schüler systematisch mit inhaltlichen und methodischen Grundlagen der von ihnen belegten Fächer vertraut zu machen, sie auf die Wahl der Leistungskurse zu Beginn der Jahrgangsstufe 12 vorzubereiten und zu den ausgeprägteren Formen wissenschaftspropädeutischen Arbeitens hinzuführen. Für Schülerinnen und Schüler aus anderen Schulformen bieten die Schulen fachliche Angleichungsmaßnahmen an.

Schulen, die Fächerkoppelungen anstreben, legen diese vor Beginn der Jahrgangsstufe 11 fest, damit die Schülerinnen und Schüler die sich daraus ergebenden Möglichkeiten und Bindungen in die Planung ihres individuellen Bildungsganges einbeziehen können.

### **Die Qualifikationsphase (Jahrgangsstufen 12 und 13)**

Mit Beginn der Qualifikationsphase wird das Kurssystem in Grund- und Leistungskurse entfaltet. Die in der Qualifikationsphase erbrachten Leistungen gehen in die Gesamtqualifikation ein, die die in den Jahrgangsstufen 12 und 13 erbrachten Leistungen zusammenfasst.

---

<sup>2)</sup> vgl. hierzu die Schrift "Studien- und Berufswahlvorbereitung am Gymnasium", hg. vom Landesinstitut für Schule und Weiterbildung, Soest und vom Landesarbeitsamt Nordrhein-Westfalen, Bönen 1995. Hierin sind auch Konzepte zur Studien- und Berufswahlvorbereitung in der gymnasialen Oberstufe enthalten.

Es ist das Ziel der Qualifikationsphase, fachliches, methodisches und fachübergreifendes Lernen so zu ermöglichen und abzusichern, dass Studierfähigkeit erbracht wird.

Zur Intensivierung des selbstständigen Arbeitens soll jede Schülerin und jeder Schüler in der Jahrgangsstufe 12 anstelle einer Klausur eine Facharbeit schreiben.

Fachübergreifende Einsichten können innerhalb der einzelnen Fächer vermittelt werden. Darüber hinaus werden an der Schule Veranstaltungen angeboten, in denen geplant fachübergreifend und fächerverbindend, z. B. an Projekttagen in Projektphasen oder einer Projektveranstaltung gearbeitet wird.

Alle Schülerinnen und Schüler sollen in der gymnasialen Oberstufe an einer umfassenderen Projektveranstaltung teilnehmen, die im Fachunterricht vorbereitet worden ist. Eine solche Veranstaltung wird in der Regel jahrgangsbezogen angeboten.

Die Schülerinnen und Schüler können im Rahmen der für die Abiturprüfung vorgesehenen Gesamtpunktzahl wahlweise mit maximal 60 Punkten eine besondere Lernleistung in der Abiturprüfung sich anrechnen lassen, die im Rahmen oder Umfang eines mindestens zwei Halbjahre umfassenden Kurses erbracht wird. Hierbei kann es sich zum Beispiel um die Arbeit aus einem Wettbewerb handeln, aber auch um eine umfassende Jahresarbeit (z. B. in einer weiteren Fremdsprache, in Informatik, Technik oder einer weiteren Naturwissenschaft) oder um eine Arbeit über ein umfassendes Projekt.

## 5 Schulprogramm

Schulprogrammarbeit und das Schulprogramm dienen der Schulentwicklung und damit der Entwicklung und Sicherung der Qualität schulischer Arbeit.

Ein Schulprogramm ist das grundlegende Konzept, das über die pädagogischen Zielvorstellungen und die Entwicklungsplanung einer Schule Auskunft gibt.

- Es konkretisiert die verbindlichen Vorgaben der Ausbildungsordnungen, Richtlinien und Lehrpläne im Hinblick auf die spezifischen Bedingungen der einzelnen Schule.
- Es bestimmt die Ziele und Handlungskonzepte für die Weiterentwicklung der schulischen Arbeit.
- Es legt die Formen und Verfahren der Überprüfung der schulischen Arbeit insbesondere hinsichtlich ihrer Ergebnisse fest.

Typische Elemente eines Schulprogramms sind:

- (1) Beschreibung der schulischen Arbeit als Ergebnis einer Bestandsaufnahme, Skizze der bisherigen Entwicklungsarbeit**
- (2) Leitbild einer Schule, pädagogische Grundorientierung, Erziehungskonsens**

### **(3) schulinterne Konzepte und Beschlüsse für schulische Arbeitsfelder**

- Schulinterne Lehrpläne  
Hier geht es um Aussagen zur Abstimmung von schuleigenen Lehrplänen, von obligatorischen Inhalten und Unterrichtsmethoden, die bei der Unterrichtsplanung Berücksichtigung finden sollen.
- Konzepte für fachübergreifendes und fächerverbindendes Lernen  
Hierunter sind die fachübergreifenden Projekte, Veranstaltungen, Querschnittsaufgaben zu verstehen, die von den Schülerinnen und Schülern im Rahmen ihres Bildungsganges erfüllt werden können oder erfüllt werden sollen. Gemeint sind aber auch Fächerkoppelungen.
- Konzepte zum Bereich „Lernen des Lernens“  
Hier sind Aussagen zur Vermittlung von Lern- und Arbeitstechniken zu machen, die für die Aufnahme eines Studiums oder einer beruflichen Ausbildung außerhalb der Hochschule erforderlich sind und die im Rahmen des Schulprogramms besonders vertieft werden.

Entsprechende schülerorientierte Unterrichtsformen wie wissenschaftspropädeutische Arbeits- und Darstellungsformen sind sicherzustellen, damit die Schülerinnen und Schüler die geforderten Methoden, Einstellungen, Verhaltensweisen und Arbeitshaltungen erwerben können.

- Vereinbarungen zur Leistungsbewertung  
Hierbei geht es um die systematische Einführung der in den Lehrplänen vorgesehenen Formen der Leistungsbewertung, um gemeinsame Bewertungskriterien und Korrekturverfahren. Es geht ebenso um Vereinbarungen zu Parallelarbeiten und die Verwendung von Aufgabenbeispielen.
- Konzepte für die Erziehungs- und Beratungsarbeit in der gymnasialen Oberstufe  
Hier sind zum Beispiel die Gestaltung des Übergangs in die gymnasiale Oberstufe und die Studien- und Berufswahlvorbereitung zu nennen.
- Konzepte für das Schulleben  
Dazu gehören zum Beispiel Schwerpunktsetzungen im Bereich der Umwelt-erziehung, der interkulturellen Arbeit, Akzente zur Öffnung der Schule, zusätzliche Angebote im Chor, Orchester, Theater, außerunterrichtlicher Schulsport, Studienfahrten und ihre Verflechtung mit dem Unterricht, Schulgottesdienste und religiöse Freizeiten.
- Aussagen zu besonderen Ausprägungen des Bildungsgangs  
Hierzu zählen zum Beispiel die Sprachenfolgen, bilinguale Angebote, naturwissenschaftliche, technische, sportliche, künstlerische oder gesellschaftliche Schwerpunkte der Profile, die Einbeziehung von Wettbewerben, das Angebot besonderer Lernleistungen in die Abiturprüfung einzubringen o. ä..

### **(4) Schulinterne Arbeitsstrukturen und -verfahren**

(Geschäftsverteilungsplan, Konferenzarbeit)

### **(5) Mittelfristige Ziele für die schulische Arbeit**

### **(6) Arbeitsplan für das jeweilige Schuljahr**

## **(7) Fortbildungsplanung**

## **(8) Planung zur Evaluation**

Hier geht es um Aussagen zu Verfahren der Entwicklung und Evaluation des Schulprogramms, die sicherstellen, dass die Schule sich selbst auch Rechenschaft über die Ergebnisse ihrer Unterrichts- und Erziehungsarbeit gibt.

Bestandteile der Evaluation sind Aussagen und Verfahren zur Sicherung der Standards und zur Vergleichbarkeit der Anforderungen in den Schulen.

Schulprogramme spiegeln die Besonderheit einer Schule und zugleich auch ihre Entwicklungsprozesse wider. Sie können und werden daher unterschiedlich aussehen. Unverzichtbar sind jedoch die Programmpunkte, die sich auf den Unterricht und die Erziehungsarbeit der Schule beziehen.

# Lehrplan Physik





# Inhalt

	Seite
<b>1 Aufgaben und Ziele des Faches</b>	<b>5</b>
1.1 Didaktische Konzeption und fachliche Anforderungen	5
1.2 Zusammenarbeit mit anderen Fächern	7
<b>2 Bereiche, Themen, Gegenstände</b>	<b>8</b>
2.1 Bereiche: Herleitung und didaktische Funktion	8
2.2 Zuordnung der Themen und Gegenstände zu den Bereichen des Faches	9
2.2.1 Sachbereiche	9
2.2.1.1 Mechanik	9
2.2.1.2 Elektrik	11
2.2.1.3 Relativitätstheorie	12
2.2.1.4 Thermodynamik	12
2.2.1.5 Atom- und Quantenphysik	13
2.2.2 Fachmethoden	13
2.2.3 Kontexte	15
2.3 Obligatorik und Freiraum	17
<b>3 Unterrichtsgestaltung und Lernorganisation</b>	<b>20</b>
3.1 Grundsätze der Unterrichtsgestaltung	20
3.2 Gestaltung der Lernprozesse	22
3.2.1 Kriterien für die Auswahl von Unterrichtsinhalten	24
3.2.2 Lern- und Arbeitsorganisation im Fach	28
3.2.3 Fachübergreifende, fächerverbindende und projektorientierte Lern- und Arbeitsorganisation	35
3.2.4 Die besondere Lernleistung	39
3.3 Grund- und Leistungskurse	39
3.4 Sequenzbildung	41
3.4.1 Voraussetzungen aus der Sekundarstufe I	41
3.4.2 Die curriculare Aufgabe der Jahrgangsstufe 11	41
3.4.3 Gesichtspunkte zur Sequenzbildung	42
3.4.4 Kurssequenzen	43
3.5 Mädchen und Jungen im mathematisch- naturwissenschaftlich-technischen Unterricht	48

<b>4</b>	<b>Lernerfolgsüberprüfungen</b>	<b>50</b>
4.1	Grundsätze	50
4.2	Beurteilungsbereich „Klausuren“	51
4.2.1	Allgemeine Hinweise	51
4.2.2	Fachspezifische Hinweise zur Aufgabenstellung, Korrektur und Bewertung von Klausuren/Facharbeiten	51
4.3	Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“	54
4.3.1	Allgemeine Hinweise	54
4.3.2	Anforderungen und Kriterien zur Beurteilung der Leistungen im Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“	54
4.3.3	Bildung der Kursabschnittsnote für den Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“	59
<b>5</b>	<b>Die Abiturprüfung</b>	<b>60</b>
5.1	Allgemeine Hinweise	60
5.2	Beschreibung der Anforderungsbereiche	60
5.3	Die schriftliche Abiturprüfung	63
5.3.1	Aufgabenarten der schriftlichen Abiturprüfung	63
5.3.2	Einreichen von Prüfungsvorschlägen	64
5.3.3	Bewertung der schriftlichen Prüfungsleistungen	65
5.3.4	Beispiele für Prüfungsaufgaben in der schriftlichen Abiturprüfung	66
5.4	Die mündliche Abiturprüfung	88
5.4.1	Aufgabenstellung für den ersten Teil der mündlichen Prüfung	88
5.4.2	Aufgabenstellung für den zweiten Teil der mündlichen Prüfung	88
5.4.3	Bewertung der Prüfungsleistungen	89
5.4.4	Beispiele für Prüfungsaufgaben in der mündlichen Abiturprüfung	89
5.5	Bewertung der besonderen Lernleistung	93
<b>6</b>	<b>Hinweise zur Arbeit mit dem Lehrplan</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>96</b>

# 1 Aufgaben und Ziele des Faches

## 1.1 Didaktische Konzeption und fachliche Anforderungen

Der Physikunterricht in der Sekundarstufe I vermittelt wichtige grundlegende Kenntnisse und Qualifikationen, indem er Einsichten in Naturvorgänge eröffnet und für ein besseres Verständnis unserer natürlichen und technischen Umwelt sorgt. Dabei lernen Schülerinnen und Schüler physikalische Sichtweisen kennen und erfahren Möglichkeiten und Grenzen naturwissenschaftlichen Denkens.

Der Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe baut auf dem Physikunterricht der Sekundarstufe I auf und führt die in den Richtlinien und Lehrplänen formulierten Aufgaben und Ziele des Faches fort. Er integriert und vertieft dort begonnene Konzepte (z. B. das Energiekonzept), erweitert und intensiviert die quantitative Erfassung physikalischer Phänomene, präzisiert Modellvorstellungen, thematisiert Modellbildungsprozesse, führt hin zu umfangreicherer Theoriebildung und berücksichtigt verstärkt wissenschaftstheoretische und philosophische Aspekte. Er nutzt in inhaltlicher und zeitlicher Hinsicht in erhöhtem Maße selbstständige und kooperative Arbeitsformen.

Dabei werden vor dem Hintergrund der Zielsetzungen der allgemeinen Bildung sowie der Studierfähigkeit und des Erwerbs von Kenntnissen und Fähigkeiten, die in beruflichen Bereichen und Situationen angewendet oder in diese übertragen werden können, folgende Akzente und Schwerpunkte gesetzt:

- Im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe werden physikalische Erkenntnisse und Methoden erarbeitet, genutzt und reflektiert, wodurch Schülerinnen und Schüler Einblick in die Wissenschaft Physik gewinnen. Zusätzlich werden dabei Verflechtungen zwischen physikalischer Forschung, technischer Anwendung und Gestaltung alltäglicher Lebensbedingungen der Menschen deutlich.
- Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten grundlegende Vorstellungen des naturwissenschaftlichen Weltbildes, die nicht durch andere Formen des Weltzugangs entwickelt werden können. Dabei erfahren sie Physik als eine Form der Erschließung und Modellierung der Welt von ständig zunehmender Bedeutung.
- Der Physikunterricht ermöglicht den Schülerinnen und Schülern zu erkennen, auf welche Weise und mit welchen Folgen Naturwissenschaften und Technik unser Leben beeinflussen. Er macht darüber hinaus einsehbar, welcher persönliche Gewinn hinsichtlich konkreter Welterfahrung und geistiger Welterschließung aus dem Erwerb physikalischer Kompetenzen erwachsen kann.
- Der Physikunterricht leistet durch seinen fachspezifischen Ansatz einen Beitrag zur Wissenschaftspropädeutik. Schülerinnen und Schülern wird die Möglichkeit geboten, sich mit grundlegenden Vorstellungen des naturwissenschaftlichen Weltbildes zu beschäftigen. Neben fachlichen Inhalten und Methoden werden grundlegende allgemeine Fähigkeiten entwickelt, z. B. sich informieren, recherchieren, experimentieren, analysieren, interpretieren, bewerten, referieren und diskutieren.
- Der fachspezifische Ansatz des Physikunterrichts leistet dann einen wesentlichen Beitrag zur allgemeinen Studierfähigkeit und zur allgemeinen Bildung,

wenn die damit eingenommene Perspektive zur Modellierung der Wirklichkeit in ihrer Differenz zu anderen als solche erkannt wird, ihre Grenzen deutlich bewusst sowie die Angewiesenheit des einen Spezialisten auf die anderen und auch auf die Wahrnehmungen der Laien erfahrbar gemacht wird.

- Der Physikunterricht bietet daher Raum für fachübergreifendes Arbeiten. Durch seinen Grundlagencharakter auch für andere Fächer eignet sich der Physikunterricht in besonderer Weise, die Fachgrenzen zu anderen Disziplinen hin zu überschreiten.
- Wissenschaftspropädeutisches Arbeiten im Physikunterricht wird von den Schülerinnen und Schülern als ein spezifischer Zugriff auf Wirklichkeit erlebt und begriffen. In diesem Rahmen werden sie zunehmend mit den Prinzipien und Formen selbstständigen und kooperativen Arbeitens vertraut gemacht und bei der Selbstregulierung ihres Lernens unterstützt. So wird die Fachwissenschaft Physik auch als soziale Praxis erfahrbar, die auf spezifische Weise eine Verständigung über unterschiedliche Positionen und Sichtweisen hinweg ermöglicht. In diesem Sinne fördert der Physikunterricht Kommunikations- und Kooperationsbereitschaft zwischen allen am Unterrichtsprozess Beteiligten.

Aus den vorgenannten Intentionen ergeben sich für den Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe folgende Implikationen:

Untersuchungen physikalischer Fragestellungen beziehen Erfahrungen und Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler aus deren Lebenswelt ein. Der Physikunterricht vermittelt ihnen fachliche Kompetenzen, die es gestatten, sich mit physikalischen Methoden den mithilfe der Physik beschreibbaren Bereich des jeweiligen Wirklichkeitsausschnitts zu erschließen. Darüber hinaus gestattet er, in einer differenzierten Sichtweise fundierte Begründungen und Bewertungen des physikalischen Teilbeitrags zur Klärung des in einem größeren Rahmen angesprochenen Gesamtproblems zu geben.

Die Anbindung von physikalischen Fragestellungen an Erfahrungen und Kenntnissen aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler impliziert fachübergreifende und fächerverbindende Vorgehensweisen, ohne die eine lebenspraktische Bedeutsamkeit der untersuchten Fragestellungen nur schwer erkannt werden kann.

Die Betrachtung und Erschließung von komplexen Ausschnitten der Lebenswelt erfordert in hohem Maße Kommunikations- und Handlungsfähigkeit. In der Schule können diese insbesondere durch die angemessene Berücksichtigung selbstständiger und kooperativer Arbeitsformen gefördert werden.

Zur Erfüllung der Aufgaben und zum Erreichen der Ziele vermittelt der Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe fachliche und fachmethodische Inhalte in Kontexten unter Berücksichtigung von Methoden und Formen selbstständigen und kooperativen Arbeitens. Insgesamt führt diese didaktische Konzeption die drei Dimensionen fachliche Inhalte, Lernen im Kontext sowie Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens zusammen. Diese Dimensionen sind die Lernbereiche des Physikunterrichts. Die weitere Entfaltung der didaktischen Konzeption erfolgt in Kapitel 2.1.

## **1.2 Zusammenarbeit mit anderen Fächern**

Kontextorientierter Unterricht unter Verwendung selbstständiger und kooperativer Arbeitsformen muss wegen seiner inhaltlichen Komplexität, seinem Reichtum an Aspekten und seiner Realitätsnähe notwendigerweise über die engen Fachgrenzen eines jeden Unterrichtsfaches hinausweisen. Die Schülerinnen und Schüler erfahren durch fachübergreifende Zusammenarbeit, dass viele Probleme, in der Schule wie in der außerschulischen Welt, nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit erfolgreich analysiert und gelöst werden können.

Lernen im Kontext wirft Fragen auf, die häufig nicht allein mit den Denkweisen der Physik zu bearbeiten sind, sondern zusätzlich die Denkweisen und Arbeitsmethoden anderer Fachdisziplinen benötigen. Dabei ist fächerverbindendes und fachübergreifendes Arbeiten nicht nur wünschenswert sondern erforderlich.

### **Organisationsformen der Zusammenarbeit**

Das Spektrum der Zusammenarbeit mit anderen Fächern reicht von gegenseitiger Information über die Fachcurricula, über zeitliche Koordinierungen bestimmter Unterrichtsthemen zwischen den Fächern bis hin zu gemeinsamen Projekten oder Unterricht in Fächerkopplungen. Beispiele der Zusammenarbeit werden in Kapitel 3.2.3 angesprochen.

### **Gemeinsame Wege und Methoden des Wissenserwerbs**

Die Zusammenarbeit mit anderen Fächern ist nicht auf fachliche Aspekte beschränkt. Auch hinsichtlich der Wege des Lernens und der fachmethodischen Charakteristika des Wissenserwerbs, der Informationsbeschaffung, -vermittlung und -darstellung sind Parallelen zu vielen Fächern festzustellen, die von Schülerinnen und Schülern erfahren werden sollen.

Eine besondere Bedeutung erhalten in diesem Zusammenhang die Neuen Medien. Den Schülerinnen und Schülern wird heute durch die Verwendung der Neuen Medien auch in der Schule ein schneller Zugriff auf bislang nur schwer erreichbare Wissensbestände ermöglicht. Darüber hinaus erlauben es die Neuen Medien auf bisher nicht zugängliche Methoden der Erkenntnisgewinnung zurückzugreifen. Als Beispiele seien hier genannt die Modellbildung insbesondere für dynamische Systeme, die Simulation vernetzter, komplexer Sachverhalte oder die grafische Präsentation von nicht unmittelbar anschaulichen Modellvorstellungen.

## 2 Bereiche, Themen, Gegenstände

### 2.1 Bereiche: Herleitung und didaktische Funktion

Entsprechend der didaktischen Konzeption bestimmt das Zusammenwirken der Bereiche **Fachliche Inhalte**, **Lernen im Kontext** und **Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens** die Grundstruktur des Physikunterrichts.

#### **Bereich Fachliche Inhalte**

Die fachlichen Inhalte des Physikunterrichts sind die **Sachbereiche** Mechanik, Elektrik, Relativitätstheorie, Thermodynamik und Atom- und Quantenphysik sowie die **Fachmethoden**. Diese bilden die obere Beschreibungsebene der fachlichen Gegenstände und sind als übergeordnete Gliederungseinheiten aufzufassen. Sie benennen in ihrer Gesamtheit die Lerninhalte des Faches Physik in der gymnasialen Oberstufe.

#### **Bereich Lernen im Kontext**

Lernen gründet immer auf vorhandenem Wissen und bestehenden kognitiven Strukturen. Beim Lernen wird vorhandenes Wissen mit neuem Wissen verknüpft. Lernen und Verstehen geschieht in aktiver Auseinandersetzung mit einem für den Lernenden bedeutungsvollen Lerngegenstand. Dabei werden neue Bedeutungen, Handlungsmuster, Strategien und Kompetenzen im Anschluss an vorhandene aus-, um- oder aufgebaut und in die Eigenerfahrung integriert.

Schülerinnen und Schüler lernen besonders erfolgreich, wenn Zusammenhänge mit Vorkenntnissen und Alltagserfahrungen hergestellt werden. Lernen im Kontext ermöglicht dies in besonderem Maße.

Lernen im Kontext eröffnet die Möglichkeit, komplexe, vernetzte Realitätsausschnitte zu betrachten, daraus physikalische Fragestellungen zu gewinnen, diese auf der fachlichen Ebene zu klären und die so gewonnenen Ergebnisse zur Bearbeitung der Ausgangsproblemstellung heranzuziehen. Darüber hinaus erlaubt es, u. a. auch technische, historische, philosophische und gesellschaftliche Fragestellungen aufzuwerfen und anzugehen. Wegen seiner Komplexität und seines Aspektreichtums fördert es fachübergreifendes Denken und führt somit zu einem vertieften Verständnis der Wirklichkeit.

#### **Bereich Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens**

Selbstständiges und kooperatives Arbeiten vermittelt den Schülerinnen und Schülern Kompetenzen für die Anforderungen in Studium und Beruf. Diese Kompetenzen lassen sich nur durch wiederholte und reflektierte Anwendungen entwi-

ckeln. Sie implizieren eine aktive Auseinandersetzung mit den Lerngegenständen. Die dabei verwendeten Arbeitsweisen sind oft fachunabhängig.

Lernen im Kontext bietet wegen seiner Komplexität günstige Voraussetzungen für kooperatives und selbstständiges Arbeiten. Im sozialen Austausch durch Erklären, Verhandeln, Debattieren, gegenseitiges Fragen und Antworten lernen die Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Gedanken und die anderer besser kennen und bauen dabei kognitive Strukturen auf. Durch naturwissenschaftliche Fragestellungen, die nicht unmittelbar eindeutige Lösungen erkennen lassen oder deren Lösungen komplexer Natur sind, ermöglicht man, dass die Schülerinnen und Schüler eigenständige Arbeitsweisen und Lösungsstrategien entwickeln.

Die Ausrichtung einer Unterrichtseinheit auf ein zu erstellendes Produkt schafft für die Schülerinnen und Schüler Möglichkeiten, weitere fachübergreifende bzw. fachunabhängige Fähigkeiten zu erwerben. Beispiele für solche Produkte sind Dokumentation, Wandzeitung, Ausstellung, Recherche, Interview, Rollenspiel, Podiumsdiskussion, Facharbeit und gleichartige Arbeit.

Bezüglich der Entwicklung der fachmethodischen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Schülerinnen und Schüler setzt der Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe die Arbeit in der Sekundarstufe I mit oberstufenspezifischer Akzentuierung fort. Die in Kapitel 2.2.2 dargestellten Fachmethoden weisen dies aus.

## **2.2 Zuordnung der Themen und Gegenstände zu den Bereichen des Faches**

### **2.2.1 Sachbereiche**

Die fünf Sachbereiche des Faches sind durch Themen und weiter durch Gegenstände entfaltet. Die unterschiedlichen Drucktypen der Gegenstände weisen auf die Obligatorik hin, die in Kapitel 2.3 ausführlich erläutert ist. **Fett** sind obligatorische Gegenstände für Grund- und Leistungskurse, **fett-kursiv** sind zusätzliche obligatorische Gegenstände für Leistungskurse und normal gedruckt sind weitere empfohlene Gegenstände dargestellt. Teile der Leistungskursobligatorik können auch durch eine Behandlung der Gegenstände in der Jahrgangsstufe 11 abgedeckt werden.

#### **2.2.1.1 Mechanik**

##### **KINEMATIK UND DYNAMIK DES MASSEN-PUNKTES**

- **Gesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung**
- **träge Masse, Trägheitssatz**
- **Kraft, Grundgleichung der Mechanik**
- **Impuls, Impulserhaltung**
- **Kraftstoß und Impulsänderung**



- Modell des Massenpunktes
- Bezugssystem, Inertialsystem, Galilei-Transformation
- Wurfbewegungen
- **Kreisbewegung, Zentripetalkraft**
- Trägheitskräfte in beschleunigten Bezugssystemen (Zentrifugalkraft, Corioliskraft)

#### ENERGIE UND ARBEIT

- **Lageenergie und Hubarbeit**
- **Bewegungsenergie und Beschleunigungsarbeit**
- **Spannenergie und Spannarbeit**
- **Energieentwertung und Reibungsarbeit**
- **Energiebilanzierung bei Übertragung und Umwandlung – Erhaltung und Entwertung der Energie**
- **Stoßvorgänge**

#### ROTATION DES STARREN KÖRPERS

- Modell des starren Körpers
- Gesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Drehbewegung
- Trägheitsmoment, Drehmoment, Rotationsenergie
- Drehimpuls, Drehimpulserhaltung
- Kreisel (Präzession)

#### GRAVITATION

- astronomische Weltbilder
- Kepler'sche Gesetze, unser Planetensystem
- **Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld, Gravitationsfeldstärke**
- **Energie und Arbeit im Gravitationsfeld, Potential**
- Raketenprinzip, Raumfahrt
- Kosmologischer Ausblick

#### MECHANISCHE SCHWINGUNGEN

- **Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen**
- **harmonische Schwingung**
- **nichtlineare Schwingungen**, Vorhersagbarkeit des Schwingungsverhaltens
- Überlagerung von Schwingungen
- erzwungene Schwingung, Resonanz
- gedämpfte Schwingung, Erzeugung ungedämpfter Schwingungen, Rückkopplung
- gekoppelte Schwingungen

## **MECHANISCHE WELLEN**

- **Entstehung und Ausbreitung von Transversal- und Longitudinalwellen**, Wellengleichung
- **Beugung**, Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung
- **Interferenz von Wellen**, stehende Welle
- Schall als mechanische Welle, Ultraschall, Infraschall
- Eigenschwingungen (Grund- und Obertöne, Synchronisationsphänomene)
- Dopplereffekt

### **2.2.1.2 Elektrik**

#### **LADUNGEN UND FELDER**

- **elektrisches Feld, elektrische Feldstärke E**
- **zentralsymmetrisches Feld, Coulomb'sches Gesetz**
- **potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung, Potential**
- elektrische Feldkonstante
- **elektrische Kapazität**
- Dielektrikum, Dielektrizitätszahl
- elektrisches Feld als Energieträger, Energiedichte
- **magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B**
- **Lorentzkraft**
- magnetische Feldkonstante
- Ferromagnetismus, Permeabilität
- **Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern**
- Erzeugung eines Elektronenstrahls, e/m-Bestimmung
- elektrische Leitungsvorgänge in festen Körpern, Flüssigkeiten und Gasen

#### **ELEKTROMAGNETISMUS**

- **elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz**
- **Selbstinduktion, Induktivität**
- Magnetfeld als Träger von Energie, Energiedichte
- Erzeugung von Wechselspannung
- Transformator, Übertragung elektrischer Energie
- Wechselstromwiderstände, Reihen- und Parallelschaltung, Leistung

#### **ELEKTROMAGNETISCHE SCHWINGUNGEN UND WELLEN**

- **elektromagnetischer Schwingkreis (Grundphänomene, Analogien zum mechanischen Oszillator)**
- Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen, Rückkopplung
- **elektromagnetische Wellen (Ausbreitung, Hertz'scher Dipol, Maxwell'sche Postulate)**

- **Ausbreitung von Licht (Beugung, Interferenz, Reflexion, Brechung, Polarisation)**
- IR- und UV-Strahlung, Strahlungsgesetze
- Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen
- Holographie

### 2.2.1.3 Relativitätstheorie

- Invarianz der Newton'schen Mechanik bei Inertialsystemwechsel
- Ätherhypothese und Michelson-Versuch
- **relativistische Kinematik**
- Erhaltungssätze in der relativistischen Dynamik
- **Äquivalenz von Masse und Energie**
- Invarianz der elektrischen Ladung
- Transformation elektrischer und magnetischer Felder

### 2.2.1.4 Thermodynamik

#### ENERGIEERHALTUNG UND ENERGIEENTWERTUNG

- **1. Hauptsatz der Thermodynamik**
- **Entropie** und **2. Hauptsatz der Thermodynamik**
- **dissipative Strukturen**
- Irreversibilität und Zeitpfeil

#### WÄRMEKRAFTMASCHINEN UND ENERGIEVERSORGUNG

- Wärmekraftmaschinen (Energie- und Entropiestrom, Wirkungsgrad, Kraft-Wärme-Kopplung, Heißluftmotor und Wärmepumpe)
- Kraftwerke
- Energieversorgungskonzepte (konventionelle und regenerative Energien)

#### KINETISCHE GASTHEORIE

- Verhalten von Gasen bei Temperaturänderung, der Temperaturbegriff
- Zustandsänderungen bei Gasen, spezifische Wärmen
- statistische Deutung der Entropie, ihre Bedeutung in anderen Fachgebieten

#### ENERGETIK DER ERDE

- Energieabstrahlung der Sonne
- Energiehaushalt der Erde, Atmosphäre
- Treibhauseffekt, Veränderung des Gleichgewichts

#### NICHTLINEARITÄT UND CHAOS

- Selbstorganisation und dissipative Strukturen

- Symmetrie und Symmetriebruch
- Sensitivität, Kausalitäts- und starkes Kausalitätsprinzip
- Phasendiagramme und Attraktoren
- Feigenbaumdiagramme, Bifurkationen und Selbstähnlichkeit
- Fraktale und fraktale Dimension
- logistisches Wachstum

### 2.2.1.5 Atom- und Quantenphysik

#### ATOMBAU UND KERNPHYSIK

- **Atommodelle**
- **ionisierende Strahlung (Strahlungsarten, Nachweismethoden)**
- **radioaktiver Zerfall** (Zerfallsgesetz, Zerfallsprozesse)
- Spektroskopie (Röntgen-,  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlung)
- **Kernspaltung und Kernfusion (Kernbausteine, Bindungsenergie, Kettenreaktion)**

#### QUANTENEFFEKTE

- **lichtelektrischer Effekt und Lichtquantenhypothese**
- **Linienpektren und Energiequantelung des Atoms**, Bohr'sches Atommodell
- **de Broglie-Theorie des Elektrons**
- **Grenzen der Anwendbarkeit klassischer Begriffe in der Quantenphysik**
- **Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation**
- Quantenobjekte und Messprozesse
- Schrödingergleichung und Anwendungen (Wasserstoffatom, Tunneleffekt)
- Pauli-Prinzip (Spin, Aufbau des Periodensystems)

### 2.2.2 Fachmethoden

Der Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe vermittelt neben der Kenntnis wichtiger physikalischer Phänomene, Begriffe, Gesetze und Modelle mindestens gleichrangig eine Vertiefung und Weiterführung fachspezifischer Methoden und Arbeitsweisen, die insbesondere dazu beitragen, Schülerinnen und Schüler physikalische Sichtweisen sowie Möglichkeiten und Grenzen naturwissenschaftlichen Denkens erfahren zu lassen. Die Fachmethoden werden im Rahmen der kontextorientierten Behandlung der Inhalte der Sachbereiche integrativ vermittelt. Dabei baut der Unterricht auf dem der Sekundarstufe I auf und intensiviert, präzisiert und erweitert die in den Richtlinien und Lehrplänen formulierten Fachmethoden.

So sollen die Schülerinnen und Schüler in der gymnasialen Oberstufe insbesondere folgende Fähigkeiten und Fertigkeiten erreichen:

### **Beobachten, beschreiben, physikalisch fragen**

- Erscheinungen in Natur, Umwelt, Technik und Experiment aus physikalischer Sicht beobachten und Phänomene unter physikalischen Fragestellungen theorie- und modellgeleitet beschreiben und analysieren
- aus Beobachtungen physikalische Fragestellungen entwickeln und formulieren bzw. mit physikalischen Methoden den mithilfe der Physik beschreibbaren Bereich des jeweiligen Wirklichkeitsausschnitts erschließen sowie Arbeitshypothesen aufstellen, überprüfen und modifizieren
- mit Gesprächspartnern unterschiedlicher physikalischer Vorbildung über physikalische Sachverhalte angemessen kommunizieren (adäquate Verwendung von Fach- und Umgangssprache)

### **Experimente planen und durchführen**

- umfangreichere und anspruchsvollere Experimente planen, sorgfältig durchführen und auswerten
- verschiedene Visualisierungsmöglichkeiten der Messwerte kennen, angemessen verwenden und bewerten

### **Physikalische Gesetze und Begriffe erarbeiten**

- anhand der grafischen und rechnerischen Auswertung von Experimenten Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen qualitativ und quantitativ darstellen
- Gesetze finden und sie unter Zuhilfenahme geeigneter Modelldarstellung (Modellbildung) formulieren
- sich sinnvoll und angemessen der verschiedenen Wege der physikalischen Erkenntnisgewinnung bedienen
- physikalische Begriffe bilden

### **Gesetze und Modelle anwenden und reflektieren**

- physikalische Gesetze und Modelle zur Erklärung und Vorhersage von Phänomenen heranziehen
- die Berechtigung, die Zweckmäßigkeit, den Gültigkeitsbereich und die Grenzen von Modellen bewerten
- Gesetze und Modelle anwenden und hinsichtlich ihrer Bedeutung und Tragfähigkeit reflektieren

### **Physikalische Erkenntnisse auf aktuelle außerschulische Probleme anwenden**

- physikalische Erkenntnisse zur Klärung von Problemen der Lebenswelt heranziehen
- den Beitrag der Physik zur Beurteilung und Lösung von Problemen der Umwelt und Technik erkennen und bewerten

## **Die Bedeutung physikalischer Erkenntnisse reflektieren**

- den Einfluss physikalischer Erkenntnisse auf das Weltbild und das Bild vom Menschen reflektieren
- die grundsätzliche Begrenztheit von Inhalt und Bedeutung physikalischer Erkenntnisse erkennen und hinterfragen
- die Wechselwirkung physikalischer Erkenntnisse mit der gesellschaftlichen Entwicklung erkennen

Viele der angesprochenen Methoden sind nicht allein spezifisch für die Physik und den Physikunterricht, sondern werden auch von anderen – insbesondere den anderen naturwissenschaftlichen – Disziplinen angewandt. Diese fachübergreifenden Methoden sind für Schülerinnen und Schüler auch als solche zu verdeutlichen.

### **2.2.3 Kontexte**

Kontexte bilden den Rahmen für die Vermittlung der fachlichen Inhalte und die Entwicklung und Nutzung von Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Die folgenden Beispiele für Kontexte sind im Anhang des Lehrplans entfaltet und kommentiert, um die didaktische Konzeption des Lernens in Kontexten zu konkretisieren:

#### **Mechanik**

- Ein „Forschungsauftrag“
- Teilnahme am Straßenverkehr
- Von Zeiten und Räumen
- Physik und Sport
- Auf der Kirmes – Physik der Fahrgeschäfte
- Himmelsmechanik
- Weltraumfahrt
- Das menschliche Hören und die Wahrnehmung von Schall
- Die Physik in der Musik
- Wasserwellen
- Ultraschall in der medizinischen Anwendung
- Die Welt der Töne
- Die Welt der Farben
- Eine neue Vorstellung vom Licht

#### **Elektrik**

- Auf der Spur des Elektrons
- Bereitstellung, Wandlung und Verteilung elektrischer Energie
- Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübertragung
- Informationsübertragung durch Licht

## **Relativitätstheorie**

- Raumvorstellungen in der vorrelativistischen Physik
- Veränderungen in der Raum-Zeit-Vorstellung
- Umdenken in der Mechanik und in der Elektrizität
- Einsteins Welt

## **Thermodynamik**

- Energieentwertung und Irreversibilität – Die Entropie
- Energie von der Sonne – Energiehaushalt der Erde
- Unsere Atmosphäre – ein Treibhaus
- Wärmekraftmaschinen und Wärmepumpen
- Energietechniken und Energieversorgungskonzepte
- Die Sonne – ein glühender Gasball
- Modellbildung für Gase auf der Mikroebene
- Die Zeitrichtung in der Physik
- Der Flügelschlag des Schmetterlings oder: Die Schwäche des starken Kausalitätsprinzips

## **Atom- und Quantenphysik**

- Woher weiß man, dass Atome existieren?
- Wie kann man Atome untersuchen?
- Erkenntnisse über den Atomkern
- Von klassischen Vorstellungen zur Quantenphysik

Lernen in Kontexten wird in den Kapiteln 2.1, 3.1 und 3.2 bezüglich seiner Bedeutung und der Gestaltung des Unterrichts detailliert beschrieben. Entwicklung und Auswahl von Kontexten, die dieser Aufgabe gerecht werden, sowie deren Zusammenstellung zu Kursequenzen liegen im eigenverantwortlichen Gestaltungsbereich der Lehrerinnen und Lehrer. Dazu kann auf Kontexte zurückgegriffen werden, die im eigenen Unterricht, im Rahmen der Arbeit der Fachkonferenzen an den Schulen, im Rahmen der Lehrerfortbildung bzw. in der fachdidaktischen Literatur entwickelt und möglicherweise bereits erprobt wurden. Es ist zu wünschen, dass die Umsetzung des Lehrplans in die schulische Praxis zur Entwicklung und Erprobung weiterer Kontexte führen wird, die Lehrerinnen und Lehrern in geeigneter Form zur Verfügung gestellt werden.

Einige der dargestellten Kontexte sind im Unterricht mehrfach erprobt, andere wurden auf der Basis von unterrichtlichen Erfahrungen neu konzipiert. Weitere Kontexte sind als Anregung für die unterrichtliche Erprobung zu verstehen, die bisher nicht erfolgen konnte.

Manche Kontexte überschneiden sich bezüglich der fachlichen Inhalte. Sie verdeutlichen, dass fachliche Inhalte in unterschiedlichen Zusammenhängen behan-

delt werden können. In einigen Fällen werden eine ausführliche und eine knappe Fassung für die Behandlung einzelner Themen vorgestellt, um auch in dieser Beziehung die Bandbreite der Möglichkeiten aufzuzeigen. Aus dem gleichen Grunde gibt es in Kapitel 3.4.4 verschiedene Vorschläge für Kurssequenzen. Sie orientieren sich zwangsläufig an den Kontextbeispielen im Lehrplan und sind daher als Beispiele anzusehen. Sie sind dann in dieser Form nicht mehr stimmig, wenn Lehrerinnen und Lehrer, wie es wünschenswert ist, eigene Kontexte entwickeln und umsetzen.

Die Auswahl der Kontextbeispiele erfolgte so, dass das Spektrum der Möglichkeiten der Gestaltung von Kontexten deutlich wird. Es werden einerseits Kontexte vorgestellt, die sich an konkreten Erfahrungen bzw. Erfahrungsmöglichkeiten der Schülerinnen und Schüler orientieren, z. B. Teilnahme am Straßenverkehr und Physik und Sport. Andere, z. B. Unsere Atmosphäre – ein Treibhaus und Energietechniken und Energieversorgungskonzepte, greifen zentrale Probleme unserer Gesellschaft auf und weisen damit auch deutlich über das Fach hinaus. Weitere Kontexte ermöglichen eine näher an der fachlichen Systematik orientierte Erarbeitung von Inhalten, die sich eher der direkten Erfahrung verschließen, aber gerade wegen der damit verbundenen Veränderung des physikalischen Weltbilds im Interessenshorizont der Schülerinnen und Schüler liegen. Dazu gehören z. B. die Kontexte zur Atom- und Quantenphysik und zur Relativitätstheorie. Andere machen deutlich, wie aktuellere, durch die Medien auch bereits einer breiteren Öffentlichkeit gegenwärtige Themen physikalischer Forschung in den Unterricht einbezogen werden könnten, z. B. Der Flügelschlag des Schmetterlings oder: Die Schwäche des starken Kausalitätsprinzips. Einige Kontexte zeigen auf, wie Kenntnisse bzw. Konzepte, die im Unterricht der Sekundarstufe I entwickelt und genutzt wurden, in der gymnasialen Oberstufe weiterentwickelt und vervollständigt werden können, z. B. Das menschliche Hören und die Wahrnehmung von Schall und Energieentwertung und Irreversibilität – Die Entropie.

### **2.3 Obligatorik und Freiraum**

Das Fach Physik wird in der gymnasialen Oberstufe in der Jahrgangsstufe 11 im Grundkurs und in den Jahrgangsstufen 12 und 13 im Grundkurs oder im Leistungskurs unterrichtet. Die verschiedenen Jahrgangsstufen und Kursarten erfordern jeweils spezifische didaktische Konzeptionen. Die in diesem Zusammenhang wichtigen Aspekte sind im Kapitel 3.3 dargestellt.

Unter Berücksichtigung der spezifischen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler entwickeln Lehrerinnen und Lehrer in dem vorgegebenen Rahmen Sequenzen, die die kurs- und jahrgangsstufenblockspezifischen Besonderheiten beachten und die folgenden Rahmenbedingungen berücksichtigen:



## Fachliche Inhalte

Die fachlichen Inhalte des Physikunterrichts sind die **Sachbereiche** Mechanik, Elektrizität, Relativitätstheorie, Thermodynamik sowie Atom- und Quantenphysik (dargestellt im Kapitel 2.2.1) und die **Fachmethoden**, die im Kapitel 2.2.2 ausgeführt werden. Die Einteilung in die Sachbereiche ist eine historisch gewachsene Möglichkeit, Themen und Gegenstände systematisch darzustellen. Sie bedeutet keine Festlegung für die Abfolge von Unterrichtsinhalten. Die Fachmethoden lassen sich in Zusammenhang mit unterschiedlichen Inhalten vermitteln. Ihre Zuordnung zu Inhalten und Kontexten erfolgt daher erst bei der konkreten Unterrichtsplanung. Die in den Sachbereichen **fett** gedruckten Themen und Gegenstände sind für Grund- und Leistungskurse obligatorisch. Ihre Behandlung liefert wichtige Einblicke in das Fach und stellt die Erarbeitung von Grundkenntnissen und Grundfertigkeiten sicher. Die **fett-kursiv** gedruckten Themen und Gegenstände sind **zusätzlich** für Leistungskurse obligatorisch. Alle anderen genannten Themen und Gegenstände sind Vorschläge für mögliche Ergänzungen.

Der Umfang der obligatorischen Themen und Gegenstände ist so festgelegt, dass zu deren Behandlung ein Teil der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit ausreicht. Die verbleibenden Freiräume sind unter anderem dazu zu nutzen, in angemessenem Umfang fortführende bzw. vertiefende Themen und Gegenstände zu ergänzen. Der Unterricht geht also in jedem Fall über die obligatorischen Themen und Gegenstände hinaus.

Wegen der besonderen Bedeutung des Unterrichts in der Jahrgangsstufe 11, u. a. für die weitere Kurswahl, sind dort Aspekte aus zwei oder mehr Sachbereichen zu behandeln. Der Unterricht ist so anzulegen, dass im Laufe der gymnasialen Oberstufe die im Kapitel 2.2.2 genannten **Fachmethoden** in angemessener Progression und sinnvoller Zuordnung zu Themen und Gegenständen in Kontexten vermittelt werden. Die Zuordnung ist bei der didaktischen Konzeption des Kurses festzulegen.

Bei der Sequenzbildung ist besonders darauf zu achten, dass der Modellcharakter der physikalischen Beschreibung der Welt transparent wird, die Konzepte Welle, Teilchen und Feld sachbereichsübergreifend thematisiert werden und der Physikunterricht insgesamt deutlich über die Denkweisen der klassischen Physik hinausweist. Die Sequenzen sind so zu gestalten, dass systematisches kumulatives Lernen vertikal vernetzter Themen und Gegenstände gleichermaßen wie situationsbezogenes Lernen horizontal vernetzter Inhalte im Kontext ermöglicht wird. Weitere wichtige Hinweise sind dem Kapitel 3.4 zu entnehmen.

## Lernen im Kontext

Die Inhalte sind kontextorientiert zu vermitteln. Bei der Planung der Unterrichtssequenzen kann auf die im Lehrplan dargestellten, als Beispiele zu verstehenden Kontexte zurückgegriffen werden. Dabei sind die Möglichkeiten zu nutzen, aktuelle, den Interessen der Schülerinnen und Schüler des jeweiligen Kurses folgende bzw.

neue Entwicklungen berücksichtigende Kontexte für den Unterricht aufzugreifen. In diesem Zusammenhang ist es möglich und notwendig, fachübergreifende und fächerverbindende Aspekte angemessen zu berücksichtigen.

## **Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens**

Der Unterricht ist methodisch so zu gestalten, dass in angemessenem, im Verlauf der gymnasialen Oberstufe zunehmendem Umfang selbstständige und kooperative Arbeitsformen zum Tragen kommen. Die Vorhaben selbstständigen und kooperativen Arbeitens sollten dabei im Laufe des Kurses umfangreicher werden und die in den Kapiteln 2.1 und 3.2 aufgezeigten Möglichkeiten nutzen.

## **Freiraum**

Der eigenverantwortliche Gestaltungsspielraum der Lehrerinnen und Lehrer umfasst die Auswahl und Entfaltung von Kontexten und deren Verknüpfung mit obligatorischen und zusätzlich gewählten Themen und Gegenständen, die Zuordnung der zu vermittelnden und zu nutzenden Fachmethoden und die methodische Gestaltung des Unterrichts. Die Beachtung der Vorgaben und eine erfolgreiche Nutzung der Freiräume ist nur zu erreichen, wenn der Unterricht langfristig geplant wird. Beispiele für derartige Planungen von Kurssequenzen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen sind im Kapitel 3.4 zu finden.

## **Fächerkopplung**

Nach § 8 Abs. 2 APO-GOST kann die Verpflichtung zur Belegung eines naturwissenschaftlichen Faches auch durch die Kopplung eines von der Jahrgangsstufe 11 bis 13 durchgehend zu belegenden zweistündigen naturwissenschaftlichen Faches und eines weiteren zweistündigen Faches aus dem mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Aufgabenfeld erfüllt werden.

Als Grundkurse repräsentieren auch die Kopplungskurse das Lernniveau der gymnasialen Oberstufe unter dem Aspekt einer grundlegenden wissenschaftspropädeutischen Ausbildung. Der Unterricht in diesen zweistündigen Kursen ermöglicht in besonderem Maße fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten, da in beiden Fächern dieselbe Lerngruppe vorhanden ist. Von Anfang an ist eine enge Kooperation in der Fächerkombination anzustreben, um die möglichen Synergieeffekte für eine naturwissenschaftliche Grundbildung und für Zusammenhänge zwischen den Fächern und darüber hinaus zu erreichen.

Die zur Kopplung mit dem Fach Physik in Frage kommenden Fächer haben unterschiedliche fachliche Inhalte und methodische Zugriffsweisen. Daher wird an dieser Stelle keine eigene Obligatorik für Physik als Koppelkurs ausgewiesen. Die Konzeption des zweistündigen Faches Physik in Kopplung mit einem weiteren zweistündigen Fach aus dem mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Aufgabenfeld orientiert sich an der Obligatorik für Grundkurse.

## **3 Unterrichtsgestaltung und Lernorganisation**

### **3.1 Grundsätze der Unterrichtsgestaltung**

Es ist Aufgabe des Unterrichts, das im Bildungsauftrag genannte Hauptziel der gymnasialen Oberstufe realisieren zu helfen, auf Studium und Beruf vorzubereiten. Die Unterrichtsorganisation soll dazu beitragen, dass die Schülerinnen und Schüler auf der Grundlage einer vertieften allgemeinen Bildung

- eine wissenschaftspropädeutische Ausbildung erwerben und
- Hilfen zur persönlichen Entfaltung in sozialer Verantwortung erhalten (vgl. Kapitel 1 der Richtlinien „Aufgaben und Ziele der gymnasialen Oberstufe“).

Wesentliche Bezugspunkte sind die Dimensionen einer wissenschaftspropädeutischen Ausbildung, die in den Richtlinien mit

- dem Erwerb wissenschaftspropädeutischen Grundlagenwissens
- der Entwicklung von Prinzipien und Formen selbstständigen Arbeitens
- der Entwicklung von wissenschaftlichen Verhaltensweisen
- der Ausbildung von Reflexions- und Urteilsfähigkeit umschrieben werden.

Der Unterricht ist so anzulegen, dass diese Ziele erreicht werden können.

Physikunterricht organisiert Lernprozesse in folgenden Aufgabenbereichen:

- Quantitative Erfassung physikalischer Phänomene durch Experiment und Theorie
- Nutzung physikalischer Kenntnisse und Methoden
- Reflexion von Bedeutung und Auswirkungen physikalischer Ergebnisse und Methoden.

Die Prinzipien, denen hierbei gefolgt werden soll, sind im Kapitel 3 der Richtlinien „Prinzipien des Lernens und Lehrens in der gymnasialen Oberstufe“ beschrieben. Hierbei ist sicherzustellen, dass auf der einen Seite eine gut organisierte fachliche Wissensbasis erreicht wird. Dazu gehören Theorien, Fakten, Methoden- und Prozesswissen. Auf der anderen Seite muss eine Balance zwischen fachlichem Lernen und Lernen im Kontext hergestellt werden.

Kontexte bilden den Bezugsrahmen für die Vermittlung fachlicher Inhalte. Sie lenken den Blick der Schülerinnen und Schüler auf Problemzusammenhänge, die für ihr Weltverständnis bedeutsam sind und ihre Neugierde wecken. Die Auswahl der Kontexte hängt von den Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler, ihrer Interessenlage und ihrem Bildungsstand ab. So wird man zu Beginn der Jahrgangsstufe 11 eher einen Kontext aus dem Bereich ihrer Alltagserfahrungen wählen (z. B. Teilnahme am Straßenverkehr), während mit zunehmender wissenschaftspropädeutischer Ausbildung auch innerfachliche Problemzusammenhänge ihre Aufmerksamkeit finden können (z. B. ein kognitiver Konflikt, die Entdeckung analoger Strukturen verschiedener physikalischer Phänomene oder Fragen nach den

Eigenschaften des Lichtes, dem Aufbau der Materie). Im Sinne anhaltender Motivation ist wichtig, dass der Kontext relevante Probleme bereithält, die im Rahmen des Physikunterrichts von den Schülerinnen und Schülern gelöst werden können.

Auswahl und Anordnung der Lerninhalte und der Kontexte bedingen sich wechselseitig. Der Umgang mit den Lerninhalten ist durch eine Schwerpunktsetzung gekennzeichnet, die exemplarisch die gründliche Erarbeitung wesentlicher Erkenntnismethoden ermöglicht. Dazu gehören insbesondere die Quantifizierung physikalischer Zusammenhänge, die Mathematisierung, die Modellbildung und eine differenzierte Theoriebildung. Das problembezogene Lernen in Kontexten wird durch eine Strukturierung der Lerninhalte unterstützt, die den Aufbau ausbaufähigen Wissens in Übereinstimmung mit der Fachsystematik gestattet. Das bedeutet, physikalische Begriffe und Gesetze werden als notwendige bzw. weiterführende Stufen eines problembezogenen Erkenntnisprozesses erarbeitet. Dabei bauen die Schülerinnen und Schüler ein Denk- und Handlungsgerüst auf, das sie befähigt, den Lernprozess aktiv, konstruktiv und methodenkritisch zu vollziehen. Die Kontexte werden so aufeinander abgestimmt, dass sie systematisches Arbeiten und die Erschließung spezifischer Merkmale physikalischer Begriffs- und Theoriebildung in Stufen fortschreitender Komplexität und Abstraktion ermöglichen (vertikaler Transfer). Das Unterrichtskonzept wird so angelegt, dass Gelerntes immer wieder in neuen Kontexten und Problemzusammenhängen Anwendung findet (horizontaler Transfer).

Die kontextorientierte Gestaltung der Lernprozesse ermöglicht in besonders effektiver Form die Entwicklung von Methoden und Formen selbstständigen Arbeitens. Die Schülerinnen und Schüler werden angeregt, Fragen zu stellen und erhalten vielfältige Gelegenheiten, Probleme zu erkennen, fachgerecht zu formulieren und Lösungsstrategien zu entwickeln. Der Unterricht fordert sie in besonderem Umfang zur Hypothesenbildung, zur Planung, Durchführung, Auswertung und Deutung von Experimenten, zur Modell- und Theoriebildung und zu kritischer Methodenreflexion auf. Er gibt ihnen vielfältige Gelegenheiten zur aktiven Auseinandersetzung mit Sachproblemen, die die Anwendung des Gelernten bzw. Transferleistungen verlangen. Dabei werden die Schülerinnen und Schüler gefordert, sich zu informieren, zu recherchieren, zu referieren, zu diskutieren und zu bewerten. Sie erhalten Anregung und Anleitung zur Beschaffung und Nutzung von Informationsmaterial, insbesondere von Fachliteratur, und werden mit den Möglichkeiten der neuen Medien zur Informationsbeschaffung (z. B. Internet) vertraut. Grad und Umfang der geforderten Selbstständigkeit hängen jeweils entscheidend von dem Gerüst physikalischer Kenntnisse und Fähigkeiten ab, über das die Lernenden bereits verfügen.

Die Steuerung des Unterrichts erfolgt im Sinne der Anregung und Förderung strukturierten Lernens. Dabei sollten die Schülerinnen und Schüler angeregt werden, auf der Basis gesicherten Vorwissens ihren eigenen Lernweg zu erproben und zu reflektieren. Bezüglich der gedanklichen Erfassung komplexer Sachverhalte kommt der Art von Unterrichtsgespräch eine zentrale Bedeutung zu, bei der die Gesprächsführung im Sinne der Anregung der Schülerinnen und Schüler zur Entfaltung eigener Ideen und im Sinne der Anleitung zu sorgfältiger, aspektvariiender und kritischer Argumentation erfolgt. Auf der Ebene des Unterrichtsgesprächs wer-

den die Schülerinnen und Schüler intensiv gefordert, den argumentativen, gegenseitigen Gedankenaustausch als wirksame Hilfe auf dem Weg zu einem differenzierten Verständnis physikalischer Zusammenhänge aktiv zu nutzen.

Die problemorientierte Gestaltung des Physikunterrichts in Kontexten erleichtert in variierender Form die Entwicklung kooperativer Arbeitsformen. Komplexe Problem- und Aufgabenstellungen legen in der Regel eine konstruktive Zusammenarbeit nahe. Partner- bzw. Gruppenarbeit bieten sich dann an, wenn die Schülerinnen und Schüler über das notwendige Denk- und Handlungspotential verfügen, um in konstruktiver Weise aktiv werden zu können. Eine überzeugende Problemorientierung fördert dabei die Verständigungs- und Kooperationsbereitschaft. Durch regelmäßige Einbeziehung von Formen kooperativen Lernens lassen sich die Bereitschaft und Fähigkeit entwickeln, das Arbeiten im Team zu organisieren und effektiv zu gestalten.

Die Effektivität des Unterrichts hängt letztlich entscheidend davon ab, inwieweit es gelingt, die Leistungsanforderungen auf die individuelle Schülerpersönlichkeit mit ihren Vorerfahrungen und Interessen, ihren Denk- und Gefühlsstrukturen abzustimmen. Es kommt wesentlich darauf an, die Leistungsanforderungen in denk- und motivationspsychologischer Hinsicht angemessen abzustufen und zu gestalten. Kontextorientierter Physikunterricht ermöglicht in der Regel eine wirksame Binnendifferenzierung, weil er eine große Vielfalt an Denk- und Handlungsschritten fordert.

Zusammengefasst soll sich die Unterrichtsorganisation daran ausrichten, dass

- die individuelle Schülerpersönlichkeit mit ihren Vorerfahrungen, Möglichkeiten und Leistungsdispositionen berücksichtigt wird
- Schülerinnen und Schüler aktiv lernen
- Schülerinnen und Schüler kooperativ lernen
- Vorwissen abgesichert, aufgegriffen und Lernfortschritt ermöglicht wird
- die Aufgabenstellungen komplex sind
- die Aufgabenstellungen auch auf Anwendung und Transfer ausgerichtet sind.

Fachliche Systematik, verbunden mit dialogischen, problembezogenen und fachübergreifenden Lernarrangements, sind die inhaltlichen Bezugspunkte für die Lernorganisation (vgl. Kapitel 3 „Prinzipien des Lernens und Lehrens in der gymnasialen Oberstufe“).

## **3.2 Gestaltung der Lernprozesse**

Der Unterricht folgt einer Gesamtplanung, die schüler-, gegenstands- und methodenorientiert ist. Eine zu enge Steuerung des Lernprozesses ist ebenso zu vermeiden wie eine unstrukturierte Offenheit.

Schülerorientierung bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit haben, im Unterricht an ihren eigenen Erfahrungs- und Lernstand anzuschließen

und dem Leitbild des aktiven und selbstständigen Arbeitens zu folgen. Lernprozesse sind also unter Berücksichtigung der ganzheitlichen Dimension des Lernens an den Voraussetzungen des lernenden Individuums zu orientieren. Für den Physikunterricht in der Schule bedeutet dies, Lernen für die Schülerinnen und Schüler an solche Fragestellungen anzubinden, die es ermöglichen, den Umgang mit den für sie vertrauten Problemen unter der Berücksichtigung physikalischer Gesichtspunkte als persönliche und sinnvolle Erfahrung erlebbar zu machen, um durch ein situationsbezogenes Lernen gleichzeitig die Fähigkeit zur Übertragung des Gelernten auf vielfältige Anwendungssituationen zu fördern (Lernen im Kontext).

Ein wesentliches Ziel schulischen Lernens ist es, Fähigkeiten der Selbstorganisation und Selbstregulation des Lernens zu erwerben: Die Schule muss durch den stetigen Aufbau einer Lernkompetenz der Schülerinnen und Schüler die Voraussetzungen schaffen zu einem später jederzeitigen selbstständigen Weiterlernen. Dies schließt den Aufbau metakognitiver Lernkompetenzen ein (Erarbeitungs- und Einprägungsstrategien sowie das Wissen um deren Nützlichkeit und Nutzbarkeit). Wissensergänzungen und Weiterlernen werden sich zunehmend in sozialen Situationen vollziehen, wozu ein in Gruppen durchgeführter Experimentalunterricht im Fach Physik günstige Voraussetzungen bietet, indem er Verständigungs- und Kooperationsbereitschaft fördert. Auch hier liefert der Physikunterricht einen Beitrag zur Allgemeinbildung, indem er Voraussetzungen für eine verständige und reflexionsfähige Teilhabe am gesellschaftlichen öffentlichen Leben schafft und unterstützt.

Gegenstandsorientierung bedeutet, dass die vorgesehenen Unterrichtsinhalte in einem breiten Wissens- und Anwendungsbereich, wie dies aus den Bereichen des Faches Physik deutlich wird, in einer über die drei Jahre der gymnasialen Oberstufe laufenden Sequenz so aufgebaut werden, dass Wissenszuwachs entsteht und vernetztes Wissen möglich wird.

Die Lernprozesse im Fach Physik orientieren sich an der für das Fach Physik typischen zunehmenden Komplexität. Fortschreitende Systematisierungen, in Verbindung mit wachsender theoretischer Modellbildung auf der Basis des experimentellen Zugriffs auf die Realität, kennzeichnen jeden naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Das hierfür notwendige systematische, langfristig angelegte, kumulative Lernen trägt dazu bei, ein intelligent geordnetes, in sich vernetztes und situativ flexibel anpassbares Wissen entstehen zu lassen.

Zwar ist die Schule selbst ein substanzieller Teil der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler, schulisches Lernen kann jedoch nur dann erfolgreich sein, wenn es über die Schule hinausweist und die Anschlussfähigkeit für zukünftiges Lernen und Weiterlernen sicherstellt. Die Planung von Lernprozessen im Fach Physik verspricht also dann besonders fruchtbar zu sein, wenn es gelingt, eine Abfolge von Kontexten in Verbindung mit deren Inhalten zu benennen, die gleichermaßen ein systematisches Lernen (Ermöglichung eines vertikalen Transfers) wie auch ein situationsbezogenes Lernen im praktischen Umgang mit lebensweltlichen Fragestellungen gewährleistet (Ermöglichung eines horizontalen Transfers).

Methodenorientierung bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler sich die geforderten fachlichen und fachübergreifenden Methoden sowie die notwendigen Arbeitshaltungen und -dispositionen aneignen. Ihnen ist Gelegenheit zu geben, im angeleiteten Dialog innerhalb ihrer Lerngruppe, unterstützt durch planvolle Hilfe seitens der Lehrerin oder des Lehrers, zunehmend auf eine durchaus als wissenschaftlich zu bezeichnende Art und Weise, Vorstellungen und Konzepte weitgehend eigenständig zu entwickeln. Dazu ist ihnen die Chance zum Beschreiten individueller Lösungs- und Lernwege zu geben, es müssen ihre Ideen gewürdigt und entfaltet sowie ihre Kreativität und Flexibilität gefördert und genutzt werden. Von den Schülerinnen und Schülern erfordert dies auch die Erarbeitung von und eine zunehmende Vertrautheit mit fachlichen und fachübergreifenden Methoden sowie die Bereitschaft, sich die dafür notwendigen Arbeitshaltungen und -dispositionen anzueignen.

Der Begriff Unterrichtsmethode umfasst die Summe der Unterrichtsschritte, Arbeitsformen, Lehr- und Lernformen, mit deren Hilfe der Unterricht strukturiert wird. Die Unterrichtsmethoden und -organisationsformen sollen durch die in Kapitel 3.1 dargestellten Grundsätze geprägt sein.

Auf gängige Unterrichtsmethoden (z. B. Lehrervortrag, Unterrichtsgespräch) wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Nachfolgend werden die Verknüpfung von Zielen, Inhalten und Unterrichtsmethoden, d. h. die Lernarrangements beschrieben, die geeignet sind, dem Leitbild des aktiven und selbstständigen Lernens zu dienen und eine Vernetzung des Wissens zu ermöglichen. Die Formen eigenverantwortlichen Lernens und Arbeitens, die die Schülerinnen und Schüler aktiv tätig sein lassen, sind hier von besonderer Bedeutung.

### **3.2.1 Kriterien für die Auswahl von Unterrichtsinhalten**

Der Unterricht in den Jahrgangsstufen 11 bis 13 wird sequenziell aufgebaut. Die fachlichen, fachübergreifenden und methodischen Ziele des Faches sollen am Ende der Jahrgangsstufe 13 erreicht sein.

Auswahl und Aufbau der Unterrichtsinhalte werden durch die Kriterien einer wachsenden Komplexität, einer zunehmenden Theoriereflexion und durch die besondere Berücksichtigung der Möglichkeiten für einen horizontalen wie vertikalen Transfer bestimmt. Folgende Kriterien können bei der Inhaltsauswahl hilfreich sein:

- Der Aufbau der fachlichen Inhalte darf nicht zu einer Stoffhäufung führen. Es gilt das Prinzip des Exemplarischen, das sich auf wesentliche, repräsentative und bedeutsame Fachinhalte beschränkt, die geeignet sind, übertragbare Kenntnisse und Fertigkeiten zu vermitteln.
- Die Auswahl der Unterrichtsinhalte soll so erfolgen, dass Vorwissen aktiviert werden kann. Lernzuwachs und Progression müssen deutlich werden.
- Die ausgewählten Inhalte sollen in fachlicher und fachübergreifender Hinsicht methodisch selbstständiges Arbeiten ermöglichen und entsprechende Kompetenzen progressiv aufbauen und sichern.

Die Wissenschaft Physik ist durch eine stetig zunehmende Vielfalt an Lerninhalten und Methoden gekennzeichnet. Der Erkenntniszuwachs, verursacht durch die Entwicklung der Fachwissenschaft und die gesellschaftliche Relevanz, führt zu einer Stofffülle, die im Unterricht selbstverständlich nicht vollständig erfasst werden kann. Bei der Auswahl der Unterrichtsinhalte für den Physikunterricht wird daher darauf zu achten sein, dass die Schülerinnen und Schüler ein physikalisches Basiswissen und Grundfertigkeiten erlernen können. Dabei ist besonderer Wert darauf zu legen, dass unter Verzicht auf eine fachsystematische Vollständigkeit und unter angemessener sachinhaltlicher Schwerpunktsetzung den Schülerinnen und Schülern hinreichend Zeit gegeben wird, sich ein breites Spektrum an grundlegenden physikalischen Fachmethoden selbstständig und handlungsorientiert anzueignen.

Leider werden für ein tieferes Verständnis vieler neuerer physikalischer Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung Fachkenntnisse vorausgesetzt, wie sie die Schule auch im Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe nicht bereitstellen kann, sodass es kaum möglich erscheint, solche Themen dort anzusprechen. Dies braucht aber nicht dazu zu führen, auf alle neueren Erkenntnisse und Ergebnisse der Fachwissenschaft zu verzichten: Es gibt einige aktuelle Forschungsbereiche, zu denen ein Zugang in der Schule zumindest angebahnt werden kann. Hierbei ist beispielsweise an Ergebnisse aus der phänomenologischen Thermodynamik gedacht sowie an die Dynamik von Systemen mit nichtlinearen Wechselwirkungen (grundlegende Eigenschaften chaotischer Systeme – Selbstorganisation, Selbstähnlichkeit und Bifurkationen – lassen sich nicht nur mit einfachen Experimenten qualitativ verdeutlichen und erarbeiten, sondern können mithilfe des Computers in manchen Fällen sogar weiter gehend quantifiziert werden).

Konkrete Beispiele zur Sequenzbildung finden sich in Kapitel 3.4.

### **Hinweise zu besonderen Materialien und Medien**

Auf die im Physikunterricht verwandten herkömmlichen und allseits bekannten Materialien und Medien sei an dieser Stelle nicht gesondert eingegangen. Eine besondere Rolle kommt jedoch dem Einsatz der Neuen Medien zu, und hier insbesondere dem Einsatz des Computers im Rahmen der Messwerterfassung und -auswertung, im Rahmen der Modellbildung und Simulation sowie als modernem Kommunikations- und Informationsmedium.

### **Messwerterfassung und -auswertung mit dem Computer**

Auf Grund der Leistungsfähigkeit heutiger Schulcomputer können die Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht die Messwerterfassungs- und Auswertungsmethoden kennen lernen, wie sie in Wissenschaft und Forschung zum Alltag gehören. Wenn auch der Einsatz des Computers zusammen mit den zugehörigen Softwarewerkzeugen mittlerweile sehr komfortabel ist, so darf dies insbesondere bei der Messwertauswertung nicht dazu führen, dass Schülerinnen und Schüler die verwendeten Auswertungsmethoden unhinterfragt und ohne die physikalische Richtig-



keit bewerten zu können anwenden. So ist beispielsweise bei einer digitalen Videoanalyse realer Bewegungsabläufe darauf zu achten, dass die Schülerinnen und Schüler jederzeit die Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsdiagramme auch ohne Computerhilfe selbst erstellen können.

Bei der Auswertung von Messdaten kann in der Regel auf Erfahrungen mit Tabellenkalkulationen aus der Sekundarstufe I zurückgegriffen werden. Mit ihnen können die Schülerinnen und Schüler selbstständig Auswertungsmodelle auch zu relativ komplexen Experimenten entwickeln und einsetzen.

### **Modellbildung und Simulation physikalischer Systeme mit dem Computer**

Im Mathematik- und Physikunterricht werden inzwischen verstärkt Computeralgebra-Systeme, dynamische Geometrieprogramme und Tabellenkalkulationen eingesetzt, deren vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Modellbildung und Simulation noch längst nicht voll ausgelotet sind.

Sehr viele physikalischen Systeme sind dynamischer Natur: Sie enthalten zeitlich veränderliche physikalische Größen, die mathematisch durch (meist ein System voneinander abhängiger) Differentialgleichungen beschrieben werden, die aber in vielen Fällen im Unterricht mit den in der gymnasialen Oberstufe zur Verfügung stehenden mathematischen Mitteln nicht gelöst werden können und die daher bisher oftmals die Auswahl der im Unterricht behandelbaren Inhalte notwendigerweise eingeschränkt haben.

Etwa seit dem Beginn der 90er-Jahre stehen computergestützte Modellbildungswerkzeuge zur Verfügung, die nicht nur die Möglichkeit der numerischen Lösung von Differentialgleichungen samt einer vielgestaltigen grafischen Darstellung dieser Lösungen bieten, sondern darüber hinaus eine geeignete grafische wie formale Repräsentation des Modells des zugrunde liegenden Systems erlauben und dadurch zu einer Steigerung der begrifflichen Kompetenz der Schülerinnen und Schüler beitragen:

- Modellbildungswerkzeuge erlauben es, die konkreten physikalischen Fragestellungen selbst interessanter und in gewissen Bereichen aktueller zu gestalten, da sie den Realitätsbezug durch die jetzt mögliche Analyse realitätsnaher physikalischer Systeme sowie die Bearbeitung interessanter Fragestellungen aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler betonen und so auch das Lernen im Kontext unterstützen.
- Modellbildungswerkzeuge fördern das Erkennen physikalischer Abläufe und ihrer zugrunde liegenden Strukturen als ein durch Wechselwirkungen geprägtes systemisches Verhalten physikalischer Größen. Die physikalischen Fragestellungen können auf verschiedenen Ebenen untersucht werden: Die mathematische Formulierung der physikalischen Wechselwirkungen geschieht nicht ausschließlich durch isolierte Gleichungen; vielmehr können die Zusammenhänge der physikalischen Größen untereinander in den Strukturdiagrammen veranschaulicht und somit deutlicher erfahren sowie in variablen grafischen Darstellungen sofort visualisiert werden. Eine solche eher qualitative Beschreibung physikalischer Systeme kann u. U. besser zeigen, ob und inwieweit die wesent-

lichen Wirkungszusammenhänge von den Schülerinnen und Schülern überhaupt richtig verstanden worden sind.

- Modellbildungswerkzeuge ermöglichen eine z. T. deutliche Reduktion der mathematischen Probleme, sodass Schülerinnen und Schüler bei der Untersuchung physikalischer Fragestellungen ihr Augenmerk jetzt auf das Wesentliche richten können, nämlich eine adäquate Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen den Größen in physikalischen Systemen zu finden. Mathematisch gesprochen bedeutet das, die Differentialgleichungen für die zeitlichen Veränderungen der jeweiligen physikalischen Größen begründet aufzustellen (das ist eine Aufgabe der Physik), ganz unabhängig davon, ob diese Gleichungen überhaupt – analytisch – gelöst werden können oder nicht (das ist eine Aufgabe der Mathematik).
- Modellbildungswerkzeuge stellen eine Bereicherung der didaktischen und methodischen Möglichkeiten im Unterricht insofern dar, als Schülerinnen und Schüler mit ihren individuellen Ideen experimentieren können (Förderung der Schülerorientierung), sodass deren Eigenaktivität im Bereich der Theoriebildung unterstützt und gefördert wird.
- Modellbildungswerkzeuge erlauben eine fachlich inhaltliche Bereicherung des Unterrichts: Es lassen sich überkommene Erkenntnisse gezielt in Frage stellen, „unrealistische“ Abwandlungen „realer“ Gesetzmäßigkeiten untersuchen und sogar ansatzweise chaotische Systeme quantitativ modellieren. Modellbildungswerkzeuge werden in vielen Forschungsbereichen eingesetzt, sodass Schülerinnen und Schüler ein wichtiges Werkzeug der Forschung kennen lernen.
- Modellbildungswerkzeuge stellen auf Grund ihrer flexiblen und eleganten Möglichkeiten zu numerischen und grafischen Ergebnispräsentationen ein neues Unterrichtsmedium dar, das neben vielen verschiedenen wichtigen Diagrammformen (Zeit- und Phasendiagramme) auch die Möglichkeit bietet, umfangreiches Datenmaterial problemlos auszuwerten.

Die Methoden der Modellierung physikalischer Systeme können in vielen Fächern genutzt werden. Dadurch können strukturelle Gemeinsamkeiten in ganz verschiedenen Bereichen deutlich werden. Hieraus ergibt sich die Konsequenz, Modellbildungswerkzeuge immer wiederkehrend, bereits in der Sekundarstufe I beginnend, an geeigneten Stellen während des Unterrichts einzusetzen, sodass sie für Schülerinnen und Schüler nicht etwa den Charakter des Besonderen, sondern vielmehr den Charakter eines „alltäglichen“ Werkzeugs erlangen. Darüber hinaus kann aber auch der interdisziplinäre Bereich überschritten werden, indem sie beispielsweise in fachübergreifend angelegten Projekten mit eingebunden werden.

### **Der Computer als modernes Informations- und Kommunikationsmedium im Physikunterricht**

In der jüngsten Vergangenheit hat sich der Computer zu einem beachtenswerten Informations- und Kommunikationsmedium entwickelt, dessen Einsatz auch im Physikunterricht möglich und sinnvoll erscheint. Da z. Zt. gesicherte Erfahrungen noch nicht vorliegen, wird es eine Aufgabe der Lehrerinnen und Lehrer sein, die weitere Entwicklung zu verfolgen und für ihren Unterricht zu bewerten.

Hypertextorientierte und multimediale Arbeitsumgebungen erlauben nicht nur den Zugriff auf bisher kaum verfügbare Wissensbestände im Klassenraum, sondern erschließen neue unterrichtsmethodische Alternativen, die als Bereicherung und Unterstützung der bisherigen Wege anzusehen sind.

Ein besonderer Stellenwert wird zukünftig – eventuell auch im Physikunterricht – den vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten des Internet zukommen. Schülerinnen und Schüler erhalten nicht nur Zugriff auf aktuelle Informationen, vielmehr scheinen die Kommunikation mit Schülerinnen und Schülern anderer Schulen, mit Forschungs- und weiteren Bildungseinrichtungen sowie die interaktive Nutzung entfernter Ressourcen interessante unterrichtliche Möglichkeiten zu eröffnen.

### **3.2.2 Lern- und Arbeitsorganisation im Fach**

Erfolgreiche kumulative Lernprozesse verlaufen im Allgemeinen nicht linear und nicht sequenziell. Die Abfolge der Unterrichtsinhalte richtet sich daher nicht notwendigerweise nach der Fachsystematik, sollte aber einen vertikalen Transfer unbedingt ermöglichen und für Schülerinnen und Schüler deutlich werden lassen.

#### **Fachspezifische Methoden**

Neben der Kontextorientierung ist der wissenschaftliche Erkenntnisprozess ein gestaltendes Prinzip des Physikunterrichts. Auswahl und Abfolge der Unterrichtsinhalte müssen sich daran orientieren, dass die Erarbeitung und die Beherrschung fachspezifischer Methoden, die diese Erkenntnisse abbilden (vgl. Kapitel 2.2.2), Vorrang haben vor einem Aufbau vermeintlich geschlossener Wissensbestände.

#### **Lehr- und Lernformen**

Es ist eine zentrale Frage der Unterrichtsplanung, in welchem Maße die Schülerinnen und Schüler sich die Inhalte und Fachmethoden selbstständig erarbeiten können. Hier haben Lehrerinnen und Lehrer zu prüfen, inwieweit strukturierende und informierende Hilfen unabdingbar sind bzw. inwieweit andererseits die Schülerinnen und Schüler ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten – auch in Abhängigkeit und unter Berücksichtigung der jeweils adäquat erscheinenden Sozialform – weitgehend selbstständig produktiv in den Lernprozess einbringen können.

Die Entscheidung über die jeweilige Unterrichtsmethode wird vor dem Hintergrund der Vermeidung jeglicher Einseitigkeit getroffen. So haben neben dem moderierten Unterrichtsgespräch, dem insbesondere bei der gemeinsamen gedanklichen Erfassung komplexer Sachverhalte eine zentrale Bedeutung zukommt, in speziellen Situationen auch der fragend-entwickelnde Unterricht oder der Vortrag der Lehrkraft, einer Schülerin oder eines Schülers ihre Berechtigung.

Eine weitgehend eigenständige Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit physikalischen Fragestellungen kann durch handlungs- und projektorientierte Arbeitsformen besonders gefördert werden.

### **Das Unterrichtsgespräch**

Die aktive Teilnahme am Unterrichtsgespräch ist Grundlage des fortschreitenden Lehrens und Lernens und dient

- der Verwirklichung fachspezifischer Lernziele
- der Schulung des Diskussionsvermögens
- der Förderung der Kooperations- und Verständigungsbereitschaft
- der Überprüfung des Leistungsstandes.

Die Beiträge zum Unterrichtsgespräch können nach folgenden Formen geordnet werden:

- Diskussionsbeiträge
- Schülervortrag (unvorbereitet, im Gegensatz zum Referat)
- Beiträge in einem Prüfungsgespräch.

Beiträge zum moderierten Unterrichtsgespräch sollten je nach Unterrichtssituation in einer angemessenen Variante initiiert werden. Z. B. ergeben sich im Allgemeinen unmittelbar nach Präsentation eines Gegenstandes spontane Äußerungen und Fragen der Schülerinnen und Schüler, während in der logischen Verarbeitung eines Problems ein freies oder gelenktes Unterrichtsgespräch vorzuziehen sein wird. Günstig lässt sich der Schülervortrag z. B. bei Ergebnissicherungen (Wiederholungen), Arbeitsrückschau, Deutung von Versuchen und Darstellungen von Ergebnissen aus der Einzel- bzw. Gruppenarbeit einsetzen.

### **Gruppenarbeit**

Kontext- und problemorientierter Physikunterricht bietet viele Möglichkeiten zu selbstständigen und kooperativen Arbeitsformen, wobei arbeitsgleiche und arbeitsteilige Partner- oder Gruppenarbeit besondere Bedeutung haben. Schon in der Jahrgangsstufe 11 sollte in diese Arbeitsformen systematisch eingeführt werden.

Die Gruppenbildung kann verschiedene Zielstellungen verfolgen. Ein leitender Aspekt ist dabei die Berücksichtigung unterschiedlicher Lernvoraussetzungen. Homogene bzw. heterogene Leistungsgruppen können in Bezug auf Interesse, Leistungsbereitschaft, Arbeitstempo, Kommunikationsfähigkeit usw. gebildet werden. Um starre Rollenverteilungen innerhalb der Gruppen zu durchbrechen, kann die Gruppenbildung z. B. auch nach dem Zufallsprinzip erfolgen. Weiter eröffnet sich die Möglichkeit, geschlechterspezifischem Rollenverhalten entgegenzuwirken.

Für den Austausch bzw. die Präsentation von Gruppenergebnissen bieten sich je nach Zeitrahmen und Zielsetzung Aktionsformen an, die eine möglichst hohe Beteiligung und Aufmerksamkeit aller Schülerinnen und Schüler sicherstellen. Neben dem eventuell mediengestützten Vortrag einzelner Gruppenmitglieder können auch

andere Formen der Präsentation genutzt werden, z. B. Wandzeitungen oder kleine Ausstellungen mit mündlichen Erläuterungen der Gruppenmitglieder, Interviews, Expertenbefragungen oder Podiumsdiskussionen.

### **Vorbereitung und Durchführung eines Experiments bzw. von Experimentalpraktikumsphasen**

Das Experiment – seine Planung, Durchführung und Auswertung – hat im Physikunterricht einen hohen Stellenwert. Die Schülerinnen und Schüler sollen Experimente nach vorgegebenen Anleitungen bzw. nach eigenen Planungsüberlegungen aufbauen, durchführen und auswerten können. Das selbstständige Experimentieren dient neben der Erkenntnisgewinnung den Zielen,

- geistige und manuelle Arbeiten zu verbinden
- das Verständnis naturwissenschaftlicher Gesetze und Probleme durch Eigentätigkeit zu vertiefen
- die experimentellen Fertigkeiten zu fördern.

Die Aktivierung der Schülerinnen und Schüler zur Vorbereitung und Durchführung von Experimenten geschieht durch

- die Anregung und Anleitung zur Planung des Experimentes
- die aktive Beteiligung einzelner Schülerinnen und Schüler am Aufbau und an der Durchführung von Demonstrationsexperimenten
- die Organisation experimenteller Partner- bzw. Gruppenarbeit, in der die Schülerinnen und Schüler Gelegenheit erhalten, ein Experiment nach Anleitung in eigenverantwortlicher Teamarbeit aufzubauen und durchzuführen.

Darüber hinaus gibt es im Physikunterricht Situationen, in denen es sinnvoll sein kann, außerhalb des Unterrichts einzelne Schülerinnen, Schüler oder Schülergruppen an der Durchführung und Auswertung von Experimenten zu beteiligen. Dies gilt besonders für solche Experimente, deren vollständige Durchführung im Unterricht sehr viel Zeit beansprucht, wenn etwa

- bei einem Experiment ein umfangreiches Messprotokoll aufzunehmen ist (z. B. Millikan-Versuch)
- für eine Messung der Zeitaufwand sehr groß ist (z. B. Bestimmung der Gravitationskonstanten, Messungen mit Ladungen)
- das Experiment umfangreiche Justierungsarbeiten erfordert (z. B. Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit).

Auch Schülerreferate können durch Experimente gestützt werden. Diese Experimente können von Schülerinnen und Schülern selbstständig vorbereitet und durchgeführt werden. Schülerexperimente dienen auch der Vorbereitung auf eine experimentelle Prüfung im Abitur.

In Experimentalpraktikumsphasen (Experimentierphasen über mehrere Unterrichtsstunden) können Schülerinnen und Schüler in kleinen Gruppen nach einer vorgegebenen Aufgabenstellung physikalische Fragestellungen bearbeiten, Experi-

mentiermaterial selbstständig zusammenstellen, mit seiner Hilfe Antworten erarbeiten und den Weg der Erkenntnisgewinnung beispielsweise in Form von schriftlichen Ausarbeitungen präsentieren. Schülerinnen und Schüler erleben dabei wesentliche Arbeitsabschnitte eines naturwissenschaftlich arbeitenden Forschers. In solchen Experimentierphasen können die Schülerinnen und Schüler sowohl arbeitsteilig, sofern die Physiksammlung dies gestattet, als auch insbesondere arbeitsteilig vorgehen. Die gewonnenen Ergebnisse können den anderen Gruppen in Form eines Vortrags vorgestellt, als schriftliches Informationsmaterial verteilt oder auch beispielsweise über das Internet Schülerinnen und Schülern anderer Schulen zur Verfügung gestellt werden.

### **Hausaufgaben**

Hausaufgaben ergänzen die Arbeit im Unterricht. Sie dienen zur Festigung und Sicherung des im Unterricht Erarbeiteten sowie zur Vorbereitung des Unterrichts. Im Einzelnen haben sie folgende Funktionen:

- Schulung der Fähigkeit, einen Sachverhalt mündlich und schriftlich darzulegen
- Erlernen eines zielorientierten Arbeitens
- Einübung fachmethodischer Techniken
- Anwendung von Unterrichtsergebnissen
- Selbstkontrolle der Schülerinnen und Schüler, wie weit sie den behandelten Stoff verstanden bzw. erlernt haben.

Die Hausaufgabe muss begrenzt und klar formuliert sein. Sie muss auch von den Schülerinnen und Schülern erfasst werden, die voraussichtlich Schwierigkeiten mit der Lösung haben werden. Der zeitliche Umfang für das Anfertigen der Aufgabe sollte sich am mittleren Leistungsvermögen der Lerngruppe orientieren.

### **Das Referat**

Das Referat dient dem Fortgang und der Anreicherung des Unterrichts. Es eignet sich besonders zum Erlernen studienvorbereitender Arbeitstechniken und planender Arbeitsverfahren und stellt ein individualisierendes Element in der Unterrichtsplanung und -durchführung dar. Das Referat trägt ferner zur Vorbereitung auf die in der mündlichen Abiturprüfung geforderte Qualifikation des zusammenhängenden Vortrags einer selbstständig gelösten Aufgabe bei.

Im Hinblick auf die Unterrichtsgegenstände bieten sich verschiedene Möglichkeiten für Referate an:

- Unterricht vorbereitende Referate
- Unterricht erweiternde Referate
- Referate zur Aufarbeitung und Wiederholung.

Das Thema des Referats muss sich aus dem Unterrichtszusammenhang ergeben und sein Inhalt den Unterrichtsstoff ergänzen oder vertiefen. Alle Schülerinnen und Schüler müssen durch das Referat notwendige Informationen für den laufenden Unterricht erhalten können. Das Thema muss eindeutig formuliert und so begrenzt sein, dass es in der vorgesehenen Vorbereitungs- und Vortragszeit bewältigt wer-

den kann. Es sollte schriftlich abgefasst und gegebenenfalls durch Vorgabe bestimmter Fachliteratur fixiert werden. Für die Anfertigung des Referats sollte ein Zeitraum von höchstens zwei Wochen ausreichend sein. Die Vortragszeit sollte in der Regel bis zu etwa 15 Minuten betragen.

Referate können an freiwillige oder an von der Lehrerin bzw. dem Lehrer benannte Referenten vergeben werden. Es ist nicht notwendig, dass in einem Kurshalbjahr jede Schülerin und jeder Schüler ein Referat hält. Es ist jedoch möglich, ein Thema an zwei Schülerinnen bzw. Schüler zu vergeben, die sich im Vortrag abwechseln bzw. gegenseitig ergänzen.

Schülerinnen und Schüler beherrschen die Technik des freien Referierens nicht selbstverständlich, sie muss über die Dauer der Kurse in der gymnasialen Oberstufe stetig eingeübt werden. Vorträge von Hausaufgaben sind eine wichtige Vorübung für den Vortrag des selbst erarbeiteten Referats.

Ein Referat wird möglichst an dem Tag, für den es vorgesehen ist, im Unterricht eingesetzt werden. Im Anschluss an das Referat erhalten die Mitschülerinnen und Mitschüler Gelegenheit zur Rückfrage und Diskussion. Zwischenfragen sollten nur im Ausnahmefall zugelassen werden.

## **Das Protokoll**

Das Anfertigen von Protokollen gehört zu den studienvorbereitenden Arbeitstechniken. Hierbei üben die Schülerinnen und Schüler konzentriertes Zuhören, Erfassen bzw. Ordnen von Argumentationsabläufen oder Diskussionsbeiträgen, Zusammenfassen von Ergebnissen und die Umsetzung in geeignete sprachliche Formulierungen. Protokolle können als grundlegendes Material für Wiederholungen, vergleichende Betrachtungen oder neue Überlegungen im Unterricht nutzbar gemacht werden.

Für den Physikunterricht kommen folgende Arten von Protokollen in Betracht:

- Ergebnisprotokoll
- Verlaufsprotokoll
- Protokoll des Diskussionsprofils
- Versuchsprotokoll.

Das Verlaufsprotokoll soll den Gang der Unterrichtsstunde, z. B. die unterrichtliche Erarbeitung eines Themas oder die Entwicklung und Lösung eines Problems, in wesentlichen Zügen wiedergeben. Das Protokoll des Diskussionsprofils nimmt aus dem Gang der Unterrichtsstunde diejenigen Beiträge heraus, die die Diskussion entscheidend bestimmt haben. Es macht die unterschiedlichen Standpunkte und ihre Begründung deutlich. Im Versuchsprotokoll wird ein Experiment bzw. eine Messreihe in den wichtigsten Schritten und Ergebnissen festgehalten. Der Versuchsaufbau wird – gegebenenfalls anhand von Skizzen – beschrieben. Die Arbeitshypothesen und Versuchsbedingungen werden genannt. Der Verlauf des Experiments wird präzise wiedergegeben. Die Messdaten werden in geordneten Reihen aufgeführt und graphisch dargestellt.

Der Schwerpunkt des Erlernens der für Protokolle erforderlichen Arbeitstechniken soll in der Jahrgangsstufe 11 liegen. Darüber hinaus bleibt es der Entscheidung der Lehrerin bzw. des Lehrers überlassen, wann sie/er es für sinnvoll hält, die Schülerinnen und Schüler mit Protokollen zu beauftragen. Nach Möglichkeit sollten jede Schülerin und jeder Schüler einer Kursgruppe Gelegenheit zur Anfertigung eines Protokolls erhalten. Dabei können mehrere Protokollantinnen oder Protokollanten für eine Unterrichtsstunde bestimmt werden. Protokoll und Protokollantin/Protokollant sollen jeweils zu Beginn der Stunde festgelegt werden. Wenn ein Protokoll (bzw. Protokolle) angefertigt worden ist (sind), dann sollte dieses (bzw. wenigstens ein Protokoll) zu Beginn der folgenden Unterrichtsstunde verlesen und besprochen werden.

### **Fachinterne Projektphasen**

Projektphasen bieten Schülerinnen und Schülern mehr Freiraum hinsichtlich Mitbestimmung der Problemstellungen sowie Mitgestaltung und Auswahl der Mittel und Wege der Erkenntnisgewinnung. Während fächerverbindende Problemstellungen in besonders geeigneter Form während schulinterner Projektstage oder Projektwochen bearbeitet werden können, gibt es auch im Physikunterricht selbst die Möglichkeit zu projektartigem Arbeiten. Projektphasen bieten insbesondere die Gelegenheit zur Teamarbeit. Die Leitfragen sind aus dem gemeinsamen Unterricht heraus zu entwickeln.

### **Facharbeiten**

Während Praktikums- und Projektphasen eher die Arbeit in einer Gruppe erfordern, kann mit Facharbeiten die Möglichkeit genutzt werden, individuelle und selbstständige Arbeitsformen einzubeziehen. Wissenschaftspropädeutisches Lernen zielt darauf ab, die Schülerinnen und Schüler mit den Prinzipien und Formen selbstständigen Lernens vertraut zumachen. Facharbeiten sind hierzu besonders geeignet. Jede Schülerin bzw. jeder Schüler soll im Verlauf der Schullaufbahn eine Facharbeit anfertigen.

Facharbeiten ersetzen in der Jahrgangsstufe 12 nach Festlegung durch die Schule je eine Klausur für den ganzen Kurs oder für einzelne Schülerinnen und Schüler. Eine Facharbeit hat den Schwierigkeitsgrad einer Klausur; sie soll einen Schriftumfang von 8 bis 12 Seiten (Maschinenschrift) nicht überschreiten. Gleichartige Arbeiten gehören zum Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“.

Die methodischen Anforderungen an eine Facharbeit und gleichartige Arbeiten sind im Unterricht vorzubereiten. Unter Umständen ist es zweckmäßig, wenn diese Aufgabe nach Absprache in der Schule vom Fach Deutsch übernommen wird.

Die Inhalte und Themen von Facharbeiten und gleichartigen Arbeiten im Fach Physik können sich einerseits auf Bereiche beziehen, die unmittelbar mit den im Unterricht behandelten Themen zusammenhängen oder direkt aus dem Unterricht hervorgehen, darüber hinaus aber auch auf solche Bereiche, deren Ansprache zwar vorrangig dem Fach Physik zuzuordnen ist, die aber über das im Unterricht Be-



sprochene hinausgehen und eine in besonderem Maße eigenständige Aufbereitung durch die Schülerinnen und Schüler verlangen. Facharbeitsthemen können auch in Verbindung mit Exkursionen, beispielsweise in naturwissenschaftliche Museen (Deutsches Museum usw.), vergeben werden. Facharbeiten und gleichartige Arbeiten bieten auch Gelegenheit, fachübergreifende Aspekte zu berücksichtigen.

Man wird sich als Lehrerin oder Lehrer hinsichtlich des Anspruchsniveaus bei der Themenfindung von Facharbeiten oder gleichartigen Arbeiten im Verlaufe der gymnasialen Oberstufe auch daran orientieren, dass die Schülerinnen und Schüler erst zunehmend Erfahrung mit der Anfertigung solcher Arbeiten sammeln müssen.

Als Beispiele für Facharbeiten im Fach Physik seien genannt:

- **Ballbewegungen in der Luft**  
Die direkte Verwandlung eines Eckstoßes beim Fußballspiel. Struktur der Oberfläche eines Golfballes. Flatterangaben beim Volleyball. Luftströmung. Wirbel.
- **Der Hubschrauber**  
Drehimpuls und -erhaltungssatz. Warum braucht ein Hubschrauber mindestens zwei Rotoren? Profil und Anstellwinkel der Rotorblätter.
- **Bewegungen auf der Erde**  
Corioliskraft: Entstehung von Zyklonen und Antizyklonen. Kräfte der fließenden Gewässer. Fluglinien. Entstehung der Gezeiten.
- **Das Hören**  
Das Orten von Geräuschen mit und ohne Laufzeitdifferenzen (Laufzeit- und Lautstärkeunterschiede; Bedeutung der Ohrmuschel für die individuelle „Verzerrung“ des wahrgenommenen Schalls). Fourieranalyse. Wahrnehmung von Klängen. Biologische und physiologische Grundlagen.
- **Menschlicher Körper und elektrischer Strom**  
Beschreibung der Wirkung des elektrischen Stroms auf den menschlichen Körper. Wie funktioniert das Verfahren zum Schreiben eines EKG/EEG? Was versteht man unter Elektromog und wie kommt es dazu?
- **Die „magnetische Flasche“**  
Qualitative (bzw. halbquantitative) Erklärung der Wirkung geeigneter inhomogener magnetischer Felder auf elektrisch geladene Teilchen. Erklärung der Wirkung des Van-Allen-Gürtels der Erde sowie der Funktionsweise magnetischer Linsen. Computersimulation für die Bahnkurven geladener Teilchen in einer „magnetischen Flasche“. Darstellung der Bahnkurven elektrisch geladener Teilchen in einem inhomogenen (radialsymmetrischen) magnetischen Feld mithilfe eines grafikorientierten Modellbildungswerkzeugs.
- **Treibhauseffekt auf der Erde**  
Computermodelle und –simulationen.

Darüberhinaus sind viele Facharbeitsthemen, denen experimentelle Untersuchungen zu Grunde liegen, möglich.

### **3.2.3 Fachübergreifende, fächerverbindende und projektorientierte Lern- und Arbeitsorganisation**

#### **Begriffsdefinitionen**

Fachübergreifender Unterricht findet zunächst im Fach selbst statt; er besteht aus dem „Blick über den Tellerrand“ in Gestalt von Exkursen oder der Reflexion der fachlichen Fragestellung und ihrer Plausibilität und Grenzen. Die Lehrerin oder der Lehrer verweist aus seinem Fachunterricht hinaus auf Themen, die über die Grenzen des Faches reichen und für dieses, aber auch für andere Fächer von Belang sind oder verwandte Elemente, Themen, Perspektiven anderer Fächer assoziieren.

Fächerverbindender Unterricht besteht in der themen- oder problembezogenen Kooperation zweier oder mehrerer Fächer, wenn es gilt, „quer liegende“ Themenstellungen unter verschiedenen Fachperspektiven und -kategorien zu betrachten und dabei mehr als nur die Summe von Teilen zu erkennen. Fächerverbindender Unterricht ist organisatorisch und planerisch aufwändig. Er kann in den Schwerpunkten eines Schulprofils entwickelt werden. Da die Schülerinnen und Schüler in der gymnasialen Oberstufe an einer übergreifenden Veranstaltung teilnehmen sollen, müssen die Schulen, sofern sie keine Fächerkopplungen aufweisen, entsprechend langfristig planen.

Projektorientierter Unterricht ist anwendungsbezogen, kurzphasig, kompakt, produktorientiert. Er muss in der Themenstellung erkennbar „besonders“ und machbar sein. Er kann im Fach selbst oder fächerverbindend stattfinden.

Projektorientiertes Lernen ist eine Erweiterung eines handlungsorientierten Ansatzes. Während projektorientiertes und handlungsorientiertes Lernen den Schülerinnen und Schülern einen handelnden Umgang mit den Lerngegenständen und Inhalten, ein praktisches und denkendes Nachvollziehen ermöglicht, ist die Organisation, die Komplexität des Problems, die gesellschaftliche Relevanz, die Selbstständigkeit und Eigenverantwortlichkeit in der Planung und Durchführung aufseiten der Schülerinnen und Schüler und die kollektive und kreative Realisierung in projektorientiertem Unterricht weiter reichend. Als weitere Elemente kommen die auf die Schülerinnen und Schüler abgestimmte Bedürfnis- und Situationsbezogenheit der Fragestellungen, eine Interdisziplinarität im Sinne von fachübergreifend oder fächerverbindend und eine kooperative Planung von Lehrenden und Lernenden hinzu.

Auch wissenschaftspropädeutisches Arbeiten kann durch Projektunterricht gefördert werden, weil Schülerinnen und Schüler hier die Möglichkeit haben, sich über einen längeren Zeitraum selbstständig vertieft mit einem bestimmten Problem zu beschäftigen. Bezogen auf die methodische und inhaltliche Ausgestaltung eines projektorientierten Unterrichts lassen sich zwischen einem rein prozessorientierten Projekttyp auf der einen Seite und einem überwiegend produktorientierten Projekttyp auf der anderen Seite vielfältige Formen denken:

Ein überwiegend prozessorientiertes Projekt rückt Themenfindung, Planung, Realisierung und die Interaktion der Lernenden in den Mittelpunkt. Der Weg, das Kennenlernen und Einüben von Arbeitsverfahren, wie beispielsweise die Fragestellung physikalisch zu beschreiben und geeignete Experimente zu entwickeln, sind das Hauptziel der Arbeit. Das Ergebnis der Untersuchung kann zu Beginn der Arbeit nicht unbedingt vorausgesagt werden. Methoden wie Beobachten, Untersuchen, Experimentieren, aber auch Recherchieren in Archiven, Bibliotheken und Datenbanken, Durchführen sowie Planen und Organisieren der gesamten Projektarbeit werden zum Gegenstand des Projektes. Mit der selbstständigen Entscheidung über die Anwendung der Methoden lernen die Schüler und Schülerinnen über das eigene Tun, aber auch über die Angemessenheit und Aussagekraft der Methoden zu reflektieren.

Ein überwiegend produktorientiertes Projekt hat von Anfang an das angestrebte Ergebnis oder das zu schaffende Produkt als Ziel vor Augen. Ein solches Projekt könnte z. B. die inhaltliche Vorbereitung und Durchführung einer Podiumsdiskussion zu Themen wie „Energieverbrauch“ und „Elektromog“ oder aber auch die Durchführung eines kleinen „Forschungsauftrags“ sein. Bei dieser Art von Projekt lernen die Schülerinnen und Schüler Arbeitsverfahren kennen, die sie vorher wenig oder gar nicht kannten. Da das zu schaffende Produkt vorher feststeht, haben die Arbeitsverfahren vorwiegend dienende Funktion.

Fächerverbindender Projektunterricht findet in übergreifenden Projektveranstaltungen statt. Diese Veranstaltungsform soll den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, erlernte Arbeitsmethoden aus unterschiedlichen Fachbereichen selbstständig auf ein komplexes Problem zu beziehen und ein Problem aus der Perspektive mehrerer Fächer zu sehen. Projektveranstaltungen bieten auch die Gelegenheit zur Teamarbeit. Diese Veranstaltungen sind unter bestimmten vorher festgelegten Leitfragen langfristig aus dem Fachunterricht heraus zu entwickeln. Die von den Schülerinnen und Schülern erbrachten Leistungen werden im Rahmen der „Sonstigen Mitarbeit“ beurteilt.

Da solche Projektveranstaltungen stufenspezifische Ziele verfolgen, sind sie im Hinblick auf die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der Regel auf eine Jahrgangsstufe oder auf die gymnasiale Oberstufe zu beschränken.

## **Organisationsformen und Beispiele für fachübergreifenden, fächerverbindenden, projektorientierten Unterricht und übergreifende Projektveranstaltungen**

### **Fachübergreifender Unterricht im Fach Physik**

Wie aus der Darstellung der in Kapitel 2 benannten und im Anhang entfalteten Kontexte hervorgeht, bietet der Physikunterricht auf Grund seiner mannigfachen Querbezüge zu anderen Fachbereichen viele Möglichkeiten, Schülerinnen und Schülern über die Grenzen des eigenen Faches hinaus zu verdeutlichen, inwieweit die im Fachunterricht erarbeiteten Grundlagen anderswo Anwendung finden und dort zum Verständnis umfassenderer Probleme beitragen können. Die folgende Liste zeigt Beispiele, wie fast zu allen anderen Schulfächern sowie zu Bereichen aus

der außerschulischen Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler Beziehungen bestehen. Die angeführten Bezüge sind jeweils exemplarisch und in keiner Weise vollständig.

- **Mathematik**  
zur Mathematik – als bedeutendster Hilfswissenschaft für die Physik – bestehen natürlicherweise sehr enge Verbindungen, die durch eine umfangreiche Nutzung mathematischer Methoden im Physikunterricht und physikalischer Kontexte im Mathematikunterricht gekennzeichnet sind
- **Chemie**  
Physik als grundlegendes Erklärungsprinzip chemischer Prozesse, Modellvorstellungen über Atome
- **Biologie**  
Photometrie, Grundlagen der Messmethoden in Biologie (Elektronenmikroskopie), Wahrnehmungsphysiologie, radioaktive Strahlung (Wirkung, Altersbestimmung)
- **Informatik**  
Nutzung der Informationstechnologie für Informationsvermittlung und -beschaffung sowie Verarbeitung und Präsentation von experimentellen Daten
- **Technik**  
physikalische Wirkungszusammenhänge als unabdingbares Funktionsprinzip technischer Systeme
- **Erdkunde**  
Grundlagen der Geologie, Wetterkunde
- **Deutsch**  
Auseinandersetzung mit physikalischen Weltbildern und Sichtweisen in der Literatur
- **Geschichte**  
Interdependenz zwischen physikalischer Forschung und Entscheidungen in der Politik
- **Sport**  
Analyse und Beschreibung von Bewegungsformen
- **Musik**  
Grundlagen der Akustik, Physik der Musikinstrumente
- **Kunst**  
Kinetik, Holographie
- **Philosophie**  
Entstehung und Wandel von Weltbildern, Wissenschaftstheorien, Metakognition
- **Religionslehre und Ethik**  
Auswirkungen des physikalisch Machbaren, Abschätzung von Technologiefolgen
- **Mehr als zwei Fächer übergreifend:**
  - systemdynamische Gemeinsamkeiten verschiedener Systeme aus verschiedenen Fachbereichen
  - mehrstufiger radioaktiver Zerfall, chemisches (Fließ-) Gleichgewicht
  - naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden

- Außerschulische Fachbereiche ansprechend:
  - Medizin (physikalische Grundlagen in der Diagnostik und Therapie)
  - Rechtsprechung (physikalische Grundlagen gutachterlicher Tätigkeiten).

Solche Querverbindungen können sowohl oft bereits innerhalb einzelner Phasen während einer Unterrichtsstunde als auch über etwas längere Zeiträume innerhalb einer gesamten Unterrichtsreihe aufgezeigt werden. Eine besondere Betonung erfährt das Aufzeigen von Bezügen zu anderen Bereichen, wenn zu speziellen Fragestellungen beispielsweise Experten in den Unterricht eingeladen oder mit der Lerngruppe außerschulische Einrichtungen aufgesucht werden können.

### **Projektorientierter Unterricht im Fach Physik**

Projektphasen bieten Schülerinnen und Schülern mehr Freiraum hinsichtlich Mitbestimmung der Problemstellungen sowie Mitgestaltung und Auswahl der Mittel und Wege der Erkenntnisgewinnung.

In den Richtlinien ist vorgesehen, dass alle Schülerinnen und Schüler im Verlauf der gymnasialen Oberstufe an einer umfangreichen Projektveranstaltung teilnehmen. Eine solche Veranstaltung ist unter bestimmten vorher festgelegten Leitfragen langfristig aus dem Fachunterricht heraus zu entwickeln. Projekttage oder Projektwochen sollen den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, erlernte Arbeitsmethoden selbstständig anzuwenden und ein Problem aus der Perspektive mehrerer Fächer zu sehen. Sie bieten für Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, weitgehend selbstbestimmt, selbstständig und in Kooperation mit anderen, den Weg von der Beschaffung von Informationen bis hin zur Präsentation ihres Produkts zu gehen. Diese Organisationsform erlaubt es Schülerinnen und Schülern, sich neben der Erfahrung mit interdisziplinärem Vorgehen im Verlauf der kontinuierlichen Arbeit in einer Gruppe soziale Kompetenzen anzueignen.

Während sich eine projektorientierte Unterrichtsform für Projekttag oder Projektwochen als selbstverständlich anbietet, kann diese Unterrichtsform aber auch im Fachunterricht Physik berücksichtigt werden, wie beispielsweise bei der Durchführung eines kleinen „Forschungsauftrags“ oder insbesondere in Verbindung mit Experimentalpraktikumsphasen. Die Schülerinnen und Schüler erhalten dabei einen Arbeitsauftrag, der als Ziel die Klärung eines bestimmten physikalischen Sachverhalts hat. Ein möglicher Lösungsweg ist innerhalb einer kleinen Gruppe zu erarbeiten, gegebenenfalls experimentell zu prüfen, schriftlich zu dokumentieren und den anderen Mitgliedern der Lerngruppe vorzustellen.

### **Fächerverbindender Unterricht**

Fächerverbindender Unterricht bedarf der sorgfältigen, langfristigen Abstimmung aller beteiligten Lehrerinnen und Lehrer. Mögliche Organisationsformen variieren zwischen der Abstimmung der Inhalte und Methoden zwischen zwei oder mehreren Fächern über die zeitgleiche Arbeit verschiedener Fächer an einem Thema oder Themenschwerpunkt in einzelnen Kursabschnitten parallel geblockter Kurse bis hin zu langfristig angelegten Fächerkopplungen.

Solche Fächerkopplungen erlauben die Zusammenarbeit mehrerer Fächer zu gemeinsamen Themen. Institutionalisierte Kopplungen, wie sie in Profiloberstufen existieren, bieten gute Möglichkeiten zu langfristigen Themenabsprachen, sodass Schülerinnen und Schüler in den Fächern eine komplementäre Sichtweise zum jeweiligen Thema erfahren können.

Im Einzelfall bedarf es der Zusammenarbeit und besonderen Abstimmung der beteiligten Fachkonferenzen, da viele der möglichen gemeinsamen Themenschwerpunkte von den verschiedenen Fächern häufig in unterschiedlichen Jahrgangsstufen behandelt werden.

Konkrete Anhaltspunkte für geeignete Themenschwerpunkte können ebenfalls aus der aufgeführten Liste zum fachübergreifenden Unterricht gewonnen werden.

### **3.2.4 Die besondere Lernleistung**

Mit der besonderen Lernleistung (vgl. Kapitel 5.5) sollen herausgehobene Leistungen, die Schülerinnen und Schüler zusätzlich erbracht haben, im Rahmen der für die Abiturprüfung vorgesehenen Punktzahlen auch zusätzlich honoriert werden. Es muss sich um eine herausragende Leistung handeln. Dies hat auch in Art und Umfang der Darstellung bzw. Dokumentation seinen Niederschlag zu finden. Die Kultusministerkonferenz hat als äußerliche Anhaltspunkte für die Wertigkeit den Rahmen bzw. Umfang eines mindestens zweisemestrigen Kurses – dies entspricht dem Äquivalent von maximal 60 Punkten – genannt.

Eine besondere Lernleistung kann z. B. sein: ein umfassender Beitrag aus einem von den Ländern geförderten Wettbewerb, das Ergebnis eines über mindestens ein Jahr laufenden fachlichen oder fachübergreifenden Projektes. Es kann sich auch um eine größere Arbeit handeln, die sich aus dem Fachunterricht ergeben hat. Die besondere Lernleistung muss in Qualität und Umfang eine Facharbeit deutlich überschreiten. Sie soll außer- und innerschulische Möglichkeiten außerhalb des Unterrichts erschließen, etwa in experimentellen Untersuchungen, in der Arbeit in Archiven, Bibliotheken oder im Internet. Das Vorhaben soll eine klare Aufgabenstellung und eine nachvollziehbare Ausführungsebene haben (z. B. Produkt, Recherche, Versuch, Auswertung, Reflexion).

## **3.3 Grund- und Leistungskurse**

Grund- und Leistungskurse tragen gleichermaßen dazu bei, das Ziel der Studierfähigkeit zu erreichen.

Grundkurse repräsentieren das Lernniveau der gymnasialen Oberstufe unter dem Aspekt einer grundlegenden wissenschaftspropädeutischen Ausbildung. Sie sollen

- in grundlegende Fragestellungen, Sachverhalte, Problemkomplexe, Strukturen und Darstellungsformen des Faches einführen

- wesentliche Arbeitsmethoden des Faches vermitteln, bewusst und erfahrbar machen
- Zusammenhänge im Fach und über dessen Grenzen hinaus in exemplarischer Form erkennbar werden lassen.

Leistungskurse repräsentieren das Lernniveau der gymnasialen Oberstufe unter dem Aspekt einer exemplarisch vertieften wissenschaftspropädeutischen Ausbildung. Sie sind gerichtet

- auf eine systematische Beschäftigung mit wesentlichen, die Komplexität und den Aspektreichtum des Faches verdeutlichenden Inhalten, Theorien und Modellen
- auf eine vertiefte Beherrschung der fachlichen Arbeitsmittel und -methoden, ihre selbstständige Anwendung und theoretische Reflexion
- auf eine reflektierte Standortbestimmung des Faches im Rahmen einer breit angelegten Allgemeinbildung und im fachübergreifenden Zusammenhang.

Beide Kursarten basieren unverzichtbar auf dem Grundkursunterricht der Jahrgangsstufe 11.

Die Kursarten erfordern eigene Schwerpunktsetzungen, die zu unterschiedlichen didaktischen Konzeptionen führen. Allen Kursarten gemeinsam ist die Förderung und Entwicklung grundlegender Kompetenzen als Voraussetzung für Studium und Beruf (siehe Kapitel 3.2).

Kurse in der Jahrgangsstufe 11 erarbeiten die fachlichen und methodischen Grundlagen, auf denen Grund- und Leistungskurse in den Jahrgangsstufen 12/13 aufbauen. Dies impliziert insbesondere die Angleichung unterschiedlicher Eingangsvoraussetzungen aus der Sekundarstufe I.

In allen Kursen wird daher folgenden Aspekten besondere Aufmerksamkeit gewidmet:

- Orientierung an der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler
- behutsame Abstraktion unter Einbeziehung der Schülervorstellungen
- Verdeutlichung des Aspektcharakters der Physik durch Perspektivenwechsel in fachübergreifenden und fächerverbindenden Kontexten
- Entwicklung der Eigentätigkeit und Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler.

Es bestehen wesentliche Unterschiede zwischen den Grund- und Leistungskursen in folgenden Aspekten:

- Umfang und Spezialisierungsgrad des vermittelten Fachwissens, der physikalischen Methoden und der behandelten Modelle
- Abstraktionshöhe, erkennbar im Grad der Elementarisierung physikalischer Sachverhalte, bei der Bildung physikalischer Begriffe und Formulierung von Gesetzen, im Grad der Mathematisierung und in der Theoriebildung

- Komplexität der verwendeten Kontexte, der physikalischen Sachverhalte, Theorien und Modelle
- Reflexionsgrad über den Gegenstandsbereich, das Begriffs- und Ergebnissystem und die Methoden der Physik.

### **3.4 Sequenzbildung**

#### **3.4.1 Voraussetzungen aus der Sekundarstufe I**

Der Physikunterricht in der Sekundarstufe I legt in inhaltlicher und methodischer Hinsicht die Grundlage für die gymnasiale Oberstufe. Diese erweitert, vertieft und vernetzt die in der Sekundarstufe I vermittelten Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten. Dabei gewinnen Quantifizierung und Mathematisierung verstärkte Bedeutung.

Die besonderen Akzente der gymnasialen Oberstufe haben Konsequenzen für das Anforderungsprofil zu Beginn der Jahrgangsstufe 11. Es ist davon auszugehen, dass den Schülerinnen und Schülern die spezifische Sichtweise, unter der die Physik Realität zu erfassen versucht, in Grundzügen vertraut ist. Sie haben in der Sekundarstufe I Fähigkeiten und Fertigkeiten entwickelt, mit denen sie in der Lage sind, das Naturgeschehen gezielt zu beobachten, Hypothesen zu bilden, Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten und Modelle zu entwickeln und zu nutzen. Das Ziel der Physik, das Naturgeschehen durch Gesetze zu beschreiben, die wiederum der Prognose von Phänomenen dienen, sollte ihnen vertraut sein.

Die verstärkte Behandlung quantitativer Verfahren in der gymnasialen Oberstufe setzt darüber hinaus die Verfügbarkeit von Basiskompetenzen aus der Mathematik voraus. Für den Physikunterricht ist es hilfreich, wenn im Mathematikunterricht die funktionalen Sichtweisen und Denkweisen deutlich betont werden und in unterschiedlichen Sachbereichen geschult und entwickelt werden (lineare Funktionen, Proportionalität, Dreisatzrechnung, Prozentrechnung, nichtlineare Wachstumsprozesse, trigonometrische Funktionen).

#### **3.4.2 Die curriculare Aufgabe der Jahrgangsstufe 11**

Die Aufgabe der Jahrgangsstufe 11 in ihrer allgemeinen Funktion ist im Kapitel 4 der Richtlinien beschrieben.

Die Schülerinnen und Schüler belegen in der Jahrgangsstufe 11 in der Regel durchgehend 10 bis 11 Grundkurse (30 bis 33 Wochenstunden). Der Unterricht folgt für die Jahrgangsstufen 11 bis 13 insgesamt einem Sequenzialitätsprinzip. Dabei ergibt sich für die Jahrgangsstufe 11, dass sie die wissenschaftspropädeutische Vorbereitung für die Qualifikationsphase inhaltlich und methodisch übernehmen muss, d. h. dass gesorgt werden muss



- für eine breite fachliche Grundlegung
- für eine systematische Methodenschulung in fachlicher, fachübergreifender und kooperativer Hinsicht
- für das Erlernen grundlegender Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens
- für Einblicke in die Anforderungen von Leistungskursen
- für Angebote zur Angleichung der Kenntnisse.

Im Sinne der Sequentialität erfolgt in der Jahrgangsstufe 11 die Bereitstellung grundlegender Begriffe und Gesetze, Methoden und Verfahren, auf die der Unterricht in der Qualifikationsphase aufbauen kann.

Die verstärkte Betonung der Quantifizierung in der gymnasialen Oberstufe steht in einem engen Zusammenhang zu einem systematischen Einüben und Bewusstmachen von Modellbildungsprozessen. Dabei erweist sich die Idealisierung als ein wesentliches Prinzip der Physik. Der Unterricht in der Jahrgangsstufe 11 gibt den Schülerinnen und Schülern im Rahmen verschiedener Sachbereiche exemplarisch Gelegenheit, mit den Methoden physikalischer Erkenntnisgewinnung in sorgfältig dimensionierten Stufen fortschreitender Abstraktion und Komplexität vertraut zu werden. Dabei kommt es wesentlich darauf an, dass sie den physikalischen Erkenntnisprozess nicht in der idealisierten Welt abbrechen, sondern an möglichst vielen Beispielen erfahren, welches wirksame Instrumentarium die physikalische Methode zum Verständnis der komplexen Lebenswelt bereitstellt. Die Berücksichtigung verschiedener Sachbereiche zielt darauf ab, den Schülerinnen und Schülern bereits in der Einführungsphase die vielfältige Vernetzung der Physik mit der natürlichen und technischen Umwelt zu verdeutlichen.

Die Anbindung der Lernprozesse an die Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler in zunehmend komplexen Problemzusammenhängen bildet eine geeignete Basis für die Anregung und Förderung selbstständigen Denkens und Handelns. Die Analyse von Phänomenen, die Planung und Auswertung von Experimenten, die Einbeziehung der historischen Dimension, die Anwendung physikalischer Gesetze und Methoden und die Modellbildung sind Aufgabenformen, die vielfältige Möglichkeiten für selbstständiges Arbeiten bieten, wenn das erforderliche methodische Instrumentarium zur Verfügung steht. Kooperative Arbeitsformen bieten sich vor allem im Bereich der Organisation und Durchführung von Experimenten an.

### **3.4.3 Gesichtspunkte zur Sequenzbildung**

Der Physikunterricht wird seiner Bildungsfunktion nur dann gerecht, wenn die Inhalte der Jahrgangsstufen 11 bis 13 in einer sorgfältig geplanten Sequenz angeordnet und erarbeitet werden. Die Sequenzbildung ist ein komplexes Problem, da unterschiedliche Momente der Curriculumkonstruktion, auch auf dem Hintergrund der Grundkurs- und Leistungskursproblematik, bedacht und aufeinander abgestimmt werden müssen. Sie erfolgt im Spannungsfeld zwischen den drei Bereichen des Faches – fachliche Inhalte, Lernen im Kontext und Methoden und Formen des

selbstständigen Arbeitens – unter Beachtung der kursspezifischen Besonderheiten (Kapitel 3.3), der obligatorischen Vorgaben (Kapitel 2.3) und unter Nutzung der Freiräume.

Die Berücksichtigung der Bereiche des Faches bedeutet insbesondere, dass die Funktion der Einzelgegenstände auf dem Hintergrund der gewählten Kontexte, in ihrer fachlichen Bedeutung, in ihrer fachsystematischen Einordnung und ihrer Eignung zur Einübung kooperativer und selbstständiger Arbeitsformen genau durchdacht werden muss. Die Akzentuierung eines Einzelgegenstandes lässt sich in der Regel nur im Rahmen des Gesamtcurriculums sinnvoll festlegen. Die genaue Analyse kann insbesondere zu Entscheidungen führen, die einen Verzicht auf die Thematisierung oder eine Reduzierung des Umfangs der Behandlung von tradierten Inhalten im Umfeld der obligatorischen Gegenstände bedeuten. Die dadurch entstandenen Freiräume lassen sich sinnvoll für Vertiefungen, sequenzspezifische Akzentsetzungen und eine Betonung horizontaler und vertikaler Vernetzungen nutzen.

Die Kontexte sollen so variieren, dass der Bezug der Physik zu unterschiedlichen Bereichen des menschlichen Lebens deutlich wird und auch fachübergreifende Bezüge hergestellt werden können. Sie werden je nach Sachbereich an die unmittelbaren Erfahrungen der erlebten Umwelt anknüpfen, sich auf sinnvolles Weiterfragen auf der Grundlage eines erreichten physikalischen Wissensstandes beziehen, erkenntnistheoretische Fragen zum Inhalt haben, der Klärung technischer Fragen dienen oder einen kritischen Bezug zu gesellschaftlichen Fragen und Umweltfragen aufweisen. Die Kontextvorschläge bieten zur Kontextwahl eine Palette von Möglichkeiten an, die damit aber keineswegs erschöpft sind.

Bei der Konstruktion der Sequenzen ist – gerade angesichts der Kontextorientierung – insbesondere darauf zu achten, dass eine wissenschaftspropädeutische Ausbildung erreicht wird, die die spezifischen Aspekte für Grund- und Leistungskurse, die in Kapitel 3.3 genannt sind, berücksichtigt und den Aufbau eines vielseitig vernetzten, anschlussfähigen Wissens bewirkt.

Die folgenden Sequenzvorschläge konkretisieren die Umsetzung der genannten Gesichtspunkte.

#### **3.4.4 Kurssequenzen**

Die Kontextorientierung ermöglicht eine variable Gestaltung von Unterrichtssequenzen, in denen die Vorgaben des Lehrplans ebenso wie spezifische Fähigkeiten und Interessen von Lerngruppen sowie Lehrerinnen und Lehrern angemessene Berücksichtigung finden können. Neben den kursbezogenen Gestaltungsmöglichkeiten steht die Notwendigkeit zu diversen Absprachen der Fachkonferenzen im Hinblick auf die Sequenzbildung, wie sie im Kapitel 6 explizit dargestellt sind. In der fachdidaktischen Diskussionen in den Fachkonferenzen entsteht dadurch ein schulspezifisches Curriculum.

Die nachfolgenden Sequenzvorschläge haben keinen normierenden Charakter. Sie sind als Beispiele gedacht, die zeigen, wie man die Obligatorik dem Kurstyp entsprechend abdecken kann. Um die Flexibilität der Sequenzbildung zu verdeutlichen, werden zwei Sequenzvorschläge beschrieben, die sich in der Jahrgangsstufe 11 und auch in der Jahrgangsstufe 12 deutlich unterscheiden.

## Sequenzvorschlag I

### Gemeinsame Anfangssequenz (Jahrgangsstufe 11)

#### 11/I Ein Forschungsauftrag

##### Die Welt der Töne

Schalleindrücke und ihre physikalische Beschreibung; Empfinden von Klangeindrücken; Töne unterwegs; Musikinstrumente

##### Die Welt der Farben

Licht, eine Welle? Mit Licht Farbe erzeugen

##### Teilnahme am Straßenverkehr

11/II Anfahren und Überholen; Bremsen; Nutzung des Treibstoffs – Energiebilanzen

##### Physik und Sport

Besonderheiten bei Flugbahnen von Wurfobjekten (vom Kugelstoß bis Badminton)

##### Von Zeiten und Räumen

Weltbilder; Einsteins neue Sicht der Dinge

### Jahrgangsstufen 12 und 13

	Grundkurs	Leistungskurs
12/I	<b>Auf der Spur des Elektrons</b> Freisetzung von Elektronen; experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe elektrischer Felder; experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe magnetischer Felder	<b>Auf der Spur des Elektrons</b> Freisetzung von Elektronen; experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe elektrischer Felder; experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe magnetischer Felder

12/II

### **Bereitstellung, Wandlung und Verteilung elektrischer Energie**

Generator und Motor – austauschbare Anwendungen derselben Maschine; Speicherung magnetischer Energie

### **Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübertragung**

Vermutungen über die Entstehung elektromagnetischer Strahlung; Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen; Elektrosmog – eine Gefahr für die Gesundheit

13/I

### **Wie kann man Atome untersuchen?**

Ionisation; radioaktiver Zerfall

### **Erkenntnisse über den Atomkern**

Aufbau der Atomkerne; Gewinnung von Energie aus Kernprozessen

### **Bereitstellung, Wandlung und Verteilung elektrischer Energie**

Speicherung elektrischer Energie; Generator und Motor – austauschbare Anwendungen derselben Maschine; Speicherung magnetischer Energie

### **Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübertragung**

Vermutungen über die Entstehung elektromagnetischer Strahlung; Erzeugung elektromagnetischer Wellen; Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen; Elektrosmog – eine Gefahr für die Gesundheit

### **Energieentwertung und Irreversibilität – die Entropie**

Strukturbildung und Zerfall; Energieentwertung quantitativ

### **Energie von der Sonne – Energiehaushalt der Erde**

Sterne verraten sich durch Strahlung; Planeten im Strahlungsgleichgewicht

### **Unsere Atmosphäre – ein Treibhaus**

Die Atmosphäre bestimmt unsere Lebensbedingungen; der Treibhauseffekt – eine Verschiebung des Strahlungsgleichgewichts der Erde

### **Wie kann man Atome untersuchen?**

Atome zählen; Ionisation; radioaktiver Zerfall

### **Erkenntnisse über den Atomkern**

Aufbau der Atomkerne; Gewinnung von Energie aus Kernprozessen

13/II **Von klassischen Vorstellungen zur Quantenphysik**  
Vom Fotoeffekt zum Photonenmodell; Quantenobjekte

**Von klassischen Vorstellungen zur Quantenphysik**  
Wechselwirkung von Licht und Materie klassisch gesehen; vom Fotoeffekt zum Photonenmodell; Quantenobjekte

## Sequenzvorschlag II

### Gemeinsame Anfangssequenz (Jahrgangsstufe 11)

11/I **Teilnahme am Straßenverkehr**  
Anfahren und Überholen; Bremsen; Nutzung des Treibstoffs – Energiebilanzen

11/II **Auf der Spur des Elektrons**  
Freisetzung von Elektronen; Experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe elektrischer Felder;  
Experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe magnetischer Felder

**Himmelsmechanik**  
Ursache der Bewegungen am Himmel (Auszug)

### Jahrgangsstufen 12 und 13

	Grundkurs	Leistungskurs
12/I	<b>Das menschliche Hören und die Wahrnehmung von Schall</b> Schallentstehung und -wahrnehmung  <b>Ultraschall in der medizinischen Anwendung</b> Ultraschall in der Diagnostik und Therapie	<b>Das menschliche Hören und die Wahrnehmung von Schall</b> Schallentstehung und -wahrnehmung  <b>Ultraschall in der medizinischen Anwendung</b> Ultraschall in der Diagnostik und Therapie
12/II	<b>Bereitstellung, Wandlung und Verteilung elektrischer Energie</b> Generator und Motor – austauschbare Anwendungen derselben Maschine; Speicherung magnetischer Energie	<b>Bereitstellung, Wandlung und Verteilung elektrischer Energie</b> Speicherung elektrischer Energie; Generator und Motor – austauschbare Anwendungen derselben Maschine; Speicherung magnetischer Energie

### **Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübertragung**

Vermutungen über die Entstehung elektromagnetischer Strahlung; Erzeugung elektromagnetischer Wellen; Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen; Elektrosmog – eine Gefahr für die Gesundheit

### **Eine neue Vorstellung vom Licht**

Musterbildung und Farberscheinungen

13/1

### **Der Flügelschlag des Schmetterlings oder: Die Schwäche des starken Kausalitätsprinzips**

Eine Dünenlandschaft unter physikalischen Aspekten; Der „Flügelschlag“ des Schmetterlings; Ordnung im Chaos oder: Eine ordentliche Unordnung

### **Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübertragung**

Vermutungen über die Entstehung elektromagnetischer Strahlung; Erzeugung elektromagnetischer Wellen; Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen; Elektrosmog – eine Gefahr für die Gesundheit?

### **Eine neue Vorstellung vom Licht**

Musterbildung und Farberscheinungen

### **Veränderungen in der Raum-Zeit-Vorstellung**

Auflösung des Widerspruchs zwischen dem Ergebnis des Michelson-Versuchs und der naiven Anschauung

### **Umdenken in der Mechanik und in der Elektrik**

Eine neue Mechanik?

### **Energieentwertung und Irreversibilität – die Entropie**

Strukturbildung und Zerfall; Energieentwertung quantitativ

### **Wärmekraftmaschinen und Wärmepumpen**

Erzeugung wertvoller Energie; Energietransport gegen die Laufrichtung

### **Energietechniken und Energieversorgungskonzepte**

Wärmekraftwerke; Energie umweltverträglich nutzen, speichern und transportieren

### **Die Sonne – ein glühender Gasball**

<p><b>Wie kann man Atome untersuchen?</b> Ionisation; radioaktiver Zerfall</p>	<p><b>Wie kann man Atome untersuchen?</b> Atome zählen; Ionisation; radioaktiver Zerfall</p>
<p><b>Erkenntnisse über den Atomkern</b> Aufbau der Atomkerne; Gewinnung von Energie aus Kernprozessen</p>	<p><b>Erkenntnisse über den Atomkern</b> Aufbau der Atomkerne; Gewinnung von Energie aus Kernprozessen</p>
<p>13/II <b>Von klassischen Vorstellungen zur Quantenphysik</b> Vom Fotoeffekt zum Photonenmodell; Quantenobjekte</p>	<p><b>Von klassischen Vorstellungen zur Quantenphysik</b> Wechselwirkung von Licht und Materie klassisch gesehen; vom Fotoeffekt zum Photonenmodell; Quantenobjekte</p> <p><b>Interpretationen der Quantenmechanik</b></p>

### 3.5 Mädchen und Jungen im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Unterricht

Die Verbesserung der Chancengleichheit von Mädchen im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Unterricht ist Teil eines größeren Problemzusammenhangs. Im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Unterricht besteht die Gefahr, dass Lehrerinnen und Lehrer ihre Aufmerksamkeit verstärkt den Jungen zuwenden, diese stärker als Individuen ansprechen und ihnen Gelegenheit geben, ihre technisch bestimmten Vorkenntnisse und Interessen im Unterricht zur Geltung zu bringen. Umgekehrt fallen Mädchen wie Jungen im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Unterricht häufig besonders bereitwillig in geschlechtsstereotype Verhaltensweisen zurück.

So werden Mädchen oft mögliche Zugänge zu naturwissenschaftlich-technischen Unterrichtsfächern erschwert. Sie werden nicht selten demotiviert, erhalten weniger Leistungsanreize und bestätigen darin scheinbar das eigene und das Vorurteil anderer, als Mädchen für solche Fächer nicht begabt zu sein.

Vor diesem Hintergrund muss das Prinzip der Koedukation reflektiert werden. Der mathematisch-naturwissenschaftlich-technische Unterricht soll

- die spezifischen Interessen und Fähigkeiten der Mädchen berücksichtigen und zum Zuge kommen lassen
- fehlende vor- und außerschulische Erfahrungen von Schülerinnen ausgleichen
- ein erweitertes Selbstbild bei Mädchen aufbauen helfen

- zum Abbau von Geschlechtsstereotypen bei Lehrerinnen und Lehrern beitragen.

Dazu ist die didaktische Struktur der Lehrpläne besonders geeignet. Dem „Lernen im Kontext“ und den „Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens“ werden eine größere Bedeutung als in der Vergangenheit zugemessen. Indem das Lernen im Kontext und die neu akzentuierten Arbeitsformen bewusst auch die spezifischen Arbeits-, Denk- und Frageansätze der Mädchen berücksichtigen, kann erwartet werden, dass ihnen mit den nun vorliegenden Richtlinien und Lehrplänen der gymnasialen Oberstufe neue Zugangsmöglichkeiten zum mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich eröffnet werden. Hierdurch wird auch ein Beitrag zur Verbesserung der Chancengleichheit von Mädchen im Bildungsbereich Mathematik, Naturwissenschaften und Technik geleistet.

Auch wenn sich im Rahmen einer reflexiven Koedukation eine zeitweise Trennung der Geschlechter in bestimmten Fächern bzw. Kursen als förderlich für Mädchen bzw. Jungen erweisen kann, soll die Koedukation nicht aufgehoben werden. Schulen sollen hingegen selbst entscheiden können, ob und bei welchen Gelegenheiten Mädchen und Jungen zeitweise getrennt unterrichtet und wieder zusammengeführt werden.



## 4 Lernerfolgsüberprüfungen

### 4.1 Grundsätze

Die Grundsätze der Leistungsbewertung ergeben sich aus den entsprechenden Bestimmungen der Allgemeinen Schulordnung (§§ 21 bis 23). Für das Verfahren der Leistungsbewertung gelten die §§ 13 bis 17 der Verordnung über den Bildungsgang und die Abiturprüfung in der gymnasialen Oberstufe (APO-GOST).

Die Leistungsbewertung ist Grundlage für die weitere Förderung der Schülerinnen und Schüler, für ihre Beratung und die Beratung der Erziehungsberechtigten sowie für Schullaufbahnentscheidungen.

Folgende Grundsätze der Leistungsbewertung sind festzuhalten:

- Leistungsbewertungen sind ein kontinuierlicher Prozess. Bewertet werden alle von Schülerinnen und Schülern im Zusammenhang mit dem Unterricht erbrachten Leistungen (vgl. Kapitel. 4.2 und 4.3).
- Die Leistungsbewertung bezieht sich auf die im Unterricht vermittelten Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten. Die Unterrichtsziele, -gegenstände und die methodischen Verfahren, die von den Schülerinnen und Schülern erreicht bzw. beherrscht werden sollen, sind in den Kapiteln 1 bis 3 dargestellt.

Leistungsbewertung setzt voraus, dass die Schülerinnen und Schüler im Unterricht Gelegenheit hatten, die entsprechenden Anforderungen in Umfang und Anspruch kennen zu lernen und sich auf diese vorzubereiten. Die Lehrerin bzw. der Lehrer muss ihnen hinreichend Gelegenheit geben, die geforderten Leistungen auch zu erbringen.

- Bewertet werden der Umfang der Kenntnisse, die methodische Selbstständigkeit in ihrer Anwendung sowie die sachgemäße schriftliche und mündliche Darstellung. Bei der schriftlichen und mündlichen Darstellung ist auf sachliche und sprachliche Richtigkeit, auf fachsprachliche Korrektheit, auf gedankliche Klarheit und auf eine der Aufgabenstellung angemessene Ausdrucksweise zu achten. Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit in der deutschen Sprache werden nach § 13 (6) APO-GOST bewertet. Bei Gruppenarbeiten muss die jeweils individuelle Schülerleistung bewertbar sein.
- Die Bewertung ihrer Leistung muss den Schülerinnen und Schülern auch im Vergleich mit den Mitschülerinnen und Mitschülern transparent sein.
- Im Sinne der Qualitätsentwicklung und Qualitätssicherung sollen die Fachlehrerinnen und Fachlehrer ihre Bewertungsmaßstäbe untereinander offen legen, exemplarisch korrigierte Arbeiten besprechen und gemeinsam abgestimmte Klausur- und Abituraufgaben stellen.
- Die Anforderungen orientieren sich an den im Kapitel 5 genannten Anforderungsbereichen.

## **4.2 Beurteilungsbereich „Klausuren“**

### **4.2.1 Allgemeine Hinweise**

Klausuren dienen der schriftlichen Überprüfung der Lernergebnisse in einem Kursabschnitt. Klausuren sollen darüber Aufschluss geben, inwieweit im laufenden Kursabschnitt gesetzte Ziele erreicht worden sind. Sie bereiten auf die komplexen Anforderungen in der Abiturprüfung vor.

Wird statt einer Klausur eine Facharbeit geschrieben, wird die Note für die Facharbeit wie eine Klausurnote gewertet.

Zahl und Dauer der in der gymnasialen Oberstufe zu schreibenden Klausuren geht aus der APO-GOST hervor.

### **4.2.2 Fachspezifische Hinweise zur Aufgabenstellung, Korrektur und Bewertung von Klausuren/Facharbeiten**

#### **Aufgabenstellung**

Klausuren müssen so angelegt sein, dass die Schülerinnen und Schüler sach- und methodenbezogene Kenntnisse und Fähigkeiten nachweisen können, die sie in dem Kursabschnitt erworben oder vertieft haben. Dabei soll ein möglichst breites Spektrum der durch schriftliche Leistungen zu überprüfenden Ziele berücksichtigt werden.

Die Klausur kann entweder aus einer einzigen Aufgabe bestehen bzw. aus zwei – oder bis einschließlich Jahrgangsstufe 12 auch aus drei – Aufgaben zusammengesetzt sein. Jede Aufgabe muss eine selbstständige, anspruchsvolle Leistung ermöglichen.

Die folgenden Aufgabenarten sind zulässig:

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments
- Durchführung und Bearbeitung eines Schülerexperiments
- Bearbeitung eines begrenzten physikalischen Problems anhand fachspezifischer Materialien. Als Material eignen sich zum Beispiel die Beschreibung eines nicht vorgeführten Experiments, Texte, Messdaten, Graphen, Bilder ...

Mischformen der genannten Aufgabenarten sind möglich.

Eine ausschließlich aufsatzartig zu bearbeitende Aufgabe, d. h. eine Aufgabe ohne Experiment und ohne vorgelegtes Material, ist nicht geeignet. Die Bearbeitung sollte jeweils auch einen quantitativen Anteil enthalten; reine Rechenaufgaben mit physikalischen Größen sind jedoch zu vermeiden.

Jede Aufgabe fordert die Bearbeitung eines begrenzten thematischen Zusammenhangs anhand einer gegliederten Anweisung. Dabei sollen sich die Anforderungen auf Inhalte und Verfahren beziehen, die im Unterricht behandelt worden sind. Eine Klausuraufgabe erreicht dann ein angemessenes Niveau, wenn das Schwergewicht der zu erbringenden Leistungen im Anforderungsbereich II liegt und daneben die Anforderungsbereiche I und III berücksichtigt werden, und zwar Anforderungsbereich I in deutlich höherem Maße als Anforderungsbereich III (vgl. Kapitel 5.2: Anforderungsbereiche). Insgesamt werden die Klausuren im Schwierigkeitsgrad und im Umfang fortschreitend den Anforderungen anzupassen sein, wie sie im Abitur gestellt werden müssen.

Aus der Formulierung der einzelnen Aufgabe sollen Art und Umfang der geforderten Leistung klar erkennbar sein. Bei der Gliederung einer Aufgabe in Teilaufgaben ist anzustreben, dass trotz des thematischen Zusammenhangs eine Teilaufgabe möglichst unabhängig von den Ergebnissen vorhergehender Teilaufgaben bearbeitet werden kann. Dies kann teilweise dadurch erreicht werden, dass bestimmte numerische Ergebnisse, die für die Bearbeitung weiterer Teilaufgaben benötigt werden, mit angegeben werden. Es ist aber auch zu bedenken, dass eine zu weit gehende Gliederung in Teilaufgaben das Anforderungsniveau mindert und kreative und originelle Lösungen verhindern oder erschweren kann. Im Einzelfall kann eine wesentliche Leistung der Schülerin oder des Schülers auch darin bestehen zu entscheiden, welche Aspekte für die Bearbeitung der Aufgabe von Bedeutung sind.

Mögliche Aufgabenstellung für Facharbeiten sind in Kapitel 3.2.2 angegeben.

### **Korrektur und Bewertung**

Bei der Korrektur sind auftretende Fehler und Unstimmigkeiten nach Art und Schwere zu kennzeichnen. Zur Erhöhung der Transparenz und als Lernhilfe für die Schülerinnen und Schüler sollten dort, wo es möglich und sinnvoll ist, erläuternde Hinweise gegeben werden. Besondere, positive Leistungen sollten durch entsprechende Anmerkungen herausgehoben werden.

Bei der abschließenden Beurteilung einer Klausur ist der Wert der einzelnen Klausurteile für die Gesamtleistung zu bestimmen. Dies kann auch durch eine klausurinterne Punktwertung erreicht werden. Kriterien für die Bewertung einzelner Klausurteile sind z. B.

- Bedeutung der überprüften Lernziele
- Anteil der erwarteten Arbeitszeit
- Umfang und Komplexität der einzubringenden Teilleistungen
- Grad der geforderten Selbstständigkeit.

Bei der Gewichtung der Kriterien steht der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer ein Ermessensspielraum zur Verfügung, den sie/er auf Grund ihrer/seiner Erfahrung und pädagogischen Verantwortung verwendet.

Jedes Punktschema ist eine Setzung der Lehrerin bzw. des Lehrers und damit eine subjektive Basis des Beurteilungsverfahrens. Bei der Festlegung einer klausurinternen Punktwertung ist darauf zu achten, dass die Schülerinnen und Schüler durch Leistungen mit vorwiegend wiederholendem Charakter mindestens eine ausreichende Bewertung erzielen können. Der Anteil an problemlösenden und kreativen Leistungen darf nur so hoch gewertet werden, dass in diesem Anforderungsbereich eine Differenzierung zwischen guten und sehr guten Gesamtleistungen erfolgt. Bei originellen Lösungen, die über die Erwartungen der Lehrerin bzw. des Lehrers hinausgehen, wird sie bzw. er das Punktschema variieren, um diese Leistungen angemessen zu berücksichtigen.

Ein Zuordnungsschema zwischen den erreichten Punktzahlen und den Noten kann nicht zwingend begründet werden. Besonders kritisch ist die Festsetzung der Grenze zwischen ausreichenden und nicht ausreichenden Leistungen. Es besteht breiter Konsens darüber, die Grenze zwischen der Note „ausreichend“ und der Note „mangelhaft“ beim Erreichen von etwa 40% der geforderten Leistungen zu setzen. Oberhalb dieser Schwelle sollte die Zuordnung der Punktzahlen zu den höheren Notenstufen von einer linearen Verteilung nicht wesentlich abweichen, desgleichen nicht die Zuordnung zu den beiden Notenstufen unterhalb dieser Schwelle. Die Festlegung dieser Grenze muss bei der Planung der Klausur und der Punktwertung berücksichtigt werden. Die klausurinterne Punktwertung ist den Schülerinnen und Schülern mitzuteilen. Sie kann dazu beitragen, ihnen die Bewertung ihrer Klausur transparent zu machen.

Die Klausuren sind sobald wie möglich zu korrigieren und zu benoten, den Schülerinnen und Schülern zurückzugeben und zu besprechen. Vor der Rückgabe und Besprechung der Klausur oder am Tage der Rückgabe darf im gleichen Kurs keine neue Klausur geschrieben werden.

Die Klausuren werden nach Benotung und Besprechung mit den Schülerinnen und Schülern diesen mit nach Hause gegeben, damit gegebenenfalls die Erziehungsberechtigten Kenntnis nehmen können.

Die Bewertungskriterien für Facharbeiten beziehen sich u. a. auf den sachlichen Gehalt, auf den Grad der Selbstständigkeit, auf die sprachliche Darstellung, auf die Gestaltung sowie auf die Einhaltung von Formalia:

- Die Bewertung des sachlichen Gehalts würdigt die Richtigkeit, Sachangemessenheit und notwendige Vollständigkeit der dargestellten Fakten, die angemessene Verwendung der Fachsprache, eine sachgerechte und schlüssige Argumentation, eine sinnvolle eigenständige Gliederung oder die Beachtung einer vorgegebenen Gliederung oder deren Erweiterung und Vertiefung.
- Der Grad der Selbstständigkeit berücksichtigt die selbstständige Beschaffung von Informationen, die kritische Auseinandersetzung mit den Informationen, die sinnvolle und eigenständige Setzung von Schwerpunkten sowie die persönliche Stellungnahme oder Bewertung der Schülerinnen und Schüler.
- Die sprachliche Darstellung bezieht den einwandfreien Aufbau und die einwandfreie Struktur der Arbeit, die Verständlichkeit der Gedankenführung, die

Übersichtlichkeit der Darstellung der Informationen sowie letztlich auch die Richtigkeit in der sprachlichen Form, der Rechtschreibung und Zeichensetzung ein.

- Hinsichtlich der Gestaltung und der Einhaltung von Formalia werden die zeitgemäße und angemessene Präsentation (z. B. Verwendung eines Textverarbeitungssystems), die Angabe der Gliederung (Inhaltsverzeichnis) wie auch die Quellenangabe und das richtige Zitieren beurteilt.

### **4.3 Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“**

#### **4.3.1 Allgemeine Hinweise**

Dem Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“ kommt der gleiche Stellenwert zu wie dem Beurteilungsbereich „Klausuren“. Im Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“ sind alle Leistungen zu werten, die eine Schülerin bzw. ein Schüler im Zusammenhang mit dem Unterricht mit Ausnahme der Klausuren und der Facharbeit erbringt.

Dazu gehören Beiträge zum Unterrichtsgespräch, die Leistungen in Hausaufgaben, Beiträge zu physikalischen Experimenten, Referate, Protokolle, sonstige Präsentationsleistungen, die Mitarbeit in Projekten und Arbeitsbeiträge, die in Kapitel 3.2.2 beschrieben sind.

Eine Form der „Sonstigen Mitarbeit“ ist die schriftliche Übung, die benotet wird. Die Aufgabenstellung muss sich unmittelbar aus dem Unterricht ergeben. Sie muss so begrenzt sein, dass für ihre Bearbeitung in der Regel 30 Minuten, höchstens 45 Minuten erforderlich sind.

Die Schülerinnen und Schüler sollen im Bereich der „Sonstigen Mitarbeit“ auf die mündliche Prüfung und deren Anforderungen vorbereitet werden.

#### **4.3.2 Anforderungen und Kriterien zur Beurteilung der Leistungen im Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“**

##### **Beiträge zum Unterrichtsgespräch**

Die Beurteilung der Beiträge zum Unterrichtsgespräch sollte in der Regel nicht punktuell erfolgen. Die Lehrerinnen und Lehrer sollten über einen längeren Zeitraum die Leistungen einer Schülerin bzw. eines Schülers beobachten und sich entwickeln lassen.

Das Leistungsbild der einzelnen Schülerinnen und Schüler im Bereich des Unterrichtsgesprächs ergibt sich aus ihren Beiträgen in den verschiedenen Phasen des Unterrichts bezüglich unterschiedlicher Anforderungen:

- Erfassen von Problemen

- Finden und Begründen von Lösungsvorschlägen
- Wiedergabe physikalischer Grundkenntnisse
- Reorganisation und Darstellung bekannter Sachverhalte
- Transfer von Ergebnissen und Methoden
- Darstellung bzw. Zusammenfassung von Lernergebnissen.

Einzelne Beurteilungskriterien können sein:

- sachgerechtes Diskutieren und Argumentieren
- Klarheit der Gedankenführung und der sprachlichen Darstellung
- angemessene Fachsprache
- sachliche Richtigkeit
- Grad der Selbstständigkeit
- Komplexitätsgrad.

## **Hausaufgaben**

Hausaufgaben, die zur Festigung und Sicherung des Gelernten dienen, stellen z. B. folgende Anforderungen:

- Wiederholung anhand von Aufzeichnungen (Protokolle, Zusammenfassungen)
- zusammenfassende Wiederholung zurückliegender Unterrichtsabschnitte unter bestimmten Aspekten
- quantitative Behandlung eines speziellen Problems mithilfe bekannter Gesetze
- Anfertigung von Schalt- und Versuchsskizzen mit Erläuterungen
- textliche Fassung oder qualitative Beschreibung eines Problems oder Versuchs.

Hausaufgaben, die zur Ergänzung bzw. Vertiefung des Gelernten oder zur Vorbereitung des Unterrichts dienen, stellen z. B. folgende Anforderungen:

- Auswerten von Versuchsprotokollen
- Erarbeiten eines Abschnittes aus dem Lehrbuch oder eines Textes
- Recherche (Literatur, Internet, Befragung ...)
- Vergleich ähnlich oder gegensätzlich strukturierter Phänomene
- Übertragung bekannter Lösungswege auf ein neues Problem.

Die Kontrolle der Hausaufgaben dient der gebührenden Anerkennung eigenständiger Schülerleistungen, der Bestätigung konkreter Lösungen sowie der Berichtigung von Fehlern.

Hausaufgaben werden im Rahmen der „Sonstigen Mitarbeit“ bewertet. Dabei spielen folgende Kriterien eine zentrale Rolle:

- inhaltliche Richtigkeit
- Vollständigkeit

- Sorgfältigkeit und Präzision der Ausführung
- Klarheit und Übersichtlichkeit der Darstellung.

### **Beiträge zu physikalischen Experimenten und Experimentalpraktikumsphasen**

Die Anwendung der experimentellen Methode stellt je nach Einordnung der Arbeitsschritte in den Prozess der Erkenntnisgewinnung und je nach ihrer Komplexität unterschiedliche Anforderungen, die als Bewertungsmaßstab dienen können. Planung, Durchführung, Auswertung, Methoden- und Ergebnisdiskussion und die Darstellung der Ergebnisse stellen im konkreten Einzelfall ein breites Spektrum von Leistungsanforderungen im kognitiven und manuellen Bereich. Sie können als Grundlage für eine differenzierte Bewertung dienen.

Einzelne Beurteilungskriterien können sein:

- Stellung von sinnvollen, relevanten Fragen
- Bildung von Hypothesen
- Vorschlagen einer Versuchsidee
- Planung von Versuchen
- Ermittlung funktionaler Zusammenhänge aus Messreihen
- Auswertung von Versuchen im Hinblick auf die Fragestellung
- Modifikation und Erweiterung von Versuchen.

Im experimentellen Gruppenunterricht erhalten zusätzlich folgende Beurteilungskriterien besondere Relevanz:

- Organisation der experimentellen Gruppenarbeit
- sachgerechtes Lesen von Geräte- und Versuchsanleitungen
- Aufbau und Durchführung von Versuchen
- Umsetzen einer Versuchsanleitung in ein funktionierendes Experiment
- sachgerechter Umgang mit physikalischen und technischen Geräten
- sorgfältiges und kritisches Experimentieren
- exaktes Protokollieren der Messwerte
- Anfertigung eines klar strukturierten und genauen Versuchsprotokolls sowie die Darstellung der Ergebnisse in mündlicher Form.

### **Das Referat**

Bei der Erstellung und dem Vortrag des Referats werden spezielle Arbeitstechniken erlernt und geübt. Sie bestimmen die Kriterien für die Beurteilung des Referats:

- Organisation des Arbeitsvorhabens und Methodenreflexion
- Beschaffen, Zusammenstellen, Ordnen und Auswerten von themenbezogenem Informationsmaterial

- Exzerpte anfertigen
- Schwerpunkte setzen
- Strukturieren des Referats
- Stichwortzettel zusammenstellen
- Abbildungen, Schaltskizzen und Diagramme vorbereiten
- Vorbereitung und Durchführung von physikalischen Versuchen
- fachgerechte Darstellung
- sachgerechter Einsatz von Medien
- Techniken des Referierens: Vortragen mithilfe einer stichwortartigen Gliederung, adressatenbezogenes Sprechen und Diskutieren, korrektes Zitieren
- Berücksichtigung des Zeitfaktors (bei der Vorbereitung und dem Vortrag des Referats).

## **Das Protokoll**

Die Eigenleistung der Schülerinnen und Schüler bei der Anfertigung eines Protokolls kann nach folgenden Kriterien beurteilt werden:

- Zusammenfassung und Strukturierung
- Herausstellen von Schwerpunkten und Schlüsselbegriffen
- Genauigkeit und Vollständigkeit der Wiedergabe
- fachlich korrekte Darstellung der Inhalte
- Klarheit und Übersichtlichkeit der Darstellung.

Für die Beurteilung von Versuchsprotokollen werden darüber hinaus die weiter oben unter „Beiträge zu physikalischen Experimenten und Experimentalpraktikumsphasen“ genannten Kriterien relevant.

## **Schriftliche Übungen**

In den schriftlichen Übungen sollen die Schülerinnen und Schüler zeigen, dass sie in der Lage sind, einen begrenzten, aus dem Unterricht erwachsenen Sachverhalt darzustellen oder ein nicht zu umfangreiches Problem anhand einer gegliederten Anweisung zu lösen. Sie dienen zur Einübung und Überprüfung von Arbeitstechniken und Qualifikationen, die auch im ersten Teil der mündlichen Abiturprüfung gefordert werden.

Die schriftliche Übung muss so begrenzt sein, dass für ihre Bearbeitung in der Regel 30 Minuten, höchstens 45 Minuten erforderlich sind. Die Aufgabenstellung sollte sich unmittelbar aus dem Unterricht ergeben. Der Rückgriff soll sechs Unterrichtsstunden nicht überschreiten. Schriftliche Übungen werden für alle Mitglieder der Lerngruppe in gleicher Weise durchgeführt, unabhängig davon, ob sie das Fach schriftlich oder mündlich belegt haben. Eine schriftliche Übung darf nur an solchen Tagen angesetzt werden, an denen von den betreffenden Schülerinnen



und Schülern keine Klausuren geschrieben werden. Sind an einer Schule generell bestimmte Zeitabschnitte für Klausuren vorgesehen, so sind schriftliche Übungen dieser Art innerhalb dieser Zeitabschnitte nicht zulässig. Mehr als zwei schriftliche Übungen dürfen für die Schülerin bzw. den Schüler an einem Tag nicht angesetzt werden.

Für schriftliche Übungen im Fach Physik eignen sich folgende Aufgabentypen:

- Darstellung eines physikalischen Sachzusammenhanges, einer bestimmten Problemstellung oder eines zentralen Unterrichtsergebnisses
- Darstellung der bearbeiteten Hausaufgabe
- Auswertung bzw. Deutung eines Experiments
- Lösung eines Problems anhand fachspezifischer Materialien.

Schriftliche Übungen werden benotet. Dabei sind folgende Kriterien bedeutsam:

- inhaltliche Richtigkeit, Klarheit und Vollständigkeit der Darstellung
- korrekte Verwendung der Fachsprache
- fachgerechte Anwendung physikalischer Methoden und Verfahren.

### **Selbstständiges Arbeiten, Mitarbeit bei Gruppenarbeit und in Projekten**

Selbstständiges Arbeiten sowie das Arbeiten in Gruppen und in Projekten ist im Physikunterricht nicht auf das experimentelle Arbeiten beschränkt. Diese Aktivitäten nehmen in der gymnasialen Oberstufe einen größeren Raum ein und dürfen daher aus der Leistungsbewertung nicht ausgeklammert werden.

Im Rahmen von Gruppen- und Projektarbeit ist der Anteil einer jeden Schülerin und eines jeden Schülers am Arbeitsprozess und am Ergebnis zu bewerten. Um die individuelle Schülerleistung transparent werden zu lassen, eignen sich Arbeitsprozessberichte. Ferner werden die Beobachtungen der Lehrerin bzw. des Lehrers während der Betreuung der Arbeit und der Präsentation der Ergebnisse, gegebenenfalls auch ein Kolloquium mit einzelnen Schülerinnen bzw. Schülern, zur Leistungsbewertung herangezogen.

Gesichtspunkte dafür sind z. B. die Eigeninitiative und Eigenständigkeit bei der Wahrnehmung folgender Aufgaben:

- Aufstellung eines Arbeitsplans
- Entwicklung von Lösungsstrategien
- Aufnahme und Weiterentwicklung von Beiträgen anderer Mitglieder der Gruppe
- Beschaffen, Ordnen und Auswerten von Material
- Gesprächsleitung, Protokollführung, Berichterstattung
- Abstimmung, Organisation und Koordination verschiedener Aktivitäten innerhalb der Arbeitsgruppe
- Dokumentation der Projektarbeit
- Präsentation der Ergebnisse.

Bei der selbstständigen Arbeit kann darüber hinaus bewertet werden, inwieweit eine Schülerin bzw. ein Schüler in der Lage ist

- das eigene Lernen zielbewusst zu planen und zu steuern
- den eigenen Lernerfolg zu überprüfen und auf dieser Basis das weitere Lernen zu planen.

Insbesondere sind auch Leistungen zu beurteilen, wie sie weiter oben unter „Beiträge zu physikalischen Experimenten und Experimentalpraktikumsphasen“ und „Referate“ angegeben sind.

#### **4.3.3 Bildung der Kursabschnittsnote für den Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“**

Die Grundlage für die Beurteilung einer Schülerin bzw. eines Schülers im Beurteilungsbereich „Sonstige Mitarbeit“ bilden die Qualität und Kontinuität seiner mündlichen Mitarbeit im Unterricht. Eine generelle Festlegung der Bedeutung der übrigen Formen der „Sonstigen Mitarbeit“ für die Bildung der Kursabschnittsnote ist nicht möglich. Diese Formen ermöglichen den Schülerinnen und Schülern in der Regel einen längeren, zusammenhängenden Unterrichtsbeitrag, dessen unterschiedlicher Schwierigkeitsgrad nur von der Lehrerin bzw. vom Lehrer bestimmt werden kann.

Die schriftliche Übung hat gegenüber den anderen Formen der „Sonstigen Mitarbeit“ zwar den Vorteil, dass die geforderte Leistung von allen Schülerinnen und Schülern eines Kurses zu erbringen ist, dieses darf aber nicht dazu führen, dass die schriftliche Übung in ihrer Bedeutung für die Notenfindung wie eine Klausur verstanden wird. Die in ihr erzielte Note hat nur den Stellenwert eines zusammenhängenden Unterrichtsbeitrags von vergleichbarem Schwierigkeitsgrad. Die maßgebende Rolle bei der Notenfindung spielen die Kontinuität der Mitarbeit und die Entwicklung der Schülerin bzw. des Schülers, nicht so sehr die punktuelle Leistung.

Einzelne Beurteilungskriterien können sein:

- sachgerechtes Diskutieren und Argumentieren
- Klarheit der Gedankenführung
- angemessene Fachsprache
- sachliche Richtigkeit und Vollständigkeit
- Grad der Selbstständigkeit
- Komplexitätsgrad
- erfolgreiches Experimentieren.

Bei der Festlegung der Note ist darauf zu achten, dass Schülerinnen und Schüler mit vorwiegend wiederholenden Leistungen die Note ausreichend erreichen können.

## 5 Die Abiturprüfung

### 5.1 Allgemeine Hinweise

Es ist spezifische Aufgabe der folgenden Regelungen, das Anforderungsniveau für die Prüfungen im Fach zu beschreiben, die Aufgabenstellung zu strukturieren und eine Beurteilung der Prüfungsleistungen nach verständlichen, einsehbaren und vergleichbaren Kriterien zu ermöglichen.

Entscheidend für die Vergleichbarkeit der Anforderungen ist die Konstruktion der Prüfungsaufgaben, die durch Beschluss der KMK<sup>1)</sup> in allen Bundesländern nach vereinbarten Grundsätzen erfolgen soll. Diese Grundsätze helfen zugleich, die Beurteilung der Prüfungsbedingungen transparent zu machen.

Zu diesen vereinbarten Grundsätzen gehört die Feststellung, dass den Bedingungen einer schulischen Prüfung zur allgemeinen Hochschulreife die bloße Wiedergabe gelernten Wissens ebenso wenig entspricht wie eine Überforderung durch Problemfragen, die von der Schülerin bzw. vom Schüler in der Prüfungssituation nicht angemessen bearbeitet werden können. Die Schwerpunkte der Anforderungen liegen in der Abiturprüfung in Bereichen, die mit selbstständigem Aussagen, Verarbeiten und Darstellen bekannter Sachverhalte sowie Übertragen des Gelernten auf vergleichbare neue Situationen beschrieben werden können.

Die Abiturprüfungsanforderungen sollen deshalb in allen Fächern durch drei Anforderungsbereiche strukturiert werden. Es sind dies:

Anforderungsbereich I	(z. B. Wiedergabe von Kenntnissen)
Anforderungsbereich II	(z. B. Anwenden von Kenntnissen)
Anforderungsbereich III	(z. B. Problemlösen und Werten).

Die Anforderungsbereiche sind für die Lehrerinnen und Lehrer als Hilfsmittel für die Aufgabenkonstruktion gedacht.

Sie sollen

- den Lehrerinnen und Lehrern unter Berücksichtigung der Unterrichtsinhalte und ihrer Vermittlung eine ausgewogene Aufgabenstellung erleichtern
- die Herstellung eines Konsenses zwischen den Fachlehrerinnen und Fachlehrern und damit eine größere Vergleichbarkeit der Anforderungen ermöglichen.

### 5.2 Beschreibung der Anforderungsbereiche

In der Abiturprüfung sollen die Kenntnisse und Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler möglichst differenziert erfasst werden. Hierbei sind die mit den Aufgaben

---

<sup>1)</sup> Vereinbarung über die einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung, Beschluß der Kultusministerkonferenz vom 1. Juli 1979, i. d. F. vom 1. Dezember 1989

verbundenen Erwartungen drei Anforderungsbereichen zuzuordnen, die im Folgenden beschrieben sind.

### **Anforderungsbereich I**

Der Anforderungsbereich I umfasst

- die Wiedergabe von Sachverhalten (z. B. Daten, Fakten, Regeln, Formeln, Aussagen) aus einem abgegrenzten Gebiet im gelernten Zusammenhang
- die Beschreibung und Verwendung gelernter und geübter Arbeitstechniken und Verfahrensweisen in einem begrenzten Gebiet und in einem wiederholenden Zusammenhang.

Dazu kann u. a. gehören:

- gedächtnismäßiges Wiedergeben von Daten und Fakten sowie von Begriffen, Größen und Einheiten und deren Definitionen
- gedächtnismäßiges Wiedergeben von Gesetzen und Formeln sowie deren Erläuterung
- Wiedergeben von im Unterricht eingehend erörterten Fragestellungen und Zusammenhängen
- Anfertigen von Skizzen zur Darstellung von Sachverhalten auf eine im Unterricht behandelte Weise
- Beschreiben eines im Unterricht behandelten Experiments
- Beschreiben von Aufbau und Durchführung eines vorgeführten Experiments
- Anfertigen von Schaltbildern bei vorgegebenem Versuchsaufbau
- Aufbauen eines unbekanntes Experiments nach vorgelegtem Plan oder eines bekannten Experiments aus der Erinnerung
- Durchführen von Messungen nach geübtem Verfahren mit bekannten Geräten
- Anfertigen von Graphen und Messreihen, Tabellen oder Gleichungen
- Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln
- Berechnen eines mittleren Fehlers auf die im Unterricht behandelte Weise.

### **Anforderungsbereich II**

Der Anforderungsbereich II umfasst

- selbstständiges Auswählen, Anordnen, Verarbeiten und Darstellen bekannter Sachverhalte unter vorgegebenen Gesichtspunkten in einem durch Übung bekannten Zusammenhang
- selbstständiges Übertragen des Gelernten auf vergleichbare neue Situationen, wobei es entweder um veränderte Fragestellungen oder um veränderte Sachzusammenhänge oder um abgewandelte Verfahrensweisen gehen kann.

Dazu kann u. a. gehören:

- sachgerechtes Wiedergeben von komplexen Zusammenhängen

- Auswählen und Verknüpfen von bekannten Daten, Fakten und Gleichungen bei vertrauter Aufgabenstruktur
- begründete Herleitung eines Gesetzes, wenn diese im Unterricht behandelt wurde
- Anwenden von Gesetzen auf gegenüber dem Unterricht analoge Fragestellungen
- Gewinnen von Gesetzmäßigkeiten aus Messdaten
- Erörtern von Fehlerquellen und Abschätzen des Fehlers bei Experimenten
- Planen einfacher experimenteller Anordnungen zur Untersuchung von vorgegebenen Fragestellungen
- Auffinden der relevanten physikalischen Variablen eines Vorgangs
- Übertragen von Betrachtungsweisen und Gesetzen auf neue Sachverhalte
- Erörtern des Gültigkeitsbereichs von Modellen und Gesetzen
- Einordnen von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik.

### **Anforderungsbereich III**

Der Anforderungsbereich III umfasst planmäßiges Verarbeiten komplexer Gegebenheiten mit dem Ziel, zu selbstständigen Lösungen, Gestaltungen oder Deutungen, Folgerungen, Begründungen, Wertungen zu gelangen. Dabei werden aus den gelernten Denkmethoden bzw. Lösungsverfahren die zur Bewältigung der Aufgabe geeigneten selbstständig ausgewählt und einer neuen Problemstellung angepasst.

Dazu kann u. a. gehören:

- Auswählen und Verknüpfen von bekannten Daten, Fakten und Gleichungen bei neuartiger Aufgabenstruktur
- Entwickeln eigener Fragestellungen
- für vorgegebene Fragestellungen eigene Experimente planen, gegebenenfalls durchführen und die Ergebnisse werten
- Entwickeln alternativer Lösungswege, wenn dieses in der Aufgabenstellung gefordert wird
- Finden von Anwendungsmöglichkeiten physikalischer Gesetze und Erscheinungen
- Entwickeln von Vorschlägen für die Erhöhung der Messgenauigkeit bei Experimenten
- Erklären physikalischer Phänomene komplexer Art aus Natur und Technik
- aus fachübergreifenden und fächerverbindenden Fragekomplexen die Aspekte herausfinden, zu denen die Physik Aussagen machen kann, diese Aussagen ausarbeiten und werten.

## 5.3 Die schriftliche Abiturprüfung

Zur Art der Aufgabenstellung, zur Vorlage der Aufgabenvorschläge bei der oberen Schulaufsichtsbehörde, zur Korrektur und Bewertung der schriftlichen Arbeiten gelten grundsätzlich die §§ 32 bis 34 der APO-GOST und die entsprechenden Verwaltungsvorschriften.

Die Aufgabenstellung für Grund- und Leistungskurse muss den Anforderungen gerecht werden, die sich aus der Definition beider Kursarten (Kapitel 3.3) ergeben. Für den Leistungskurs muss die Fragestellung eine systematische und komplexe Auseinandersetzung mit einer Aufgabe ermöglichen, den Nachweis einer vertieften Beherrschung der fachlichen Methoden sowie eine reflektierte Einordnung der Fragestellung in größere Zusammenhänge des Faches einfordern.

### 5.3.1 Aufgabenarten der schriftlichen Abiturprüfung

Für die Prüfung im Fach Physik sind folgende Aufgabenarten zulässig:

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments
- Durchführung und Bearbeitung eines Schülerexperiments
- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält; dieses Material kann sein: die Beschreibung eines nicht vorgeführten Experiments, Texte, Tabellen, Graphen, Messreihen, Bilder, Filme oder Ähnliches.

Mischformen der genannten Aufgabenarten sind möglich.

Eine ausschließlich aufsatzartig zu bearbeitende Prüfungsaufgabe, d. h. eine Prüfungsaufgabe ohne vorgelegtes Material oder ohne Experiment, ist nicht geeignet.

Eine Prüfungsaufgabe für die schriftliche Abiturprüfung soll sich auf alle drei in Abschnitt 5.2 beschriebenen Anforderungsbereiche erstrecken. Die Prüfungsaufgabe für das Grundkursfach wie für das Leistungskursfach erreicht dann ein angemessenes Niveau, wenn das Schwergewicht der zu erbringenden Prüfungsleistungen im Anforderungsbereich II liegt und daneben die Anforderungsbereiche I und III berücksichtigt werden, und zwar Anforderungsbereich I in deutlich höherem Maße als Anforderungsbereich III.

Entsprechende Anteile der Anforderungsbereiche können durch geeignete Wahl der fachlichen Inhalte, der Struktur sowie durch entsprechende Formulierung des Textes der Prüfungsaufgabe erreicht werden. Diese Wahl sollte so erfolgen, dass eine prüfungsdidaktisch sinnvolle, selbstständige Leistung gefordert wird, ohne dass der Zusammenhang zur bisherigen Unterrichts- und Klausurpraxis verloren geht.

### 5.3.2 Einreichen von Prüfungsvorschlägen

- (1) Im Fach Physik legt die Fachlehrerin bzw. der Fachlehrer zwei Prüfungsvorschläge einschließlich der Genehmigungsunterlagen vor, von denen die obere Schulaufsicht einen Vorschlag auswählt. Zur Aufgabenstellung der schriftlichen Abiturprüfung ist § 33 Abs. 1 APO-GOST zu beachten. Die Abiturvorschläge in der schriftlichen Abiturprüfung müssen aus dem Unterricht in der Qualifikationsphase erwachsen sein. Die der Schulaufsicht vorzulegenden Vorschläge müssen sich in ihrer Breite insgesamt auf die Ziele, Problemstellungen, Inhalte und Methoden der vier Halbjahre der Qualifikationsphase beziehen und unterschiedliche Sachbereiche umfassen. Der vom Prüfling zu bearbeitende Vorschlag muss sich in der Breite der Ziele, Problemstellungen, Inhalte und Methoden mindestens auf zwei Halbjahre der Qualifikationsphase und auf zwei Sachbereiche beziehen.
- (2) Beide Vorschläge müssen sich bei vergleichbarem Anspruchsniveau inhaltlich deutlich unterscheiden.
- (3) Jeder Vorschlag kann maximal aus zwei voneinander unabhängigen Aufgaben zusammengesetzt werden. Besteht die Prüfungsaufgabe aus zwei thematisch verschiedenen Aufgaben, so soll mit jeder Aufgabe eine selbstständige, anspruchsvolle Prüfungsleistung möglich sein.
- (4) Die Aufgaben müssen eindeutig formuliert, klar umgrenzt und in der vorgesehenen Zeit zu bearbeiten sein. Sie dürfen einer bereits bearbeiteten Aufgabe nicht so nahe stehen oder im Unterricht so vorbereitet sein, dass ihre Bearbeitung keine selbstständige Leistung erfordert.
- (5) Aus der Formulierung der einzelnen Aufgabe sollen Umfang und Art der geforderten Leistung erkennbar sein. Jede Aufgabe wird in der Regel in eine nicht zu große Anzahl von Teilaufgaben gegliedert, die ihrerseits in einem inneren Zusammenhang stehen. Es ist anzustreben, dass eine Teilaufgabe möglichst unabhängig von Ergebnissen vorhergehender Teilaufgaben bearbeitet werden kann.
- (6) Die für die Aufgabe vorgesehenen Hilfsmittel und Erläuterungen für den Prüfling sowie die vorgelegten Materialien sind der jeweiligen Aufgabe beizufügen. Generell zugelassene Hilfsmittel, wie beispielsweise der Taschenrechner, werden am Schluss eines jeden Vorschlags angegeben.
- (7) Sollen mit einem Experiment quantitative Arbeitsunterlagen während der Prüfung gewonnen werden, so sind diese bereits beim Erstellen der Aufgabe zu sichern. Auf diese Weise ist es möglich, beim Misslingen eines Experiments die erforderlichen Daten zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung zu stellen.
- (8) Die Arbeitszeit beginnt unmittelbar, nachdem die Aufgaben vorgelegt oder niedergeschrieben sind oder ein Lehrerversuch beendet worden ist, d. h. bei Demonstrationsversuchen beginnt die Arbeitszeit der Prüflinge nach Vorführung

des Experiments durch die Lehrerin oder den Lehrer. Bei Schülerversuchen schließt die Arbeitszeit das Experimentieren mit ein. Die Arbeitszeit kann in diesem Fall auf Antrag durch die Schulaufsicht um höchstens eine Stunde verlängert werden.

(9) Bei Aufgabenstellungen, die umfangreiche Vorbereitungen zwingend erfordern, kann die Schulaufsicht auf Antrag der Fachlehrerin bzw. des Fachlehrers der Schulleiterin bzw. dem Schulleiter gestatten, den Umschlag am Kalendertag vor der betreffenden Prüfung in Anwesenheit der Fachlehrerin bzw. des Fachlehrers zu öffnen.

(10) Dem Prüfungsvorschlag sind beizufügen

- eine kurz gefasste konkrete Beschreibung der erwarteten Schülerleistung (Erwartungshorizont) unter Hinweis auf die konkreten unterrichtlichen Voraussetzungen. In dem Erwartungshorizont sind die konkreten Kriterien zu benennen, die der Bewertung zu Grunde liegen (vgl. Kapitel 4.2.2). Ebenso sind die Anforderungsbereiche den Arbeitsaufträgen zuzuordnen
- eine Beschreibung der Experimente und ihrer Ergebnisse für den Fall, dass sie in Aufbau und Ablauf aus der Aufgabenstellung nicht klar erkennbar sind
- eine hinreichend detaillierte Angabe über die Lerninhalte der Halbjahreskurse
- die Erklärung der Fachlehrerin oder des Fachlehrers, dass das Notwendige für die Geheimhaltung veranlasst wurde.

Die beigelegte Lösung soll der Fachaufsicht und dem Korreferenten ein klares Bild von Art und Umfang der erwarteten Schülerleistung vermitteln. Für die Lösbarkeit der gestellten Aufgaben und die Richtigkeit der Lösung ist die Fachlehrerin bzw. der Fachlehrer verantwortlich. Die konkreten unterrichtlichen Voraussetzungen müssen erkennen lassen, welche besonderen Anforderungen in Bezug auf einzelne Aufgabenteile an die Schülerinnen und Schüler gestellt werden. Das ist nur möglich, wenn beschrieben wird, in welchem Umfang und wie intensiv sie auf die einzelnen Aufgabenstellungen vorbereitet wurden. Werden Aufgaben aus anderen als innerphysikalischen Anwendungsbereichen gestellt, so ist darzustellen, auf welche Weise gleichwertige Lernvoraussetzungen im Unterricht geschaffen und gesichert wurden.

### **5.3.3 Bewertung der schriftlichen Prüfungsleistungen**

(1) Die schriftliche Prüfungsarbeit wird von der zuständigen Fachlehrkraft korrigiert, begutachtet und abschließend mit einer Note bewertet (§ 34 Abs. 1 APO-GOST). Das Gutachten muss

- Bezug nehmen auf die im Erwartungshorizont beschriebenen Kriterien, das heißt, es muss zu den erwarteten Teilleistungen deutliche Aussagen machen
- neben den inhaltlichen auch die methodischen Leistungen und den Grad der Selbstständigkeit bewerten



- Aussagen zum Anforderungs- und Leistungsniveau machen (Anforderungsbereiche I bis III)
  - Aussagen zur Sprachrichtigkeit enthalten (§ 13 Abs. 6 APO-GOST).
- (2) Die Korrektur der Prüfungsarbeit unterscheidet sich von der Korrektur einer Klausur dadurch, dass pädagogische Hinweise für die Schülerinnen und Schüler entfallen. Korrektur und Notenbegründung müssen für den Zweitkorrektor und die Fachaufsicht einsichtig sein.
- (3) Der Zweitkorrektor korrigiert die Arbeit ebenfalls (§ 34 Abs. 2 APO-GOST); er schließt sich der Bewertung begründet an oder fügt eine eigene Beurteilung und Bewertung an. Bei der Begründung bzw. Beurteilung und Bewertung muss in knappen Aussagen auf die Beurteilungskriterien Bezug genommen werden.
- (4) Die Note „ausreichend“ soll erteilt werden, wenn annähernd 50% der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden ist. Oberhalb und unterhalb dieser Schwelle sollen die Anteile der erwarteten Gesamtleistung den einzelnen Notestufen jeweils ungefähr linear zugeordnet werden, um zu sichern, dass mit der Bewertung die gesamte Breite der Skala ausgeschöpft werden kann. Dies bedeutet, dass die Note „gut“ erteilt werden soll, wenn annähernd 80% der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden ist.

### 5.3.4 Beispiele für Prüfungsaufgaben in der schriftlichen Abiturprüfung

#### (1) Beispiel für einen Vorschlag im Leistungskursbereich

##### **Aufgabe 1: Anregung von Natriumatomen**

Die aufgebaute Versuchsanordnung ist Ihnen in ihren Grundzügen bekannt. Sie haben mit ihr kontinuierliche und diskrete Emissionsspektren erzeugt und untersucht. Ebenso haben Sie sich mit den Absorptionslinien im Sonnenlichtspektrum beschäftigt. Es wird Ihnen ein zweiteiliger Versuch vorgeführt, den Sie beobachten, beschreiben und gemäß den folgenden Aufgaben auswerten sollen.

Anmerkungen zum Versuch: Der in dem Ofen befindliche Glaskolben enthält etwas metallisches Natrium, das je nach Temperatur mehr oder weniger verdampft. Die im Versuch erreichten Temperaturen von 220 °C bis 230 °C reichen für eine thermische Anregung der Gasatome nicht aus.

- 1.1 In einem ersten Versuchsteil wird das Licht einer Experimentierlampe, in einem zweiten Versuchsteil das Licht einer Natriumdampflampe verwendet. Die Messdaten müssen von Ihnen notiert werden.
- a) Beschreiben Sie beide vorgeführte Versuche; fertigen Sie dazu auch eine Skizze an. Deuten Sie die Erscheinungen, die in den beiden Versuchsteilen auf dem Schirm und in dem Glaskolben zu beobachten sind.
  - b) Bestimmen Sie aus den Messdaten die Wellenlänge des Lichts der Natriumdampflampe.
  - c) Für die Ionisierungsenergie von Natrium ergibt sich experimentell der Wert 5,12 eV. Aus dieser Angabe und den vorgeführten Versuchen lässt sich auf

ein Anregungsniveau des Natriumatoms schließen. Zeichnen Sie ein Energieniveauschema des Natriumatoms, das den Grundzustand, dieses Anregungsniveau und das Nullniveau zeigt, geben Sie die Energiewerte an und stellen Sie die Überlegungen dar, die auf dieses Schema führen.

1.2 Für die Entstehung der Linienspektren wasserstoffähnlicher Atome (Einelektronensysteme) liefert die Anwendung des Bohr'schen Atommodells in guter Näherung eine Erklärung.

a) Erklären Sie am Beispiel des Wasserstoffspektrums qualitativ die Entstehung diskreter Spektrallinien und der Serien; fertigen Sie dazu auch eine Skizze an.

b) Allgemein ergeben sich für Einelektronensysteme mit der Kernladung  $e \cdot Z$  die Energieniveaus  $E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$ . Stellen Sie diejenigen Gleichungen auf, aus denen sich diese Beziehung herleiten lässt, und skizzieren Sie kurz den Weg der weiteren Herleitung.

1.3 Das Bohr'sche Atommodell ermöglicht auch eine grobe Abschätzung der Energiewerte von Mehrelektronensystemen, in deren äußerer Schale sich genau ein Elektron befindet. Dabei geht man von der Modellvorstellung aus, dass das Außenelektron (Leuchtelektron) sich in einem radialsymmetrischen elektrischen Feld mit der effektiven Zentralladung  $e \cdot Z_{\text{eff}}$  bewegt ( $Z_{\text{eff}} < Z$ ). Das Natriumatom besitzt ein Außenelektron in der M-Schale. Es sei angenommen, dass bei Anregungen des Natriumatoms nur dieses Elektron vom Grundzustand mit der Quantenzahl  $n = 3$  in höhere Zustände übergeht.

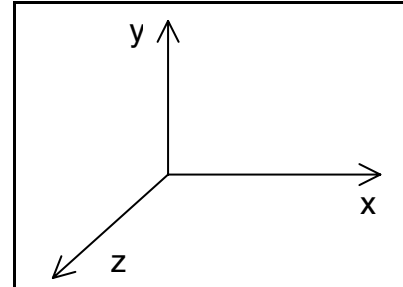
a) Berechnen Sie mithilfe des bekannten Wertes der Ionisierungsenergie von Natrium, 5,12eV, die effektive Kernladungszahl  $Z_{\text{eff}}$  für das Leuchtelektron des Natriumatoms (Ergebnis:  $Z_{\text{eff}} = 1,84$ ).

b) Zeigen Sie, dass bei Anregung eines Natriumatoms aus dem Grundzustand nach dieser vereinfachten Modellvorstellung nur eine Absorptionslinie im Bereich des sichtbaren Lichtes ( $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$ ) entsteht. Welchen Wert liefert das Modell für die Wellenlänge dieser Linie?

c) Mit steigender Quantenzahl  $n$  nähern sich im Natriumatom die Energiewerte immer mehr denen des Wasserstoffatoms. Geben Sie qualitativ eine anschauliche, plausible Erklärung für dieses Phänomen.

## Aufgabe 2: Elektrisch geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

Die Bewegung elektrisch geladener Teilchen am Beispiel von Elektronen ist im Unterricht u. a. mit Ablenkröhre und Fadenstrahlrohr experimentell untersucht worden. Im Folgenden soll mithilfe eines computergestützten Modellbildungswerkzeugs die Bewegung eines Protons in zueinander senkrecht stehenden elektrischen und magnetischen Feldern untersucht werden; das elektrische Feld verlaufe dabei in x-Richtung, das magnetische Feld in z-Richtung. In Abb. 1 ist dazu ein Modell zusammen mit den Modellgleichungen angegeben, mit dem die Bewegung des Protons in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern untersucht werden kann. Dieses Modell liegt auch auf dem Computer vor. Nehmen Sie die voreingestellte Numerik sowie Startwerte und Konstantenwerte zur Kenntnis.



- 2.1 Elektrisches und magnetisches Feld seien, wie aus den Modellgleichungen ersichtlich, zunächst beide zeitlich konstant. Das Proton bewege sich anfangs mit der aus den Gleichungen ersichtlichen Geschwindigkeit  $v = 1 \cdot 10^7 \text{ m/s}$  in x-Richtung.
- Leiten Sie die Modellgleichungen für die Beschleunigungskomponenten  $a_x$  und  $a_y$  für die vorgegebenen Felder her.
  - Für  $E_0 = 0 \text{ V/m}$  ergeben sich bei beliebigem  $B_0 > 0 \text{ T}$  Kreisbahnen als Bahnkurven. Begründen Sie für diesen Fall die Entstehung von Kreisbahnen und leiten Sie eine Gleichung her zur Berechnung der Radien der Kreisbahnen. Lassen Sie die Kreisbahn für die voreingestellte Anfangsgeschwindigkeit des Protons und für  $B_0 = 1 \text{ T}$  ausdrücken. Messen Sie anhand des Graphen den Bahnradius aus und bestätigen Sie den erhaltenen Wert durch eine Rechnung.
- 2.2 Im Folgenden werde nun das elektrische Feld zeitlich verändert, während das magnetische Feld nach wie vor konstant sei. Das Proton sei anfangs in Ruhe.
- Ergänzen Sie das vorliegende Modell durch Hinzufügen einer Modellgröße für die Kreisfrequenz  $\omega$  (im Modell durch den Buchstaben  $w$  dargestellt) sowie durch die Veränderung entsprechender Modellgleichungen so, dass damit die Wirkung eines mit der Kreisfrequenz  $\omega$  zeitlich sinusförmig veränderlichen elektrischen Feldes auf das Proton untersucht werden kann. Drucken Sie das grafische Modell zusammen mit seinen Modellgleichungen aus, und legen Sie es als Anlage Ihrer Arbeit bei.
  - Variieren Sie den Parameter  $\omega$  von  $5 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  bis  $15 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  – in kleinen Schritten im Intervall von  $9,0 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  bis  $10,0 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  – und beobachten Sie die sich jeweils ergebenden Bahnkurven. Welche Besonderheit erhält man für  $\omega \approx 9,58 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  und wodurch unterscheidet sie sich von den anderen Bahnkurven im angegebenen Intervall? Drucken Sie die Bahnkurve sowie

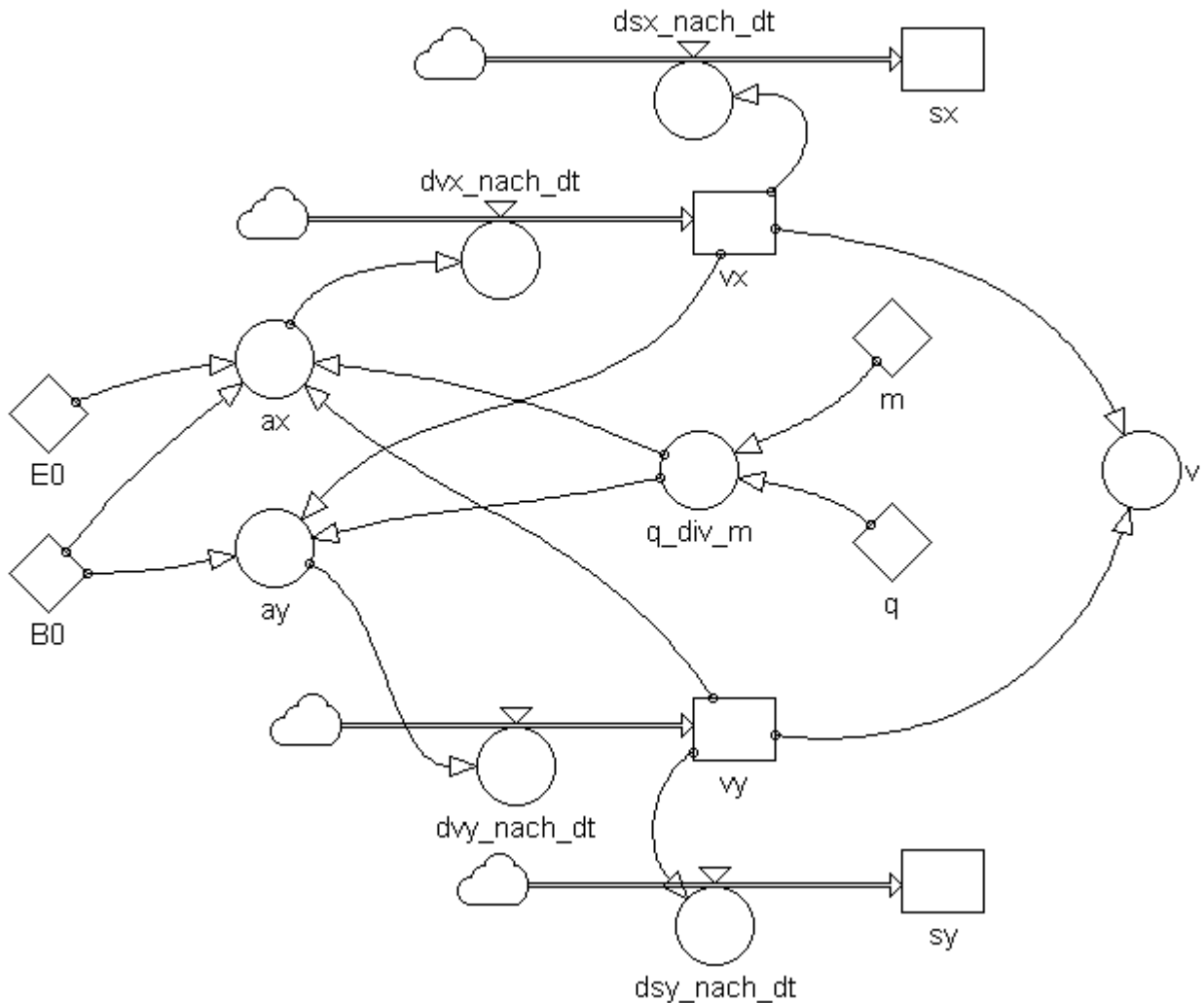
das Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm für  $\omega = 9,58 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  aus und beschreiben und erklären Sie das Verhalten des Protons unter Berücksichtigung der beiden Graphen!

Hinweis: Sollten Sie für Teilaufgabe a) keine Lösung gefunden haben, können Sie das ergänzte Modell aus Teilaufgabe a) ebenfalls auf dem Computer erhalten.

- c) Nehmen Sie unter Berücksichtigung der vom Programm errechneten Geschwindigkeiten im Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm kritisch Stellung zu der vom Programm ermittelten Bahnkurve. Stellen Sie begründet eine Vermutung auf über den Verlauf der sich in einem Realexperiment ergebenden Bahnkurve.

Anlagen:

Abb. 1: Modell zu Aufgabe 2



Modellgleichungen zum Modell aus Aufgabe 2

```

init  sx = 0
flow  sx = +dt*ds_nach_dt
init  sy = 0
flow  sy = +dt*dsy_nach_dt

```

```

init   vx = 1E7
flow   vx = +dt*dvx_nach_dt
init   vy = 0
flow   vy = +dt*dvy_nach_dt
aux    dsx_nach_dt = vx
aux    dsy_nach_dt = vy
aux    dvx_nach_dt = ax
aux    dvy_nach_dt = ay
aux    ax = q_div_m*E0 + q_div_m*B0*vy
unit   ax = m/s2
aux    ay = -q_div_m*B0*vx
unit   ay = m/s2
aux    q_div_m = q/m
unit   q_div_m = C/kg
aux    v = SQRT(vx*vx + vy*vy)
unit   v = m/s
const  B0 = 1E0
unit   B0 = T
const  E0 = 1E7
unit   E0 = V/m
const  m = 1.67E-27
unit   m = kg
const  q = 1.6E-19
unit   q = C

```

## Lernvoraussetzungen, Anforderungsbereiche, Lösungen

Bei den nachfolgenden Lösungen handelt es sich um eine ausführliche Darstellung einer Musterlösung. In kursiver Schrift sind die Lernvoraussetzungen sowie die Einordnung in die Anforderungsbereiche angegeben.

### Aufgabe 1:

Jahrgangsstufe 13.1 und 13.2 – Atom- und Quantenphysik

Vorbemerkung: Die Resonanzabsorption und -fluoreszenz werden in einem Demonstrationsexperiment gezeigt.

1.1 Im Unterricht wurden kontinuierliche und diskrete Emissionsspektren mithilfe eines Gitters erzeugt und Beugung und Interferenz am Gitter auch quantitativ behandelt. Die Energiequantelung des Atoms sowie quantenhafte Emission und Absorption wurden behandelt. Die Resonanzabsorption war im Zusammenhang mit der Deutung des Sonnenspektrums Gegenstand des Unterrichts. Die Umkehr der Natriumlinie und die Resonanzfluoreszenz sind den Schülerinnen und Schülern nicht bekannt. Die Aufgabe fordert die Beobachtung, Beschreibung und Deutung eines neuen Versuchs, der mithilfe einer weitgehend bekannten Apparatur vorgeführt wird.

(AFB I/II)

a) 1. Versuchsteil:

Das Licht einer Experimentierlampe fällt durch einen Kondensator auf einen Spalt, der mithilfe einer Linse auf einem Schirm abgebildet wird. In dem Bereich zwischen Kondensatorlinse und Spalt durchstrahlt das Licht einen

Glaskolben mit Natriumdampf. Unmittelbar hinter der Linse befindet sich ein Beugungsgitter mit 570 Strichen pro mm, das auf dem Schirm ein kontinuierliches Spektrum des weißen Glühlichtes erzeugt.

Der Glaskolben wird in einem Ofen erhitzt. Bei einer Temperatur von 220°C bis 230°C ist innerhalb des Glaskolbens ein gelbes Leuchten zu beobachten und auf dem Schirm entsteht in dem gelben Bereich des Spektrums eine schwarze Linie.

Deutung: Das Licht der Experimentierlampe enthält auch das gelbe Licht der Wellenlänge, die von den Natriumatomen absorbiert werden kann (Resonanzabsorption). Die Photonen dieses Lichtes übertragen ihre Energie vollständig als Anregungsenergie auf die Gasatome und können daher nicht mehr zur Beleuchtung des Schirms beitragen, sodass dort eine dunkle Linie entsteht (Absorptionslinie). Bei Rückkehr der Natriumatome in den Grundzustand erfolgt Emission von Licht derselben Wellenlänge. Da diese Abstrahlung in alle Richtungen erfolgt, reicht die auf den Schirm fallende Intensität nicht aus, um dort deutliche Helligkeit hervorzurufen.

## 2. Versuchsteil:

Die Experimentierleuchte wird gegen eine Natriumdampflampe ausgetauscht. Das Innere des Glaskolbens leuchtet gelb auf, der Schirm bleibt dunkel. Nach Entfernung des Glaskolbens entsteht auf dem Schirm eine gelbe Linie genau dort, wo im 1. Versuchsteil eine schwarze Linie zu beobachten war.

Um die Wellenlänge der gelben Natriumlinie zu bestimmen, werden folgende Messdaten aufgenommen:

Entfernung des Schirms vom Gitter:  $e = 52 \text{ cm}$ .

Abstand des Spaltbildes 1. Ordnung von dem Spaltbild 0. Ordnung:  $a_1 = 18,5 \text{ cm}$ .

Deutung: Die Übereinstimmung der Positionen von Absorptions- und Emissionslinie bestätigt die Eigenschaft der Atome, Licht genau der Wellenlängen (Energie) zu absorbieren, die sie emittieren. Daher kann in einer genügend dicken Schicht von Natriumdampf das Licht der Natriumdampflampe vollständig absorbiert und anschließend in alle Richtungen wieder emittiert werden.

- b) Bei der Beugung am Gitter entstehen in hinreichend weiter Entfernung Hauptmaxima unter den Beugungswinkeln  $\alpha$ , für die gilt:

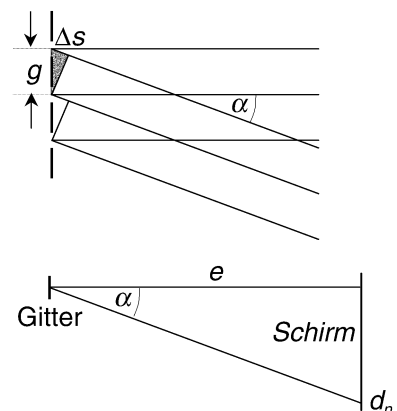
$$\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{g}, \quad n \in \mathbb{N}_0.$$

Mit  $\tan \alpha = \frac{d_n}{e}$  folgt daraus:

$$\lambda = \frac{g}{n} \sin\left(\arctan \frac{d_n}{e}\right).$$

Einsetzen der Messwerte ergibt

$$\lambda = 589 \text{ nm}.$$

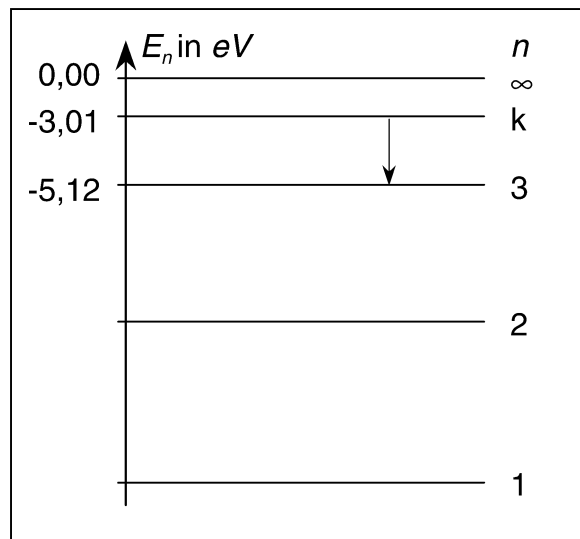


Eine Herleitung der Beziehungen wird hier nicht verlangt und auch nicht erwartet, kann aber z. B. anhand vorstehender Skizze erfolgen.

c) Gemäß  $\Delta E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$  liefert das Experiment für die Energie der Photonen den Wert  $\Delta E = 2,11 \text{ eV}$ . Aus der Tatsache, dass sich die Natriumatome vor der Absorption des Lichts im Grundzustand befanden und Absorptions- und Emissionslinie übereinstimmen, kann geschlossen werden, dass es sich bei der beobachteten Emissionslinie um einen Übergang von einem angeregten Zustand in den Grundzustand handelt. Somit ergeben sich für das Natriumatom die folgenden Energieniveaus:  $E_3 = -5,12 \text{ eV}$ ,

$$E_{\text{Anregung}} = E_3 + \Delta E = -3,01 \text{ eV}, E_{\infty} = 0.$$

Ein Energieniveauschema für das Natriumatom (der Übergang geschieht von einem unbekanntem Anregungsniveau  $n = k$  nach  $n = 3$ ):



1.2 Das Bohr'sche Atommodell wurde im Unterricht behandelt und zur Erklärung des Wasserstoffspektrums benutzt. Die allgemeine Anwendung des Modells auf Einelektronensysteme der Kernladung  $e \cdot Z$  wurde nicht thematisiert. Die Aufgabe fordert daher die Anwendung einer bekannten Modellvorstellung auf ein neues, gleichartiges Problem.

(AFB II)

a) Das Bohr'sche Atommodell geht von zwei Annahmen aus, die auch als „Bohr'sche Postulate“ bezeichnet werden. Für das Wasserstoffatom lauten sie:

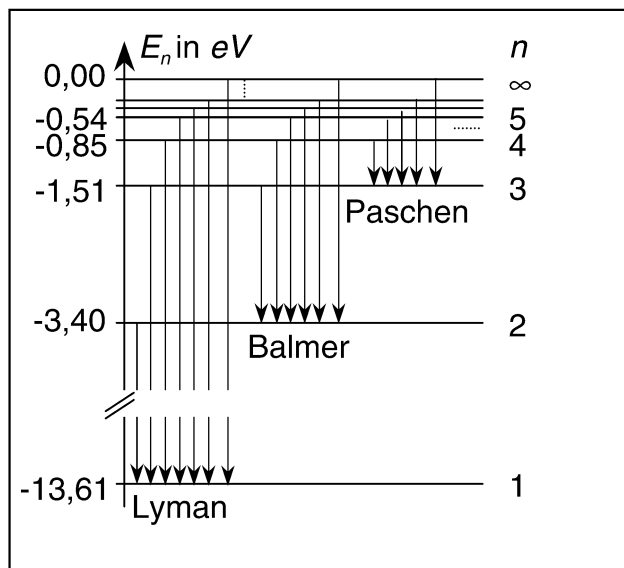
1. Das Elektron bewegt sich auf diskreten Kreisbahnen um den Atomkern.

Diese sind durch die Bedingung  $rmv = n \frac{h}{2\pi}$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , festgelegt.

2. Beim Übergang des Elektrons von einer Bahn höherer Energie  $E_m$  auf eine Bahn geringerer Energie  $E_n$  wird die Energiedifferenz als Photon abgestrahlt:

$$hf = E_m - E_n = \Delta E.$$

Betrachtet man einen festen Endzustand mit der Energie  $E_n$ , dann sind nur Übergänge von den diskreten Niveaus höherer Energie  $E_m$  auf diesen Endzustand möglich. Diesen Übergängen entspricht eine Serie diskreter Spektrallinien. Das Wasserstoffspektrum lässt sich somit als ein System solcher Serien auffassen. Die nachfolgende Skizze zeigt ein Energieniveauschema für das Wasserstoffatom:



b) Die Energie  $E_n$  des Elektrons auf der  $n$ -ten Bahn um den Atomkern setzt sich aus potentieller und kinetischer Energie zusammen:

$$E_n = E_{pn} + E_{kn} \quad (1) \quad \text{mit} \quad E_{pn} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} \quad (2) \quad \text{und} \quad E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2 \quad (3)$$

Die Coulombkraft wirkt als Zentripetalkraft. Es gilt also  $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$  (4).

Nach dem 1. Bohr'schen Postulat sind nur bestimmte Bahnen erlaubt:

$$r_n mv_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (5).$$

Aus (4) und (5) ergeben sich die Terme für die erlaubten Bahnradien  $r_n$  und Bahngeschwindigkeiten  $v_n$ . Setzt man diese in (2) und (3) ein, dann erhält man mit (1) die angegebene Beziehung.



1.3 Die Anwendung des Bohr'schen Atommodells auf Mehrelektronensysteme wurde im Unterricht nicht angesprochen. Die Aufgabe fordert die modifizierte Übertragung einer bekannten Modellvorstellung auf ein neues Problem.

(AFB II/III)

a) Die Anwendung des Bohr'schen Atommodells auf das Natriumatom liefert für die Energie des Valenzelektrons auf der n-ten Bahn die Gleichung

$$E_n = -\frac{m_e Z_{\text{eff}}^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \text{ oder } E_n = -13,6\text{eV} \frac{Z_{\text{eff}}^2}{n^2}, n \in \mathbb{N}_0.$$

Für das Elektron im Grundzustand gilt  $n = 3$ . Somit erhält man für die Ionisierungsenergie die Gleichung  $E_{\text{ion}} = 13,6\text{eV} \frac{Z_{\text{eff}}^2}{9}$ . Auflösen nach  $Z_{\text{eff}}$  ergibt mit  $E_{\text{ion}} = 5,12\text{eV}$  den Wert  $Z_{\text{eff}} = 1,84$ .

b) Für das Natriumatom ergeben sich gemäß 1.3 a) die Energieteile

$$E_n = -13,6\text{eV} \frac{1,84^2}{n^2} = -46\text{eV} \frac{1}{n^2} \text{ für } n = 3, 4, 5, \dots, \text{ also } E_3 = -5,12\text{eV}, \\ E_4 = -2,88\text{eV} \text{ und } E_5 = -1,84\text{eV}.$$

Ein Photon der Wellenlänge  $\lambda$  besitzt die Energie  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

Das sichtbare Spektrum ist somit durch folgende Energiewerte begrenzt:  $\lambda_u = 800\text{nm}$   $E_u = 1,55\text{eV}$  und  $\lambda_o = 400\text{nm}$   $E_o = 3,10\text{eV}$ .

Bei Anregung des Natriumatoms aus dem Grundzustand können gemäß folgender Gleichung Energiequanten absorbiert werden:

$$\Delta E_n = 46\text{eV} \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 4, 5 \dots$$

Die Rechnung ergibt:  $\Delta E_4 = 2,24\text{eV}$ ,  $\Delta E_5 = 3,27\text{eV}$ ,  $\Delta E_n > \Delta E_5$  für alle  $n > 5$ .

$\Delta E_4$  ist somit die einzige Energie im Bereich des sichtbaren Lichtes, die das Natriumatom im Grundzustand absorbiert. Für die zugehörige Wellenlänge ergibt sich nach der Gleichung  $\lambda_4 = \frac{hc}{\Delta E_4}$  der Wert  $\lambda_4 = 554\text{nm}$ .

c) Große Quantenzahlen  $n$  bedeuten Bohr'sche Bahnen mit großen Radien. Aus diesen Entfernungen wirkt die Ladungsverteilung des Atomkerns und der ihn umgebenden Elektronenhülle mit niedrigen Quantenzahlen immer mehr wie eine Punktladung mit  $Z = 1$ . Mit wachsenden Quantenzahlen läuft  $Z_{\text{eff}}$  gegen 1.

## Aufgabe 2:

Jahrgangsstufe 12.1 – Elektrik: Ladungen und Felder

Vorbemerkung: Im Unterricht wurde das verwendete computergestützte Modellbildungswerkzeug wiederholt eingesetzt. Seine Handhabung, die Verwendung der Systemgrößen sowie die Darstellung von Zeit- und Phasendiagrammen sind eingeübt und den Schülerinnen und Schülern hinreichend bekannt. Das Zusammenwirken von elektrischem und magnetischem Feld wurde (u. a. am Beispiel des Geschwindigkeitsfilters) behandelt. Das Modellbildungswerkzeug wurde nur für die Simulation der Bewegung von Ladungen in einem elektrischen bzw. einem magnetischen Feld allein eingesetzt, nicht aber für eine Kombination dieser beiden Felder. Dabei wurde insbesondere auch die Komponentendarstellung des Vektorprodukts in der Gleichung für die Lorentzkraft behandelt. Wechselfelder – und insbesondere das Zyklotron – sind in diesem Zusammenhang im Unterricht nicht thematisiert worden. Jeder Schülerin und jedem Schüler steht ein eigener Computer zur Verfügung, es ist sichergestellt, dass ein Datenaustausch zwischen den Rechnern nicht möglich ist.

- 2.1 a) Die Herleitung der Gleichungen für die Beschleunigungskomponenten  $a_x$  und  $a_y$  ist für jedes einzelne Feld im Unterricht behandelt worden. Neu ist das Zusammenwirken beider Felder.

(AFB I, II)

Zum Beitrag von E :

$$\text{Mit } a_E = F_E / m = q / m \cdot E \text{ und } E = \begin{pmatrix} E_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ folgt: } a_E = q / m \cdot \begin{pmatrix} E_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Zum Beitrag von B :

$$\text{Mit } a_B = F_B / m = q / m \cdot v \times B, v = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} \text{ und } B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B_0 \end{pmatrix} \text{ folgt:}$$

$$a_B = q / m \cdot \begin{pmatrix} B_0 v_y \\ -B_0 v_x \\ 0 \end{pmatrix}$$

Da sich die Gesamtbeschleunigung  $a$  als vektorielle Summe der einzelnen Beschleunigungen  $a_E$  und  $a_B$  ergibt, folgt für die Komponenten  $a_x$  und  $a_y$  der Gesamtbeschleunigung:

$$a_x = q / m \cdot E_0 + q / m \cdot B_0 v_y \text{ und } a_y = -q / m \cdot B_0 v_x$$

- b) Die Entstehung einer Kreisbahn in diesem Fall ist im Unterricht im Zusammenhang mit dem Fadenstrahlrohr erarbeitet worden und stellt eine Reorganisation dar, bei der es auf klare sachlogische Argumentation ankommt.

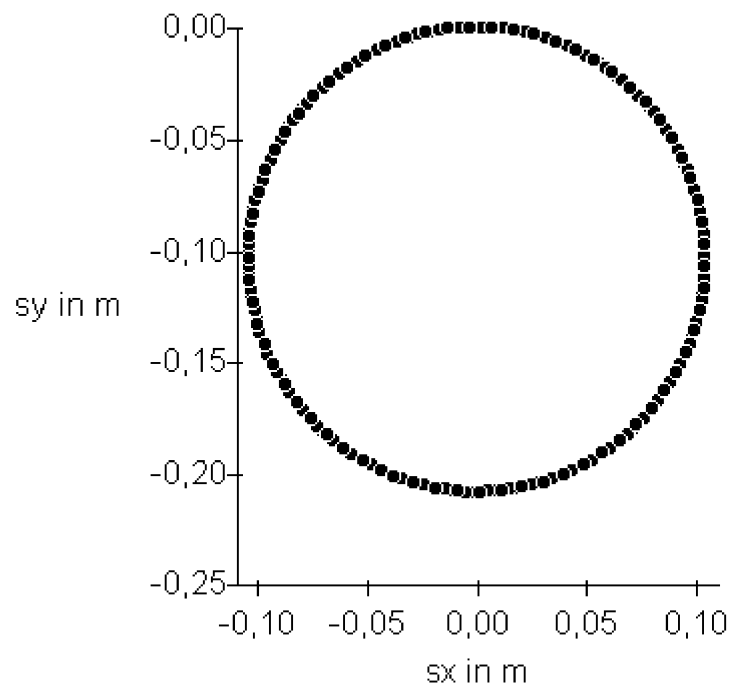
(AFB II)

Die Lorentzkraft  $F_L$  wirkt stets senkrecht zur Bahngeschwindigkeit  $v$  des Protons und erhöht diese daher nicht. Wegen der Homogenität des Magnetfeldes  $\vec{B}$  sowie des konstanten Betrages der Bahngeschwindigkeit  $\vec{v}$  bleibt der Betrag der Lorentzkraft konstant. Dies führt zu einer konstanten Krümmung der Bahn, sodass sich eine Kreisbahn ergibt.

Für die Bewegung des Teilchens entlang einer Kreisbahn wirkt die Lorentzkraft als Zentralkraft, daher gilt für deren Beträge:

$$F_L = F_Z \Leftrightarrow qvB = \frac{mv^2}{r}. \text{ Nach } r \text{ umgestellt, erhält man: } r = \frac{mv}{qB}$$

Bahnkurve für  $v_{x,\text{Start}} = 1 \cdot 10^7 \text{ m/s}$  und  $v_{y,\text{Start}} = 0$ ,  $B_0 = 1 \text{ T}$  und  $E_0 = 0 \text{ V/m}$ :



Aus dem Diagramm liest man ab:  $r \approx 0,11 \text{ m}$ . Aus der oben hergeleiteten

Gleichung für  $r$  ergibt sich:  $r = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1 \cdot 10^7 \text{ m/s}}{1,6 \cdot 10^{-27} \text{ C} \cdot \pi} = 0,105 \text{ m}$  in guter

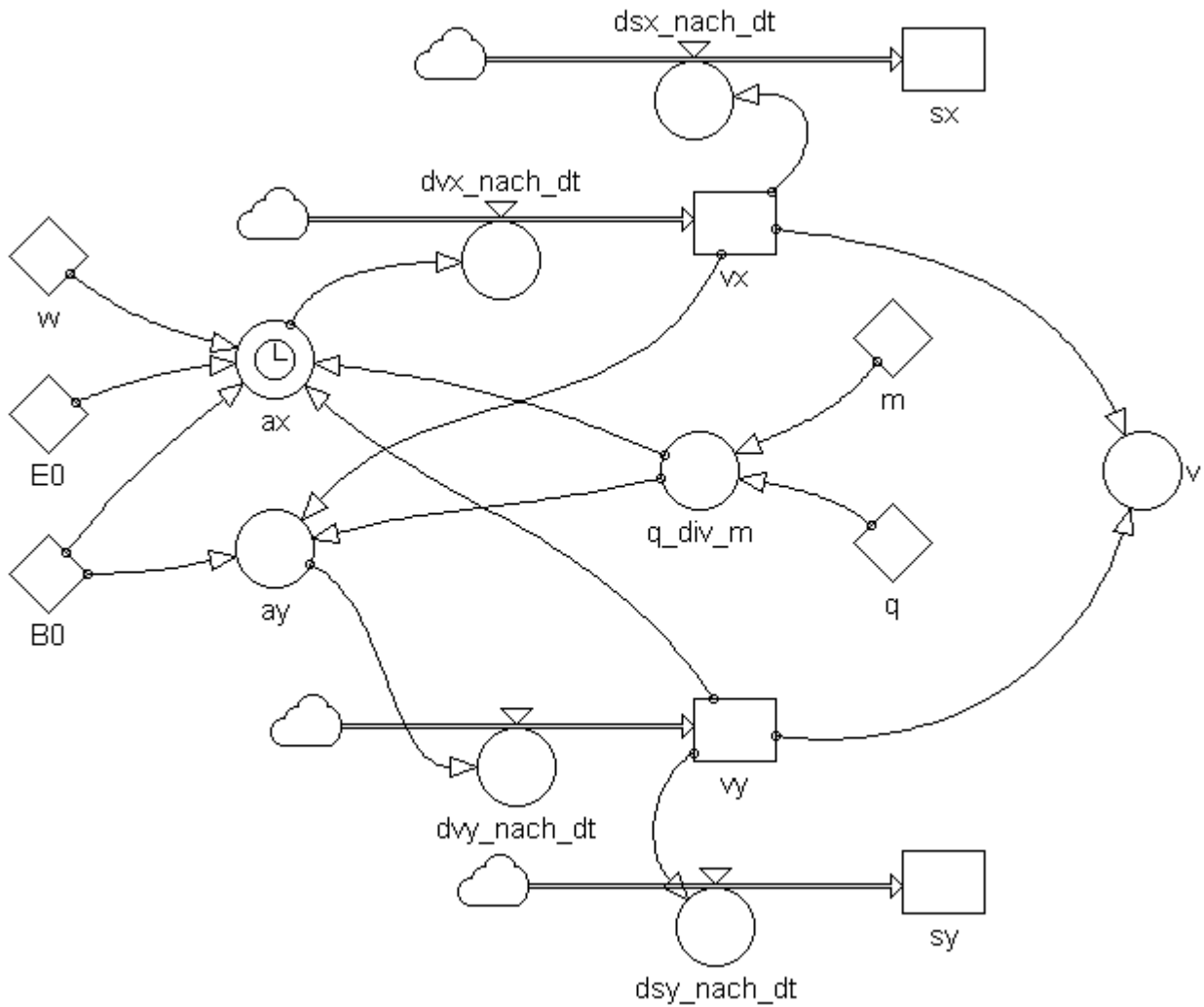
Übereinstimmung mit dem abgelesenen Wert. Einheitenumformung:

$$[r] = \left[ \frac{mv}{qB} \right] = \frac{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}}{1 \text{ C} \cdot \pi} = 1 \frac{\text{kgm/s}}{\text{C} \frac{\text{N}}{\text{Cm/s}}} = 1 \frac{\text{kgm}^2/\text{s}^2}{\text{N}} = 1 \frac{\text{kgm/s}^2 \cdot \text{m}}{\text{N}} = 1 \text{ m}.$$

- 2.2 a) Aus der Behandlung der Schwingungen und Wellen sind sich zeitlich sinusförmig verändernde Größen auch quantitativ bekannt. Neu ist die quantitative Beschreibung eines sich derart zeitlich verändernden elektrischen Feldes.

(AFB II)

Ergänzttes Modell:



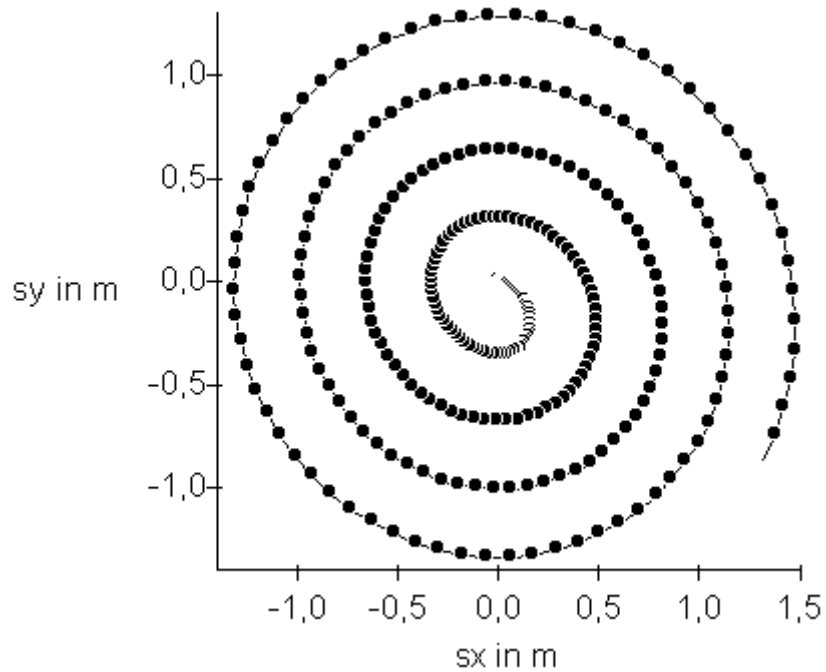
Veränderte Modellgleichungen:

aux  $ax = q\_div\_m * E0 * SIN(w * TIME) + q\_div\_m * B0 * vy$   
 unit  $ax = m/s^2$   
 const  $w = 9.58E7$   
 unit  $w = 1/s$

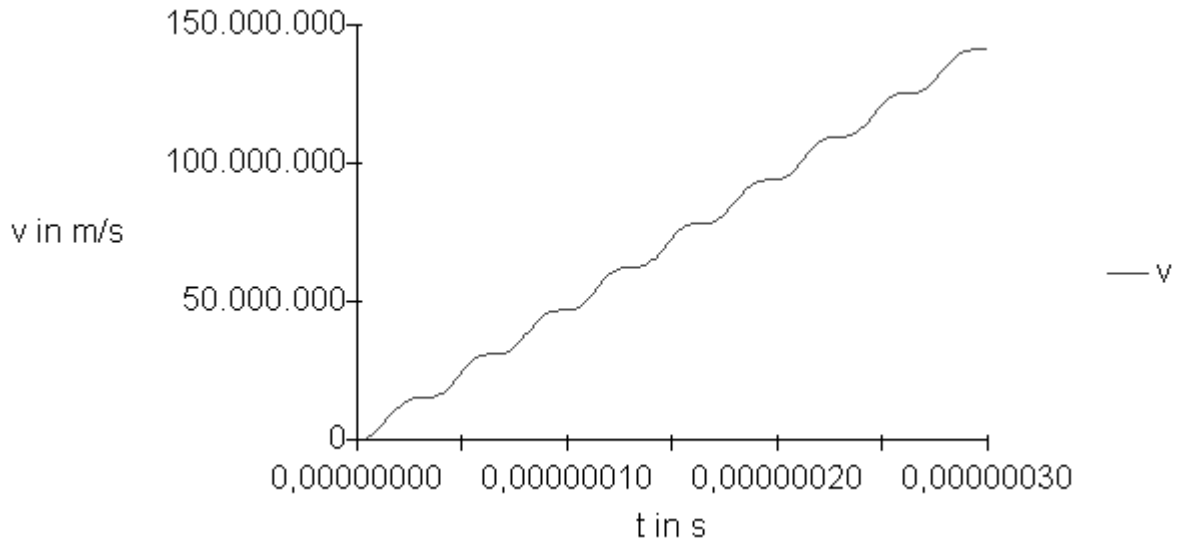
b) Der besondere Effekt, eine Spiralbahn (siehe folgendes Diagramm), bei der angegebenen Kreisfrequenz ist sehr offensichtlich. Zu seiner Beschreibung und Erklärung ist eine kombinierte Interpretation der beiden Diagramme nötig. Eine solche kombinierende Interpretation von Graphen wurde im Unterricht an Beispielen eingeübt.

(AFB III)

Bahnkurve für  $\omega = 9,58 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  :



Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm für  $\omega = 9,58 \cdot 10^7 \text{ Hz}$  :



Interpretation: Aus dem ersten Diagramm erkennt man aufgrund der sichtbaren Positionen des Protons nach jedem Simulationsschritt, dass es sich auf einer spiralenähnlichen Bahn mit zunehmender Bahngeschwindigkeit bewegt. Das zweite Diagramm zeigt genauer, dass die Bahngeschwindigkeit des Protons monoton zunimmt und nur zu bestimmten Zeitpunkten keine Erhöhung erfährt. Dies kann nur dann der Fall sein, wenn das elektrische Feld zu keinem Zeitpunkt entgegengesetzt zur x-Komponente der Bahngeschwindigkeit des Proton gerichtet ist: Die Richtungsumkehr des elektrischen Feldes sowie die der x-Komponente der Geschwindigkeit des Protons finden immer zum selben Zeitpunkt statt. Umlauffrequenz des

Protons und Frequenz des elektrischen Feldes stimmen also genau überein.

- c) Die Schülerinnen und Schüler kennen die relativistische Massenveränderung und wissen, dass für Geschwindigkeiten im angegebenen Bereich (im Unterricht: für etwa  $v > 0,1c$ ) relativistisch gerechnet werden muss.

Die exakte relativistische Rechnung kann von den Schülerinnen und Schülern keinesfalls erwartet werden, da aufgrund der durch das elektrische Feld hervorgerufenen Beschleunigung des Protons nicht einfach der bekannte Term der relativistischen Masse für die Systemgröße  $m$  eingesetzt werden darf (die Berücksichtigung der relativistischen Impulsänderung – Kraft- und Beschleunigungsvektor sind nicht parallel zueinander – wurde in derartigen Fällen nicht im Unterricht behandelt).

(AFB II)

Im vorliegenden Geschwindigkeitsbereich – das Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm weist Geschwindigkeiten bis zu  $0,5c$  aus – darf nicht mehr nichtrelativistisch gerechnet werden, wie es aber in den Modellgleichungen getan wird. Die Masse des Protons ( $v > 0,1c$ ) wird stetig zunehmen. Es wird daher in einem Realexperiment nicht die hier nichtrelativistisch errechneten Werte der Bahngeschwindigkeit erreichen. Damit ist zu erwarten, dass Umlauffrequenz und Wechselfrequenz des elektrischen Feldes „außer Takt“ geraten und das Proton nach wenigen Umläufen – ähnlich wie aus den beobachteten Bahnkurven in Teilaufgabe 2.2.b bekannt – wieder zum Zentrum zurückkehrt.

### Anforderungsbereiche und Zuordnung der Inhalte zu den Jahrgangsstufen:

Aufgabe	AFB I	AFB II	AFB III	Jgst 12.1	Jgst 12.2	Jgst 13.1	Jgst 13.2
1.1							
1.2							
1.3							
2.1 a							
2.1 b							
2.2 a							
2.2 b							
2.2 c							

## Beispiel für einen Vorschlag im Grundkursbereich

### Aufgabe 1: Interferenzerscheinungen an einer CD

Beugungs- und Interferenzerscheinungen, die beim Auftreffen von Licht unterschiedlicher Lichtquellen auf eine Compact-Disk (CD) beobachtet werden können, stehen hier im Mittelpunkt experimenteller und theoretischer Untersuchungen. Eine CD wird dabei in einem ersten Experiment mit dem Licht eines Lasers sowie in einem zweiten Experiment mit dem Licht einer Energiesparlampe beleuchtet. Es werden die jeweils in der Reflexion zu beobachtenden Reflexionswirkungen ausgewertet, die es u. a. gestatten, den Spurbabstand der CD zu ermitteln.

- 1.1 Im ersten Experiment wird die CD mit dem Licht eines Lasers beleuchtet. Die Wellenlänge des vom Laser emittierten Lichtes beträgt  $\lambda = 632\text{nm}$ .
  - a) Beschreiben Sie den vorgeführten Versuch.
  - b) Erklären Sie die Entstehung des Lichtmusters, das auf der Wand zu beobachten ist. Fertigen Sie dazu u. a. eine Skizze an und leiten Sie mit ihrer Hilfe die Gleichung  $\sin \alpha = \frac{n\lambda}{g}$  für die Winkel  $\alpha$  her, unter denen bei Verwendung des Laserlichts der Wellenlänge  $\lambda$  die Maxima n-ter Ordnung zu beobachten sind, wenn  $g$  den Spurbabstand der CD bezeichnet.
  - c) Bestimmen Sie aus den Messdaten den Spurbabstand der CD (Ergebnis:  $g = 1,59 \cdot 10^{-6}\text{m}$ ).
  - d) Begründen Sie, warum insgesamt nur vier helle Punkte zu beobachten sind.
- 1.2 In einem zweiten Versuch wird ein (etwa 2cm breiter) Spalt mit dem Licht einer Energiesparlampe ausgeleuchtet. Das vom Spalt ausgehende Licht trifft auf die CD und führt zu Farberscheinungen.
  - a) Beschreiben Sie die zu beobachtenden Farberscheinungen.
  - b) Erklären Sie, warum seitlich des einfallenden und reflektierten Lichts Licht unterschiedlicher Farbe wahrgenommen werden können. Gehen Sie dabei auch auf die Anordnung der Farben ein.

### Aufgabe 2: Geschwindigkeitsbestimmung mit dem Dopplereffekt

Die experimentell gewonnenen Fourierspektren von Hupsignalen eines Personewagens, der sich zunächst auf das Mikrofon eines ruhenden Beobachters zu bewegt und sich danach wieder von diesem entfernt, stellen das Ausgangsmaterial für die folgenden Untersuchungen dar.

- 2.1 Abb. 1 zeigt das Fourierspektrum des Hupsignals, wenn sich der Wagen auf den ruhenden Beobachter zu bewegt, bei der Bewegung des Wagens vom ruhenden Beobachter weg ergibt sich das Fourierspektrum in Abb. 2. Vergleichen Sie die beiden Spektren und erklären Sie qualitativ die Unterschiede. (Hinweis: Achten Sie genau darauf, welche Frequenzen in beiden Spektren einander entsprechen!)

- 2.2 Für den akustischen Dopplereffekt ergeben sich bei ruhendem Beobachter folgende Gleichungen:  $f'_E = f_S \frac{c}{c-v}$  bzw.  $f''_E = f_S \frac{c}{c+v}$ . Dabei bedeuten  $c$  die Schallgeschwindigkeit in Luft ( $c \approx 330\text{m/s}$ ) und  $v$  die Geschwindigkeit, mit der sich die Schallquelle dem Beobachter nähert oder sich von ihm entfernt.  $f_S$  ist die Frequenz, mit der die Quelle ein Signal aussendet,  $f'_E$  und  $f''_E$  sind die vom Beobachter wahrgenommenen Frequenzen des Signals.
- Interpretieren Sie die beiden Gleichungen im Hinblick auf den Einfluss der Geschwindigkeit  $v$  auf die Tonhöhe des vom Beobachter wahrgenommenen Signals und veranschaulichen Sie Ihre Aussagen anhand einer geeigneten Skizze. Beschreiben Sie insbesondere was geschieht, wenn sich die Geschwindigkeit, mit  $v = 0$  beginnend, der Schallgeschwindigkeit nähert.
- 2.3 Zeigen Sie zunächst, dass sich, ausgehend von den beiden Gleichungen in Teilaufgabe 2.2, die Geschwindigkeit  $v$  berechnen lässt zu:  $v = c \cdot \frac{f'_E - f''_E}{f'_E + f''_E}$ . Bestimmen Sie danach anhand eines geeigneten Frequenzpaares aus Abb. 1 und Abb. 2 die Geschwindigkeit des Fahrzeugs.
- 2.4 Bei der Aufnahme des Frequenzspektrums in Abb. 1 und Abb. 2 fuhr das Fahrzeug direkt über das am Boden stehende Mikrofon hinweg. Bei Beobachtungen an einer Landstraße stehen wir als Beobachter selbstverständlich weiter von der Fahrbahn entfernt, sodass uns ein Fahrzeug in etwas größerem Abstand seitlich passiert. Beschreiben und begründen Sie qualitativ, welchen Einfluss dieser Beobachtungsstandpunkt auf die Veränderung eines wahrgenommenen Hupsignals während der Vorbeifahrt eines Fahrzeugs hat.



**Anlagen:**

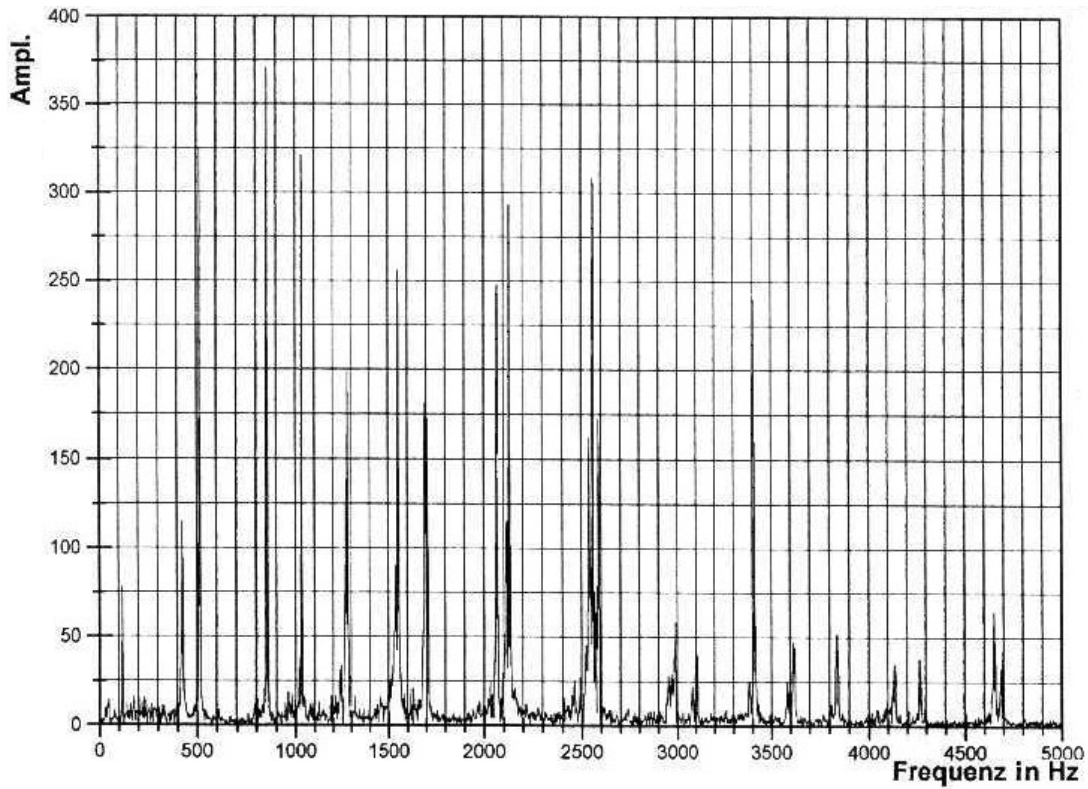


Abb. 1: Fourierspektrum der Hupsignale des sich nähernden Fahrzeugs

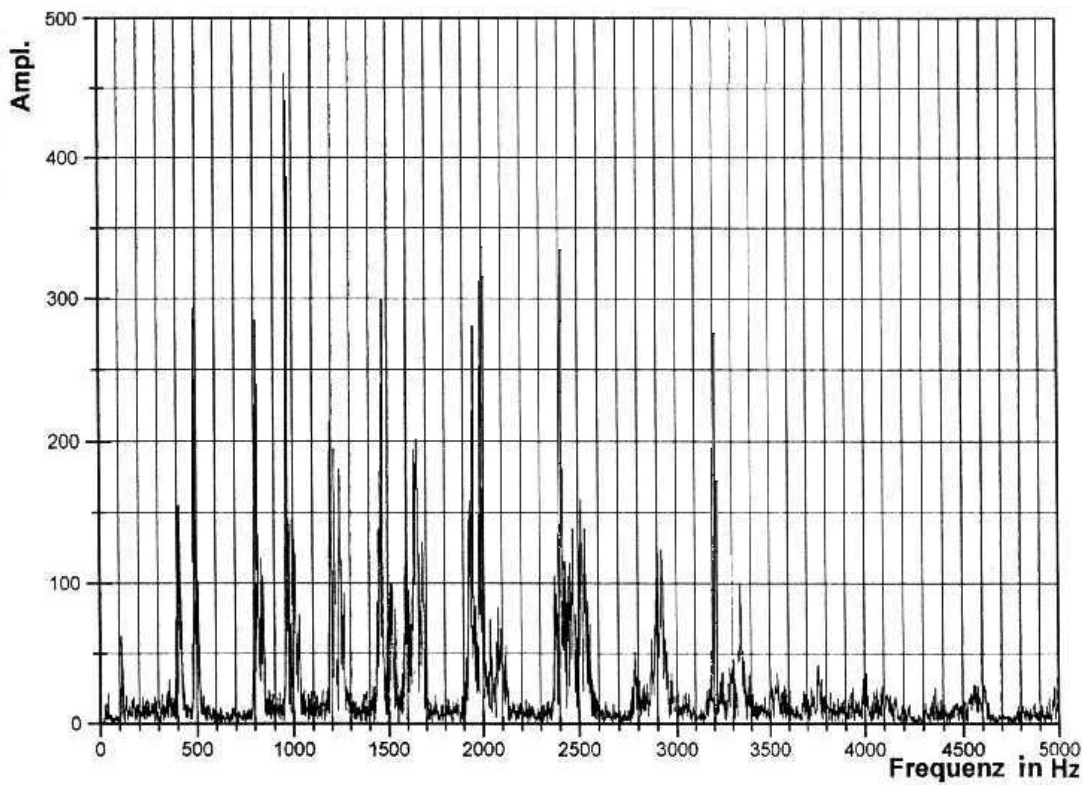


Abb. 2: Fourierspektrum der Hupsignale des sich entfernenden Fahrzeugs

## Lernvoraussetzungen, Anforderungsbereiche, Lösungen:

Bei den nachfolgenden Lösungen handelt es sich um eine ausführliche Darstellung einer Musterlösung. In kursiver Schrift sind die Lernvoraussetzungen sowie die Einordnung in die Anforderungsbereiche angegeben.

### Aufgabe 1:

Jahrgangsstufe 13.1 – Wellenoptik

Vorbemerkung: Die Beugung und Interferenz des Lichtes an einer CD wird im Lehrerversuch mit dem Licht eines Lasers und mit dem Licht einer Energiesparlampe gezeigt. Im 1. Versuchsteil werden Messdaten zur Bestimmung des Spurbabstands der CD aufgenommen.

1.1 Die Beugung an einem Transmissionsgitter wurde im Unterricht mithilfe des Huygens'schen Prinzips erklärt und zur Bestimmung der Wellenlänge genutzt. Dabei wurde eine Zuordnung zwischen Farbe und Wellenlänge hergestellt. Auch die Reflexion von Licht wurde mithilfe des Wellenmodells erklärt. Das Reflexionsgitter ist den Prüflingen nicht bekannt. Die Aufgabe fordert die Anwendung einer bekannten Modellvorstellung auf ein neues, aber strukturgleiches Problem.

(AF I/II)

a) Versuchsbeschreibung: Das Licht eines Lasers fällt senkrecht auf eine CD. Auf der (zum Beobachter rückwärtigen) Wand beobachtet man ein System von vier hellen Punkten. Der ungebeugte Reflex ist nicht zu sehen, da er in den Laser zurückführt.

Die folgenden Messdaten werden aufgenommen:

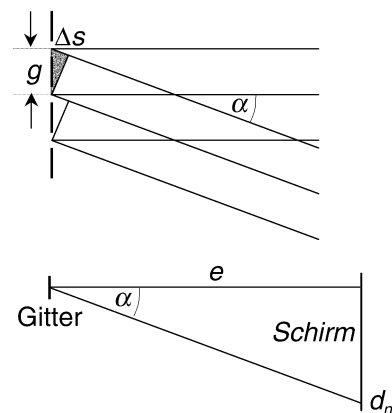
Abstand der CD von der Wand:  $e = 152,5\text{cm}$

Entfernung der hellen Punkte 1. Ordnung voneinander:  $2d_1 = 116\text{cm}$

Entfernung zwischen den hellen Punkten 1. und 2. Ordnung:  
 $d_2 - d_1 = 133\text{cm}$ .

b) Erklärung der Entstehung des Lichtmusters: In der Ebene des einfallenden und reflektierten Lichtes lässt sich nach dem Huygens'schen Prinzip jede Spur der CD als Erregerzentrum einer Elementarwelle auffassen. Die Elementarwellen breiten sich in alle Richtungen aus und interferieren miteinander. Hauptmaxima entstehen, wenn der Gangunterschied  $\Delta s$  benachbarter Wellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist:  $\Delta s = n\lambda$  (wobei  $n \in \mathbb{N}_0$  ist; vgl. obere Skizze). Wenn  $g$  klein

im Vergleich zu  $e$  ist, folgt für die Maxima  $\sin \alpha = \frac{n\lambda}{g}$ .



c) Aus  $\sin \alpha = \frac{n\lambda}{g}$  und  $\tan \alpha = \frac{d_n}{e}$  (vgl. untere Skizze) folgt

$$g = \frac{n\lambda}{\sin\left(\arctan\frac{d_n}{e}\right)}.$$

Mit der Wellenlänge  $\lambda = 632\text{nm}$  des Laserlichts und den gemessenen Werten ( $d_1 = 58\text{cm}$ ,  $d_2 = 191\text{cm}$  und  $e = 152,5\text{cm}$ ) ergeben sich in guter Übereinstimmung die beiden Werte:  $g_1 = 1,77 \cdot 10^{-6}\text{m}$  und  $g_2 = 1,62 \cdot 10^{-6}\text{m}$ . Der Spurabstand beträgt daher etwa  $1,7 \cdot 10^{-6}\text{m}$ .

d) Da für die Winkel, unter denen man Maxima wahrnimmt, die Gleichung

$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{g}$  gilt, kann wegen des Wertebereichs der Sinusfunktion die Ordnung  $n$  des jeweiligen Maximums nur solche Zahlen annehmen, für die gilt:

$\frac{n\lambda}{g} \leq 1$ . Für die Ordnungen der möglichen Maxima folgt daraus:  $n \leq \frac{g}{\lambda}$ . Mit

den Werten  $g = 1,59 \cdot 10^{-6}\text{m}$  und  $\lambda = 632\text{nm}$  erhält man  $n \leq 2,52$  und unter Berücksichtigung von  $n \in \mathbb{N}_0$  somit  $n \leq 2$ . Da das in sich reflektierte Licht (als Maximum 0. Ordnung) wieder zum Laser und somit nicht auf die Wand gelangt, beobachtet man insgesamt genau vier helle Punkte.

1.2 Die subjektive Beobachtungsweise beim zweiten Experiment und das Spektrum der Energiesparlampe sind für die Prüflinge neu. Die Aufgabe erfordert, das Wissen über die Farbzerlegung von Licht und über die Beugungs- und Interferenzerscheinungen an der CD kombiniert anzuwenden, um eine neue Farberscheinung zu erklären.

(AF II/III)

a) Der Laser wird gegen eine Energiesparlampe ausgetauscht, von der Licht durch einen etwa 2cm breiten Spalt auf die CD gelangt. Wenn man in der zum Spalt senkrechten Ebene des einfallenden und reflektierten Lichts auf die CD schaut, beobachtet man ein System von farbigen Streifen, die von innen nach außen in der Reihenfolge blau-grün-gelb-rot angeordnet sind.

b) Das Licht der Energiesparlampe enthält Licht unterschiedlicher Wellenlängen, für die die Interferenzbedingung  $\sin \alpha = \frac{n\lambda}{g}$ ,  $n \in \mathbb{N}_0$ , bei verschiedenen

Winkeln  $\alpha$  erfüllt ist. Je größer  $\lambda$ , desto größer ist auch der Winkel  $\alpha$ , unter dem das Maximum  $n$ -ter Ordnung erscheint. Da für die Wellenlängen von Licht unterschiedlicher Farbe gilt  $\lambda_{\text{blau}} < \lambda_{\text{grün}} < \lambda_{\text{gelb}} < \lambda_{\text{rot}}$ , beobachtet man die farbigen Streifen 1. und 2. Ordnung jeweils von innen nach außen in der Reihenfolge blau-grün-gelb-rot.

## Aufgabe 2:

### Jahrgangsstufe 12.1 – Mechanik: Mechanische Schwingungen und Wellen

Vorbemerkung: Die den Schülerinnen und Schülern vorgelegten Fourierspektren enthalten farbige Messkurven; eines der beiden Spektren wird auf Folie vorgegeben, damit eine direkte Überlagerung beider Spektren möglich ist.

2.1 Fourieranalysen wurden im Unterricht mithilfe eines Rechnerprogramms durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler wissen, dass Geräusche, Klänge und Töne aus einzelnen Frequenzen zusammengesetzt sind. Neu ist: Sie müssen die Ähnlichkeiten und Unterschiede in den beiden Spektren erkennen. Die richtige Zuordnung der einander entsprechenden Frequenzen erfordert eine sehr sorgfältige Analyse der beiden Spektren, da es ansonsten aufgrund der Amplitudendifferenzen entsprechender Frequenzen in beiden Diagrammen leicht zu Fehlern kommen kann.

(AFB I, II)

Gemeinsamkeiten und Unterschiede: Beide Spektren weisen annähernd gleiche Struktur auf bzgl. der Anzahl und der relativen Lage der registrierten Frequenzen. Im Spektrum der auf den Beobachter zu bewegten Schallquelle (Hupe) sind alle Frequenzen gegenüber dem Spektrum der sich vom Beobachter fortbewegenden Schallquelle zu (etwas) größeren Werten hin verschoben, wobei der Betrag der Frequenzverschiebung mit der Frequenz zunimmt.

Erklärung: Aufgrund des Dopplereffekts für eine bewegte Schallquelle und ruhenden Beobachter werden die ausgesandten Frequenzen bei Annäherung des Fahrzeugs an den Beobachter zu größeren Werten verschoben, bei der Fortbewegung vom ruhenden Beobachter weg sind die Frequenzen zu kleineren Werten verschoben.

Bemerkung: Erkennt eine Schülerin oder ein Schüler, dass beide Spektren (im Wesentlichen) durch eine zentrische Streckung auseinander hervorgehen ( $f'_E = k \cdot f''_E$ ), wird dies in der Bewertung der Leistung besonders gewürdigt.

2.2 Der akustische Dopplereffekt ist für alle verschiedenen Fälle im Unterricht behandelt worden. Die Schülerinnen und Schüler wissen um die Frequenzveränderung bei Annäherung und Entfernung von Schallquellen auf den Beobachter.

(AFB II)

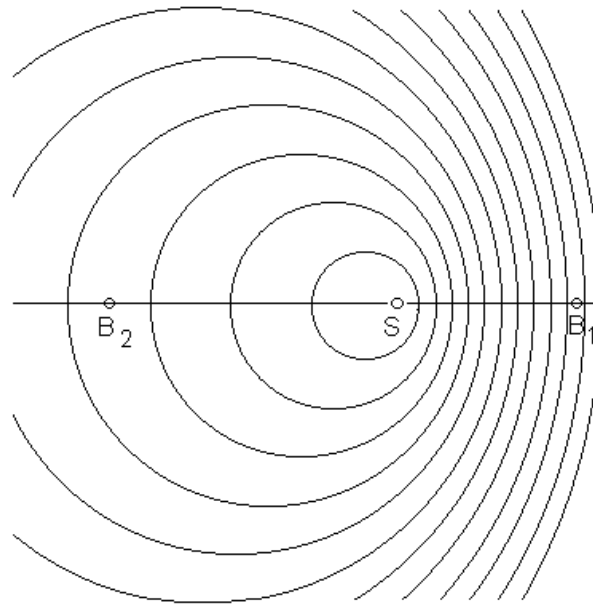
Für die Annäherung der Quelle an den Beobachter zeigt die Gleichung  $f'_E = f_S \frac{c}{c-v}$  eine Erhöhung der vom ruhenden Beobachter wahrgenommenen Frequenz gegenüber der von der Quelle ausgesandten.

Entfernt sich die Quelle vom Beobachter, zeigt die Gleichung  $f''_E = f_S \frac{c}{c+v}$  eine Erniedrigung

der wahrgenommenen Frequenz. Für  $v = 0$  liefern beide Gleichungen dieselbe Frequenz  $f'_E = f''_E = f_S$ ; für  $0 < v < c$  ist  $f'_E > f_S$  bzw.  $f''_E < f_S$ . Nähert sich die

Geschwindigkeit  $v$  immer mehr der Schallgeschwindigkeit  $c$ , wächst  $f'_E$  über alle Grenzen,  $f''_E$  geht gegen 0.

Skizze:



Bewegt sich die Schallquelle  $S$  auf  $B$  zu (Position  $B_1$ ), dann erreichen die zeitlich nacheinander von  $S$  ausgesandten Wellenberge  $B$  in dichter Folge als bei ruhender Quelle:  $B$  registriert eine höhere Frequenz. Entfernt sich  $S$  von  $B$  (Position  $B_2$ ), dann sind die an  $B$  vorbeilaufenden Wellenberge weiter auseinander als bei ruhender Quelle:  $B$  registriert eine niedrigere Frequenz.

- 2.3 Die Herleitung der Gleichung aus den beiden gegebenen ist mathematisch nicht anspruchsvoll. Zur Lösung der Aufgabe müssen bekannte Verfahren angewendet werden.

(AFB I, II)

Stellt man (beispielsweise) die Gleichung  $f'_E = f_S \frac{c}{c-v}$  nach  $f_S$  um, setzt den

Term für  $f_S$  in die zweite Gleichung ein, erhält man:  $f''_E = f'_E \frac{c-v}{c} \frac{c}{c+v}$ , oder

vereinfacht:  $f''_E(c+v) = f'_E(c-v)$ . Die Umstellung dieser Gleichung nach  $v$  ergibt

$$v = c \cdot \frac{f'_E - f''_E}{f'_E + f''_E}.$$

Hinreichend gut ablesbare einander entsprechende Frequenzen sind im oberen Frequenzbereich  $f'_E = 3400$  Hz und  $f''_E = 3210$  Hz bzw. im mittleren Frequenzbereich beispielsweise  $f'_E = 1550$  Hz und  $f''_E = 1470$  Hz. Mit der Schallgeschwindigkeit in Luft  $c = 330$  m/s ergibt dies im ersten Fall  $v = 9,5$  m/s  $\approx 34$  km/h und im zweiten Fall  $v = 8,7$  m/s  $\approx 31$  km/h. (Andere Frequenzpaare liefern vergleichbare Ergebnisse.)

Bemerkung: Die Schülerinnen und Schüler können unterschiedliche Frequenzpaare zur Auswertung heranziehen. Begründen sie dabei auch, warum sie sich für Frequenzen im oberen Bereich des Spektrums entschieden haben (größerer absoluter Abstand der Frequenzen und damit Verringerung des Ablesefehlers), wird dies in der Bewertung der Leistung ebenso gewürdigt wie die begründete Berechnung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit mindestens zwei Frequenzpaaren (Prüfung der Stimmigkeit des Ergebnisses).

- 2.4 Diese Aufgabe stellt hohe Anforderungen an den richtigen Umgang mit physikalischen Phänomenen. Sollte den Schülerinnen und Schülern der deutlich hörbare Effekt nicht bekannt sein, kann man ihn aus der „Geometrie“ des Vorbeifahrens erschließen. Der Effekt wurde nicht explizit im Unterricht erwähnt.  
(AFB III)

Wenn der Wagen noch weit entfernt ist, ist der Klang höher als von der Hupe erzeugt, bleibt aber annähernd gleich hoch. Bei Annäherung des Wagens nimmt die wahrgenommene Klanghöhe nicht sprunghaft sondern kontinuierlich ab, und dies geschieht solange, wie der Wagen sich noch nicht wieder in allzu großer Entfernung vom Beobachter fortbewegt. Bei größerer Entfernung des Wagens bleibt der jetzt deutlich tiefere Ton annähernd konstant.

Qualitative Begründung: Für die Dopplerverschiebung ist die Geschwindigkeitskomponente der Geschwindigkeit der Schallquelle verantwortlich, die direkt auf den Beobachter zu zeigt. Diese stimmt anfangs wie am Ende praktisch mit der Geschwindigkeit der Schallquelle überein. Bewegt sich die Schallquelle jedoch seitlich auf den Beobachter zu, wird diese Komponente stetig kleiner, sodass die Frequenzverschiebung immer geringer wird. Die Frequenzverschiebung verschwindet in dem Moment, in dem die Quelle den Beobachter genau querab passiert. Entfernt sich die Quelle weiter, wird die Frequenzverschiebung zu kleineren Frequenzen hin wieder größer, bis sie dann maximal ist, wenn sich die Quelle sehr weit vom Beobachter entfernt hat.

Bemerkung: Zur qualitativen Begründung kann man auch die Skizze aus Aufgabe 2.2 heranziehen, wobei der Beobachter bei seitlichem Standpunkt in Bezug auf die Fahrstrecke der Fahrzeugs (in der Abbildung beispielsweise am unteren Rand der Skizze) die ankommenden Schallwellen (Wellenberge) mit den dort erkennbaren Wellenlängen wahrnimmt.

**Anforderungsbereiche und Zuordnung der Inhalte zu den Jahrgangsstufen:**

Aufgabe	AFB I	AFB II	AFB III	Jgst 12.1	Jgst 12.2	Jgst 13.1	Jgst 13.2
1.1							
1.2							
2.1							
2.2							
2.3							
2.4							

## 5.4 Die mündliche Abiturprüfung

Für die mündliche Prüfung gelten im Grundsatz die gleichen Anforderungen wie für die schriftliche Prüfung.

Die Prüfung ist insgesamt so anzulegen, dass der Prüfling

- sicheres, geordnetes Wissen
  - Vertrautheit mit der Arbeitsweise des Faches
  - Verständnis und Urteilsfähigkeit
  - selbstständiges Denken
  - Sinn für Zusammenhänge des Fachbereichs
  - Darstellungsvermögen
- beweisen kann.

Der Prüfling soll in einem ersten Teil selbstständig die vorbereitete Aufgabenlösung in zusammenhängendem Vortrag präsentieren. In einem zweiten Teil sollen vor allem größere fachliche und fachübergreifende Zusammenhänge in einem Prüfungsgespräch angesprochen werden.

### 5.4.1 Aufgabenstellung für den ersten Teil der mündlichen Prüfung

- (1) Für jede Prüfung ist dem Prüfling eine für ihn neue, begrenzte Aufgabe zu stellen. Eine ausschließlich oder vorrangig auf Reproduktion ausgerichtete Aufgabe entspricht nicht den Prüfungsanforderungen.
- (2) In der Regel sollen ein übersichtliches Experiment oder geeignetes Material zur Aufgabenstellung verwendet werden. Bei mathematischen Darstellungen sind die physikalischen Interpretationen hervorzuheben, längere Deduktionen und Rechnungen sind zu vermeiden. Liegt der Aufgabe ein Experiment zu Grunde, mit dem während der Prüfungsvorbereitung quantitative Arbeitsunterlagen zu erbringen sind, so sind diese bereits beim Erstellen der Aufgabe zu sichern. Auf diese Weise ist es möglich, bei eventuellem Missslingen des Experiments die erforderlichen Daten für die weitere Bearbeitung zur Verfügung zu stellen.
- (3) Bei Aufgaben mit Lehrerversuch muss ein weiteres Mitglied des Prüfungsausschusses die Durchführung des Experimentes beobachten.

### 5.4.2 Aufgabenstellung für den zweiten Teil der mündlichen Prüfung

- (1) Der zweite Teil der Prüfung besteht aus einem Prüfungsgespräch, das vor allem größere fachliche Zusammenhänge überprüfen soll, die sich an die Aufgabe für den ersten Teil anschließen.

- (2) Bezieht sich die gestellte Aufgabe im ersten Prüfungsteil nur auf die Sachgebiete eines Halbjahres, so muss der zweite Prüfungsteil Sachgebiete eines weiteren Halbjahres ansprechen.
- (3) Es würde dem Sinn des zweiten Prüfungsteils widersprechen, wenn die/der Prüfende den Prüfling unter starker Führung die Lösung der Aufgabe für den ersten Prüfungsteil noch einmal versuchen ließe.
- (4) Es ist nicht zulässig, zusammenhanglose Einzelfragen aneinander zu reihen.
- (5) Der zweite Teil der Prüfung sollte etwa die Hälfte der Gesamtprüfungszeit in Anspruch nehmen.

### **5.4.3 Bewertung der Prüfungsleistungen**

Für die Bewertung der Prüfungsleistungen gelten in der mündlichen Prüfung die gleichen Grundsätze wie für die schriftliche Prüfung. Die der Prüfungsaufgabe zu Grunde liegenden Anforderungsbereiche sind dabei zu beachten.

Außerdem ergeben sich für das Prüfungsgespräch im zweiten Teil ergänzende Bewertungskriterien:

- richtiges Erfassen von Fachfragen
- Fähigkeit, über einen physikalischen Sachverhalt sprachlich verständlich und in logischem Zusammenhang zu referieren
- Fähigkeit, beim Prüfungsgespräch sachgerecht zu argumentieren, auf Fragen und Einwände einzugehen und gegebene Hilfen aufzugreifen
- Einbringen und Verarbeiten weiterführender Fragestellungen im Verlauf des Prüfungsgesprächs
- sachliche Richtigkeit und Vollständigkeit des beim Prüfungsgespräch geforderten besonderen Sachwissens unter Berücksichtigung der Komplexität der Inhalte und des Grades an Selbstständigkeit der Prüfungsleistung.

### **5.4.4 Beispiele für Prüfungsaufgaben in der mündlichen Abiturprüfung**

#### **Aufgabe für die mündliche Abiturprüfung**

#### **1. Prüfungsteil**

##### **Thema: Elektromagnetische Induktion**

Im Folgenden werden verschiedenartige „Fallbewegungen“ kleiner Magneten in Kunststoff- und Metallröhren experimentell untersucht und ausgewertet, wobei aufgrund der Induktionswirkung besondere Phänomene auftreten.

1. Führen Sie folgende Versuche durch: Ein kleiner, aber starker, zylindrischer Permanentmagnet fällt einmal durch ein schmales Kunststoffrohr, ein anderes



Mal durch ein ebenso schmales Aluminiumrohr (Länge jeweils  $l = 1,00\text{m}$ , Masse des Magneten  $m = 5\text{g}$ ). Messen Sie die Fallzeiten des verwendeten Magneten beim Fall im Aluminiumrohr.

- a) Nehmen Sie Stellung zu der jeweiligen Art der Fallbewegung. Es sind alle Phasen der jeweiligen Bewegung möglichst genau qualitativ zu beschreiben und zu benennen sowie Aussagen zu den wirkenden Kräften (incl. Luftreibung) zu machen.
  - b) Betrachten Sie jetzt nur das Fallen des Magneten im Aluminiumrohr. Wie groß ist die anfängliche potentielle Energie des Magneten bezogen auf den Austritt aus dem Rohr, wie groß ist seine kinetische Energie beim Verlassen des 1m langen Aluminiumrohres? Wie ist die Differenz zu erklären?
  - c) Welche Änderung in der Beobachtung ist zu vermuten, wenn man statt des Aluminiumrohres ein von den geometrischen Abmessungen her identisches Bleirohr nimmt (Blei hat einen deutlich größeren spezifischen elektrischen Widerstand als Aluminium)?
2. Lassen Sie zwei identische kleine zylindrische Permanentmagneten, hintereinander hängend, durch das Aluminiumrohr fallen. Messen Sie die Fallzeit für das Magnetpaar. Vergleichen Sie die gemessene Fallzeit mit der Fallzeit für jeden einzelnen Magneten und nehmen Sie zu dem Ergebnis Stellung (es werden nur qualitative Begründungen erwartet).
  3. Stellen Sie anhand der vorherigen Versuchsergebnisse eine Prognose auf, wie der zylindrische Permanentmagnet zwischen zwei seitlichen Führungsschienen auf einer schräg stehenden Aluminiumplatte hinunter rollt. Ist ein Unterschied zu erwarten, wenn man den Magneten rutschen lässt? (Rein qualitative Erklärungen. Achtung: Rollen und Rutschen stellen recht komplexe Vorgänge dar!)

### **Hinweise und Erläuterungen:**

Jahrgangsstufe 13/I – Elektrik: Elektromagnetismus; Mechanik: Energie und Arbeit

Vorbemerkung: Der Prüfling erhält ein Aluminium- und ein Kunststoffrohr (beide mit der Länge  $l = 1\text{m}$  und dem Durchmesser  $d \approx 12\text{mm}$ ), zwei kleine zylindrische Magneten gleicher Bauart (Durchmesser  $d \approx 10\text{mm}$ ) sowie eine Stoppuhr. In diesen Aufgaben geht es um die Wirbelstrombremse in einer für den Prüfling aus dem Unterricht bekannten Situation, die jedoch nur kurz und ohne eingehende Erläuterung und Untersuchung der Fallbewegungen als ein (weiteres) Beispiel für Wirbelstrombremsen gezeigt worden ist.

1. Die Fallzeit des Magneten im Aluminiumrohr beträgt etwa 4,5s.
  - a) Im Unterricht sind die Gesetzmäßigkeiten der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten Bewegung quantitativ sowie Bewegungen mit Reibung qualitativ behandelt worden.  
(AFB II)

Fallbewegung im Kunststoffrohr: Es handelt sich wegen der allein wirkenden Gewichtskraft während der gesamten Fallbewegung um die gleichmäßig beschleunigte Bewegung beim freien Fall mit  $g = 9,81\text{m/s}^2$ . Die Luftreibung macht sich noch nicht deutlich bemerkbar.

Fallbewegung im Aluminiumrohr: Nach einer sehr kurzen Beschleunigungsphase bewegt sich der Magnet mit gleich bleibender Geschwindigkeit im Rohr nach unten; es liegt eine gleichförmige Bewegung vor. Die Luftreibung macht sich wegen der geringen Geschwindigkeit nicht bemerkbar.

- b) Die Energiebetrachtungen sind in diesem Zusammenhang neu, aber nicht schwierig durchzuführen (alle Grundlagen wurden im Unterricht erarbeitet).  
(AFB I, II)

Berechnung der potentiellen Energie: Die anfängliche potentielle Energie des Magneten am oberen Ende des Rohres  $E_{\text{pot}} = mgh$  (Bezugspunkt am

$$\text{Fuß des Rohres}) \text{ beträgt } E_{\text{pot}} = 0,005 \cdot 9,81 \cdot 1\text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 0,049\text{J} .$$

Berechnung der kinetischen Energie: Aufgrund seiner Fallzeit von  $t \approx 4,5\text{s}$  beträgt die Geschwindigkeit  $v$  des Magneten in dem  $l = 1\text{m}$  Rohr  $v \approx 0,22\text{m/s}$ . Für seine kinetische Energie  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$  ergibt sich daher

$$E_{\text{kin}} = 0,5 \cdot 0,005 \cdot 0,22^2 \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 0,00012\text{J} .$$

Da aus den beiden Ergebnissen  $E_{\text{kin}} \ll E_{\text{pot}}$  folgt, wird fast die gesamte mechanische Energie während der Fallbewegung aufgrund der induzierten Wirbelströme im Aluminiumrohr in innere Energie umgewandelt.

- c) Der Prüfling kann nur Mutmaßungen anstellen über das Fallverhalten in einem Bleirohr, das einen größeren spezifischen Widerstand und damit kleinere Wirbelströme entstehen lässt, die die Fallbewegung mutmaßlich nicht so stark verlangsamen.

(AFB II)

Ein Bleirohr hat einen deutlich höheren spezifischen elektrischen Widerstand als das Aluminiumrohr. Daher sind im Vergleich zum Aluminiumrohr im Bleirohr nicht so große elektrischen Wirbelströme zu erwarten. Der Anteil an in innere Energie umgesetzter Energie wird geringer sein, sodass der Magnet mit einer höheren kinetischen Energie, also einer größeren Geschwindigkeit, im Bleirohr hinab fallen wird. Nach einer etwas längeren Beschleunigungsphase ist aber auch hier eine gleichförmige Sinkgeschwindigkeit zu erwarten.

2. Der Prüfling soll die größere Stärke des Magnetfelds des „Gespanns“ aus zwei Magneten sowie die damit verbundene größere Wirbelstrombremswirkung als sich mit der größeren Gewichtskraft kompensierend beschreiben (hier darf keine Verwechslung mit der Unabhängigkeit der Bewegung freifallender Körper von deren Masse erfolgen!).

(AFB II)

Die Messung der Fallzeit des Magnetpaares zeigt etwa das gleiche Ergebnis wie man es beim Fall jedes der beiden Magneten allein erhält. Da die Gewichtskraft des Magnetpaares doppelt so groß ist, muss folglich auch die auf die Wirbelströme zurückzuführende bremsende Kraft doppelt so groß sein. Dies ist nur dadurch zu erklären, dass das stärkere Magnetfeld des Magnetpaares auch zu einer verstärkten Wirbelstombremswirkung führt.

3. Im letzten Teil werden komplexe Systemverhalten qualitativ analysiert (Haft- und Gleit- und Rollreibung, Wirbelstrombremse): Hier sind unterschiedlich gute Darstellungen denkbar.

(AFB III)

Beim Hinabrollen zwischen zwei seitlichen Führungsschienen auf einer schräg stehenden Aluminiumplatte wird ebenfalls eine Wirbelstrombremswirkung erwartet, die dazu führt, dass sich nach einer anfänglichen Beschleunigungsphase ein gleichförmiges Hinunterrollen einstellt.

Ein Hinunterrutschen (bei hinreichend stark geneigter Ebene) führt zu einer viel größeren bremsenden Reibungskraft als das Hinunterrollen, sodass die Wirbelstrombremswirkung hier kleiner ist. Inwieweit sich die Einflüsse von bremsender Gleitreibungskraft und verringerter Bremskraft infolge der Wirbelstrombildung kompensieren, kann hier nicht quantitativ vorausgesagt werden.

## 2. Prüfungsteil

### **Thema: Induktion (Anschluss an den ersten Prüfungsteil)**

#### **– Strahlungsgesetz – Planck'sches Wirkungsquantum**

Vorbemerkung: Die Fortsetzung der Prüfung im zweiten Prüfungsteil kann je nach Kursart unterschiedlich erfolgen: Für den Grundkurs kann der zweite Prüfungsteil etwa den unten stehenden Verlauf nehmen, wobei die genauen Formulierungen selbstverständlich vom jeweiligen Prüfungsverlauf abhängig sind. Eine Beendigung der Prüfung ist, je nach Leistungsfähigkeit des Prüflings, an unterschiedlichen Stellen möglich. Im Leistungskurs ist ein Beginn des zweiten Prüfungsteils in der Form denkbar, dass der Prüfling zunächst die im Unterricht durchgeführte vertiefte Betrachtung des Induktionsgesetzes darstellt. Danach wird man im weiteren Prüfungsgespräch Kürzungen der oben für den Grundkurs genannten weiteren Prüfungsinhalte dahingehend vornehmen, dass man etwa einen Schwerpunkt auf die vertiefte Besprechung des Planck'schen Wirkungsquantum legt.

#### Induktion

- a) Ausgehend vom ersten Teil der Prüfung, in dem die Entstehung von Wirbelströmen durch Induktionswirkung im Mittelpunkt stand, soll der Prüfling jetzt besonders die Entstehung einer Induktionsspannung durch die zeitliche Veränderung eines Magnetfelds formal richtig darstellen.

(AFB II)

- b) Dem Prüfling wird (beispielsweise) eine Prospektkopie eines Küchengeräteherstellers über Induktionskochstellen vorgelegt (gegebenenfalls wird ihm eine schematische Darstellung einer solchen Kochstelle als Hilfe gereicht). Der

Prüfling soll die prinzipielle Funktionsweise der Kochstelle (Erkennen eines aufgestellten Topfes, Erzeugung von heizenden Wirbelströmen im Boden des Topfes) beschreiben.

(AFB III)

#### Planck'sches Strahlungsgesetz

Die (induktive) Energieübertragung vom Magnetfeld der Spulen hin zur Wärme im Topfboden dient als Übergang zur Energieübertragung von der Sonne auf die Erde. Daran anschließend: Planck'sches Strahlungsgesetz (qualitative Grafik der spektralen Verteilung der Wärmestrahlung der Sonne, Formel nicht verlangt, Lage des Maximums (auch im Hinblick auf die Empfindlichkeit der Augen), Abhängigkeit von der Temperatur des Strahlers).

(AFB I, II)

#### Planck'sches Wirkungsquantum

Das Auftreten des Planck'schen Wirkungsquantums im (ansonsten nicht quantitativ verlangten) Planck'schen Strahlungsgesetz kann überleiten zur Skizzierung der experimentellen  $h$ -Bestimmung aus dem Unterricht.

(AFB II)

## 5.5 Bewertung der besonderen Lernleistung

Die Absicht, eine besondere Lernleistung zu erbringen (vgl. Kapitel 3.2.4), muss spätestens am Ende der Jahrgangsstufe 12 bei der Schule bzw. bei der Schulleiterin oder beim Schulleiter angezeigt werden. Die Schulleitung entscheidet in Abstimmung mit der Lehrkraft, die als Korrektor vorgesehen ist, ob die vorgesehene Arbeit als besondere Lernleistung zugelassen werden kann. Die Arbeit ist nach den Maßstäben und den Verfahren für die Abiturprüfung zu korrigieren und zu bewerten. In einem Kolloquium, das im Zusammenhang mit der Abiturprüfung nach Festlegung durch die Schule stattfindet, stellt der Prüfling vor einem Fachprüfungsausschuss die Ergebnisse der besonderen Lernleistung dar, erläutert sie und antwortet auf Fragen. Die Endnote wird auf Grund der insgesamt in der besonderen Lernleistung und im Kolloquium erbrachten Leistungen gebildet; eine Gewichtung der Teilleistungen findet nicht statt. Bei Arbeiten, an denen mehrere Schülerinnen und Schüler beteiligt waren, muss die individuelle Schülerleistung erkennbar und bewertbar sein.

## **6 Hinweise zur Arbeit mit dem Lehrplan**

### **Aufgaben der Fachkonferenzen**

Nach § 7 Abs. 3 Nr. 1 des Schulmitwirkungsgesetzes entscheidet die Fachkonferenz über

- Grundsätze zur fachmethodischen und fachdidaktischen Arbeit sowie über
- Grundsätze zur Leistungsbewertung.

Die Beschlüsse der Fachkonferenz gehen von den im vorstehenden Lehrplan festgelegten obligatorischen Regelungen aus und sollen die Vergleichbarkeit der Anforderungen sicherstellen. Hierbei ist zu beachten, dass die Freiheit und Verantwortung der Lehrerinnen und Lehrer bei der Gestaltung des Unterrichts und der Erziehung durch Konferenzbeschlüsse nicht unzumutbar eingeschränkt werden dürfen (§ 3 Abs. 2 SchMG).

Die Fachkonferenz berät und entscheidet z. B. in den folgenden Bereichen:

- Präzisierung der fachlichen Obligatorik und Maßnahmen zur Sicherung der Grundlagenkenntnisse
- Absprachen zu den fachspezifischen Grundlagen der Jahrgangsstufe 11
- Absprachen über die konkreten fachspezifischen Methoden und die konkreten Formen selbstständigen Arbeitens
- Absprachen über den Rahmen von Unterrichtssequenzen
- Absprachen über die Formen fachübergreifenden Arbeitens und den Beitrag des Faches zu fächerverbindendem Unterricht
- Koordination des Einsatzes von Facharbeiten
- Absprachen zur besonderen Lernleistung.

### **Grundsätze zur Leistungsbewertung**

Grundsätze und Formen der Lernerfolgsüberprüfung sind in Kapitel 4 behandelt worden. Es ist die Aufgabe der Fachkonferenz, diese Grundsätze nach einheitlichen Kriterien umzusetzen.

Beschlüsse beziehen sich auf

- den Einsatz von Aufgabenarten
- das Offenlegen und die Diskussion der Bewertungsmaßstäbe
- die Erstellung gemeinsamer Klausurthemen und Abituraufgaben
- die beispielhafte Besprechung korrigierter Arbeiten.

## **Beiträge der Fachkonferenzen zur Schulprogrammentwicklung und zur Evaluation schulischer Arbeit**

Aussagen zum fachbezogenen und fachübergreifenden Unterricht sind Bestandteil des Schulprogramms. Die Evaluation schulischer Arbeit bezieht sich zentral auf den Unterricht und seine Ergebnisse. Die Fachkonferenz spielt deshalb eine wichtige Rolle in der Schulprogrammarbeit und bei der Evaluation des Unterrichts. Dabei sind Prozess und Ergebnisse des Unterrichts zu berücksichtigen. Die Fachkonferenz definiert die Evaluationsaufgaben, gibt Hinweise zur Lösung und leistet insoweit ihren Beitrag zur schulinternen Evaluation.

In diesem Zusammenhang berät die Fachkonferenz u. a. auch folgende Themen:

- interne Fortbildungsmaßnahmen im Zusammenhang mit dem Fach Physik
- Ausbildung und Betreuung von Referendarinnen und Referendaren im Fach Physik
- Fördermaßnahmen für die Teilnahme von Schülerinnen und Schülern an Wettbewerben
- Kooperation mit Universitäten, Firmen und anderen Institutionen, die das fachliche Lernangebot unterstützen, ergänzen und erweitern können.

## 7 Anhang

### KONTEXTVORSCHLÄGE

In den hier dargestellten Kontexten werden die drei Bereiche des Faches zusammengeführt. Es wird eine Verknüpfung hergestellt zwischen Kontextbausteinen, Gegenständen und Methoden sowie Formen des selbstständigen Arbeitens. Die ausgearbeiteten Kontexte sind Beispiele dafür, wie Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe kontextorientiert unter Beachtung der Obligatorik geplant werden kann. Sie sind nicht als Vorgabe zu verstehen, sondern dienen als Anregung, eigene Kontexte zu entwickeln.

Die beschriebenen Kontexte sind nach Sachbereichen geordnet, die durch Überschriften ausgewiesen sind. Wenn ein Kontext mehrere Sachgebiete berührt, wird er dort aufgeführt, wo sein inhaltlicher Schwerpunkt liegt. Einige Kontexte sind aufeinander bezogen – z. B. Die Welt der Töne und Die Welt der Farben. Sie sind unter in Klammern gesetzten Inhaltsbereichen zusammengefasst. Zunächst wird der schematische Aufbau der Darstellung kurz erläutert.

#### Name des Kontextes

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Titel des Kontextbausteins</b> Thematische Unterpunkte des jeweiligen Kontextbausteins	Fachliche Gegenstände, die bei der unterrichtlichen Behandlung der Kontextbausteine eine Rolle spielen (Es kann sich um die gleichen Formulierungen handeln, die in der Liste der fachlichen Inhalte (Kapitel 2.1) genannt sind, sie können aber auch geeignet an die Themenstellung angepasst sein.)	Fachliche Methoden Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens → Bezüge zu anderen innerfachlichen Themen → fachübergreifende Bezüge

## MECHANIK

### Ein „Forschungsauftrag“

In diesem Kontext steht die Beschäftigung mit fachlichen Methoden und die Einübung von Formen selbstständigen Arbeitens im Vordergrund. Die Lerngruppe simuliert ein „Forscherteam“, das den Auftrag erhält, ein mehrparametrisches Problem empirisch quantitativ zu untersuchen und einen Abschlussbericht an den Auftraggeber zu schreiben. Im Folgenden wird dies am Beispiel der Schwingungsdauer eines Federpendels beschrieben, man könnte aber auch die Abhängigkeit der Frequenz einer schwingenden Saite von unterschiedlichen Saitenparametern untersuchen. Das Projekt eignet sich gut zur Behandlung am Anfang der Jahrgangsstufe 11, da hier unterschiedliche Vorkenntnisse methodischer Art aus der Sekundarstufe I angeglichen werden können.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Ein „Forschungsauftrag“</b> Ermittlung der Teilformeln für die Schwingungsdauer eines Federpendels: <math>T = f(m)</math>, <math>T = g(D)</math> und <math>T = h(A)</math> Ermittlung der Funktion eines Graphen durch Linearisierung Abschätzung von statistischen und apparativen Messgenauigkeiten durch wiederholte Messung oder durch geeignete Zusammenfassung der Messwerte verschiedener Teams Zusammensetzung mehrerer Teilfunktionen zu einer Gesamtfunktion</p>	<p>Schwingungsvorgänge und -größen Federpendel, Schwingungsdauer des Federpendels Fehlerbetrachtungen</p>	<p>Die Schülerinnen und Schüler arbeiten selbstständig in kleinen Gruppen an verschiedenen Themen. Sie protokollieren ihre Experimente. In eingeschobenen Kolloquien berichten die einzelnen Gruppen von ihren Arbeiten. Die Ergebnisse werden diskutiert und neue Gruppenaufträge vergeben. Am Ende steht ein gemeinsamer Abschlussbericht. Die Lehrerin bzw. der Lehrer hat die Aufgabe zu beraten und das gesamte Projekt zu strukturieren.</p>



## Teilnahme am Straßenverkehr

Die Mechanik weist in großem Umfang unmittelbare Bezüge zu Alltagserfahrungen auf. Viele Kontexte, in deren Rahmen Mechanik betrieben wird, werden daher von den Schülerinnen und Schülern selbst benannt werden können. In der Regel wird es notwendig sein, den Blick auf Problemzusammenhänge zu lenken, die eine Quantifizierung notwendig erscheinen lassen. Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler mit Beschleunigungs- und Bremsvorgängen im Straßenverkehr, mit Überholmanövern, Gebirgsfahrten und Benzinverbrauch bieten eine Vielfalt relevanter Probleme für die Gestaltung der Lernprozesse.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Anfahren und Überholen</b> Beschleunigen aus dem Stand, Beschleunigungsdauer Strecke und Dauer von Überholvorgängen Sichtweite	Intervallgeschwindigkeit, Momentangeschwindigkeit mittlere Beschleunigung, Momentanbeschleunigung Gesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung Relativitätsprinzip	Aufnahme und Auswertung von t-s-Diagrammen und t-v-Diagrammen Mathematisierung der Abhängigkeiten → Der freie Fall und seine historische Einordnung
<b>Bremsen</b> Erfahrungen mit Bremsvorgängen Faustformel der Fahrschule Anhalte- Reaktions- und Bremsweg je nach Fahrbahneschaffenheit Sicherheitsabstand Crash (Sicherheitsgurt, Airbag, Knautschzonen)	Trägheitssatz, träge Masse Kraft, Grundgleichung der Mechanik Reibungskräfte Wechselwirkungsprinzip plastischer Stoß Impuls, Impulserhaltung Druck	systematisches Experimentieren Analyse und Prognose von Bewegungsabläufen mithilfe des Kraftansatzes Modellbildung und Simulation Literaturrecherche und arbeitsteiliges Referat mit historischen und modernen Experimenten Analyse von Verkehrssituationen zunehmender Komplexität (arbeitsteilige Gruppenarbeit, Referate) → Fallbewegungen mit Reibung, senkrechter Wurf → Fahrzeugantrieb
<b>Nutzung des Treibstoffs – Energiebilanzen</b> Verbleib der einem Fahrzeug zugeführten Energie Energieumsatz bei konstanter Geschwindigkeit Energieumsatz beim Beschleunigen Bilanzierung von Energie als Prognoseinstrument ökonomisches Fahren	Lageenergie und Hubarbeit Bewegungsenergie und Beschleunigungsarbeit Energieentwertung und Reibungsarbeit Übertragung, Umwandlung, Erhaltung und Entwertung der Energie in der Mechanik Energie als Bilanzierungsgröße	Deduktion einfacher Gesetze Prognose von Systemverhalten mithilfe des Energieansatzes Referate → energetische Optimierung der Form → Optimierung des Energieverbrauchs in biologischen Systemen und ihre technische Nutzung

## Didaktischer Kommentar

Die Dynamik beschäftigt sich mit der Analyse und Prognose von Bewegungsabläufen unter der Einwirkung von Kräften. Die Grundgleichung der Mechanik liefert dazu ein tragfähiges Konzept (Kausalprinzip).

Im Rahmen des Kontextes „Teilnahme am Straßenverkehr“ könnten z. B. Erfahrungen mit dem Beschleunigungsvermögen verschiedener Fahrzeuge beim Anfahren bzw. Überholen das Problem nahe legen, solche Bewegungsvorgänge bezüglich Strecke und Dauer im Voraus abzuschätzen. Diese Problemstellung führt zu einer motivierten Untersuchung von geradlinigen Bewegungen unter der Einwirkung einer konstanten Kraft (Idealisierung!), z. B. mithilfe von Fahrbahnversuchen. Die dabei gewonnenen Bewegungsgesetze ( $s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0$ ,  $v = at + v_0$ ) erlauben die Lösung des Problems im idealisierten Fall bei bekannter Beschleunigung.

Erfahrungen mit Beschleunigungsprozessen im Straßenverkehr verdeutlichen auf vielfältige Weise den Einfluss der Trägheit und könnten die Quantifizierung dieses Merkmals nahe legen. Eine weiterführende Problemstellung könnte z. B. die Analyse bzw. Begründung der Faustformel für den Bremsweg ergeben: Die physikalische Struktur dieser Formel ( $s = -\frac{v^2}{2a}$ ) lässt sich mithilfe der bis-

her gewonnenen Bewegungsgesetze ermitteln. Die Faustformel geht offenbar davon aus, dass durch den Bremsvorgang alle Fahrzeuge die gleiche Beschleunigung erfahren. Andererseits hängt aber erfahrungsgemäß die Beschleunigung von der Masse des Fahrzeugs und von der beschleunigenden Kraft (hier Bremskraft) ab. Das Problem „Bremsweg“ führt somit auf die Untersuchung des Zusammenhangs von Kraft, Masse und Beschleunigung, zunächst für den einfachen Fall der geradlinigen Bewegung bei konstanter Kraft. Bei Kenntnis der (als konstant angenommenen) Reibungskraft erlaubt die so gewonnene Grundgleichung der Mechanik in Verbindung mit den Gesetzen der Kinematik die Lösung des Prognoseproblems „Bremsweg“.

Die Energieerhaltung ist das zweite grundlegende Konzept, das eine Analyse und Prognose von Bewegungsvorgängen ermöglicht. Dieses Konzept ist in der Sekundarstufe I von Beginn des Physikunterrichts an entwickelt worden und hat sich zusammen mit dem Entwertungskonzept als tragfähige Basis für qualitativ und teilweise auch quantitativ bilanzierende Betrachtungen von Energiewandlungs- und Energietransportprozessen bewährt. Aus den schon bekannten und mathematisierten Energieformen (z. B. Lageenergie) und dem Begriff der mechanischen Arbeit als unter Krafteinwirkung übertragener Energiemenge lassen sich durch Betrachtungen weiterer Energiewandlungs- und Energietransportprozesse alle anderen mechanischen Energieterme ermitteln. In diesem Zusammenhang wird eine weitere Festigung des Energieerhaltungskonzeptes erreicht.

Im Rahmen des Kontextes „Teilnahme am Straßenverkehr“ ist das Problem eines ökonomischen Umgangs mit dem Kraftstoff stets aktuell. Es führt nahe liegend auf die Frage nach dem Verbleib der an der Tankstelle gelieferten Energie. Eine Analyse des Kraftfahrzeugs als „Energiewandler“ lenkt den Blick auf die Speicherung mechanischer Energie als Bewegungs- bzw. Lageenergie und den Energieverlust durch Reibung im Sinne von Energieentwertung.

## Von Zeiten und Räumen

Der vorliegende Kontext ist konzipiert für eine Behandlung vom zweiten Halbjahr der Jahrgangsstufe 11 an und hat im Wesentlichen drei Zielsetzungen: Er streift mehrere Sachbereiche der Physik und vermittelt den Schülerinnen und Schülern Erfahrungen und Kenntnisse, die ihnen bei der begründeten Wahl ihrer Grund- und Leistungskurse helfen können. Er hat durch die Einbindung historischer und philosophischer Aspekte sowie durch seinen kurzen Einblick in die Relativitätstheorie motivierenden Charakter für diejenigen Schülerinnen und Schüler, die Physik in der Qualifizierungsphase weiter belegen wollen und abrundende Tendenzen für jene, die Physik abwählen wollen. Die Entwicklung des Strukturbereiches „Feld“ am Beispiel des Gravitationsfeldes ist für Schülerinnen und Schüler sehr anschaulich und in seinen Anwendungsbezügen relevant und liefert sehr gute Voraussetzungen für eine spätere Behandlung

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Weltbilder</b> Schöpfungsmythen von Ptolemäus bis Kopernikus die Anfänge der Astronomie Newton und der Apfel</p>	<p>Genesis, die Edda, die Götterwelt der Antike Sphärenmodell, Fixsternhimmel, Sonnen-, Mond- und Planetenbahnen Entwicklung des Newton'schen Gravitationsgesetzes, Gravitationsfeld, Umlaufdauer und Radien von Satellitenbahnen Entstehung und Stuktur unseres Sonnensystems</p>	<p>Schülervorträge Zusammenstellung einer Medienmappe Besuche in Museen Recherchen im Internet → Zusammenarbeit mit dem Fach Deutsch: G. Galilei, G. Bruno und die katholische Kirche</p>
<p><b>Einsteins neue Sicht der Dinge</b> Experimente, die mit einem absolut ruhenden System nicht vereinbar sind Ende des Lichtäthers und der Gleichzeitigkeit, die Zeitdilatation Ausblicke: die Raumkontraktion, die relativistische Masse – eine neue Sicht der Dinge</p>	<p>absoluter Raum und absolute Zeit Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Gleichberechtigung der Inertialsysteme Ätherhypothese und Michelson-Versuch Uhrensynchronisation in einem Inertialsystem, Problem der Gleichzeitigkeit Zeitdilatation, Längenkontraktion Äquivalenz von Masse und Energie</p>	<p>Referate Projekt: Sammlung von Fakten und Phänomenen die mit der Relativitätstheorie erklärt werden können Filme und Computersimulationen</p>

## Physik und Sport

Die nachfolgend genannten Kontextbausteine erlauben keinen sachstrukturell geschlossenen Durchgang durch die Kinematik und Dynamik; vielmehr kann man auf einzelne von ihnen insbesondere dann zurückgreifen, wenn bei der Auswahl und Anordnung der Kontexte aus dem Bereich der Mechanik Lücken geschlossen oder aber aus Gründen einer notwendigen Abwechslung für die Schülerinnen und Schüler beispielsweise innerhalb des umfangreichen Kontextes „Teilnahme am Straßenverkehr“ andere Interessen berücksichtigt werden sollen. Die Komplexität der Fragestellungen innerhalb der Kontextbausteine macht in der Spalte der Gegenstände die Beschränkung auf die Angabe nur der wichtigsten physikalischen Aspekte nötig.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Besonderheiten bei Flugbahnen von „Wurfobjekten“</b> vom Kugelstoßen bis Badminton Effet von Bällen (direkt verwandelter Eckstoß beim Fußball, Aufgabetechniken bei Volleyball, Tennis, Tischtennis) Oberfläche eines Golfballs	gleichförmige Bewegung gleichmäßig beschleunigte Bewegung schiefer Wurf Unabhängigkeitsprinzip Einfluss der Luftreibung Einfluss der Luftströmung (Magnuseffekt, Wirbelbildung)	Videoanalyse (von Bahnkurven) und Modellbildung mit dem Computer (Reibungskräfte) Exkursionen, Beobachtungen im Sportunterricht → fachübergreifendes Projekt in Zusammenarbeit mit dem Fach Sport → Facharbeiten
<b>Drehbewegungen</b> Kanadier (Kanusport), venezianische Gondeln Salti und Schrauben (Bodenturnen, Turm- und Kunstsprünge) Pirouette (Eiskunstlauf) oder Diskuswurf	Drehmoment Drehimpuls Trägheitsmoment (stabile und instabile Rotationsachsen)	→ Fachübergreifendes Projekt in Zusammenarbeit mit dem Fach Sport → Facharbeiten
<b>Sprungbewegungen aus physikalischer Sicht</b> Hochsprungtechniken Stabhochsprung biomechanische Belastungen	Energiebilanzen	(computergestützte) Videoauswertung sportmedizinische Belastungen Befragung von Fachleuten (Mediziner) → fachübergreifendes Projekt in Zusammenarbeit mit dem Fach Sport

## Didaktischer Kommentar

Den Schülerinnen und Schülern sind viele Bewegungsabläufe aus dem Freizeitsport wie auch aus dem schulischen Sportunterricht – aus physikalischer Sicht meist nur sehr oberflächlich – bekannt. Erfahrungsgemäß bieten solche Bewegungsabläufe insbesondere dann einen gut motivierenden Zugang zur Erarbeitung mechanischer Gesetzmäßigkeiten, wenn erstaunliche, vorher nicht beachtete Phänomene oder auch überraschende Fragestellungen deutlich werden. Gleichzeitig erlaubt es die Spannweite der Komplexität der auftretenden Bewegungen (Reibungseinflüsse, Kombination von Translation und Rotation) der Lehrerin oder dem Lehrer, für jede Lerngruppe geeignete, interessante Bewegungen auszuwählen.

Viele Bewegungen aus dem Bereich des Sports lassen sich mit einer Videokamera filmen und stehen anschließend für die Auswertung zur Verfügung: Es lassen sich per Videoanalyse am Fernschirmschirm oder – nach der Videodigitalisierung – am Computer die Bewegungen von Teilen des Objekts (bei bekannter Anzahl der Filmbilder pro Sekunde) zeitlich verfolgen und analysieren. Mit einer parallel dazu eingesetzten Modellbildungssoftware lassen sich die real festgestellten Reibungseinflüsse quantitativ ermitteln und beschreiben.

Der Kontext „Physik und Sport“ legt die Kooperation mit dem Fach Sport nahe. In der zusätzlichen Zusammenarbeit mit dem Fach Biologie lassen sich, insbesondere in Projektphasen, fachübergreifende Aspekte (z. B. Biomechanik) berücksichtigen. Daneben können mannigfache Themen in Facharbeiten bearbeitet werden.

### Auf der Kirmes – Physik der Fahrgeschäfte

Die nachfolgend genannten Kontextbausteine erlauben keinen sachstrukturell geschlossenen Durchgang durch die Kinematik und Dynamik der Kreisbewegungen; sie können aber in Ergänzung zu Bausteinen anderer Kontexte eine Bereicherung darstellen, da hier viele subjektiv vorhandene und objektiv aufzuarbeitende Erfahrungen seitens der Schülerinnen und Schüler mitgebracht werden.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Karussell – vom außen stehenden Beobachter gesehen</b> z. B.: Riesenrad, Rotor	Kinematik der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Kreisbewegung	Erfahrungen aus eigenem Erleben der Schülerinnen und Schüler → Facharbeiten
<b>Karussell – auch als Fahrgast erlebt</b> z. B.: Kettenkarussell, Rotor, Karussell mit (verschachtelten) Drehbewegungen, Karussell mit Pendelschwingungen, Looping-Achterbahn	Dynamik der Kreisbewegung Zentrifugal- und Corioliskraft Wechsel von Bezugssystemen Rotation starrer Körper	Erfahrungen aus eigenem Erleben der Schülerinnen und Schüler biomechanische Belastungen des Körpers Befragung von Fachleuten (Mediziner) Sicherheitsfragen (TÜV-Zulassung) → mechanische Schwingungen → Facharbeiten

### Didaktischer Kommentar

Wohl allen Schülerinnen und Schülern sind aus vielfacher subjektiver Erfahrung mit Fahrgeschäften auf der Kirmes viele Phänomene der Dynamik der Kreisbewegungen – wenn auch fast immer nur unterbewusst – bekannt. Man kann im Physikunterricht auf diesen Erfahrungsschatz zurückgreifen, muss jedoch bei Schülerinnen und Schülern das Bewusstsein, solche Geschehnisse unter physikalischen Fragestellungen zu sehen, in der Regel erst wecken. Bei der technischen Konstruktion der diversen Fahrgeschäfte werden physikalische Kenntnisse aus fast allen Bereichen der Kinematik und Dynamik der Kreisbewegungen intensiv und oftmals in für den Menschen interessanter, aber auch manchmal belastender Form genutzt. Schülerinnen und Schülern sollte es nach Beendigung der Unterrichtsreihe möglich sein, bei einem nächsten Kirmesbesuch gezielt unter physikalischer Sichtweise die Bewegungsabläufe, deren Ursachen und auch die technische Umsetzung physikalischen Wissens in Bau und Antrieb der Fahrgeschäfte sowohl wieder zu erkennen als auch neue Aspekte zu entdecken.

## Himmelsmechanik

Der vorliegende Entwurf orientiert sich im Wesentlichen an der historischen Entwicklung. Er bietet Gelegenheit, die Entwicklung des physikalischen Denkens und Arbeitens von der Antike bis in die Neuzeit hinein in ihrer ideengeschichtlichen Verflechtung mit philosophischen und religiösen Gedanken und in Wechselbeziehung mit dem technischen Fortschritt in einer reflektierenden, wissenschaftstheoretischen Betrachtungsweise zu erkunden. Hier bietet sich die Zusammenarbeit mit den Fächern Geschichte, Philosophie und Religionslehre an.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Die Entwicklung des astronomischen Weltbildes</b>            Bewegung von Fixsternen, Planeten, Monden, Satelliten, Kometen            Das Bild der Welt entwickelt sich</p>	<p>astronomisches Koordinatensystem            historische Modelle zur Erklärung der Himmelserscheinungen            Kepler'sche Gesetze</p>	<p>Orientierung am Himmel (Beobachtungsaufgaben)            astronomische Weltbilder von Aristoteles bis Kepler (Referate)            Bau astronomischer Modelle von Schülergruppen            → Entfernungsmessung durch Triangulation (M) (Referat)            → Das Ringen um die Stellung von Erde, Sonne und Planeten (PL,GE, RE) (Referat)</p>
<p><b>Ursache der Bewegungen am Himmel</b>            Welche Kraft hält Planeten und Monde auf ihrer Bahn?            Warum wurde die allgemeine Massenanziehung so spät entdeckt?            Wie lassen sich die Massen von Sonne und Planeten ermitteln?</p>	<p>Newtons Hypothese von der allgemeinen Massenanziehung (gleiche Ursache der Bewegungen von Mond und Apfel)            Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld            Bestimmung der Gravitationskonstanten            träge und schwere Masse            astronomische Massenbestimmung</p>	<p>Analyse, Durchführung und Auswertung eines komplexen, bedeutsamen Experiments            Beschaffung und Auswertung astronomischer Daten, z. B. aus dem Internet            Bahnberechnungen mit Computern (Schrittverfahren)            Übertragung des Feldkonzepts auf die Gravitation (erkenntnisleitende Analogiebetrachtungen)            → Die Entdeckung des Planeten Neptun (selbstständiges Literaturstudium)            → Erklärung der Gezeiten</p>

## Weltraumfahrt

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Satelliten und ihre Transporter</b> mögliche Umlaufbahnen von Erdsatelliten Transport von Satelliten auf ihre Umlaufbahn benötigter Treibstoff Aufgaben von Satelliten	Bewegungsgesetze Impulserhaltungssatz Raketenantrieb Energie im Gravitationsfeld Raketenanstieg	Beobachtung von Satelliten Computersimulation von Satellitenbahnen Anwendungen der Integralrechnung → Der Einsatz von Satelliten in Wissenschaft und Technik (Recherche, Referate) (EK, BI)
<b>Flug ins Weltall</b> bemannter Flug zum Mond Flug einer Sonde zum Mars	astronomische Geschwindigkeiten Gravitationspotential, Potentialverteilung Organisation von Weltraumflügen unter dem Aspekt minimalen Energieaufwands	energetische Analyse von Raumflügen → Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den Organismus (BI) → Möglichkeiten, Ziele, Nutzen und Perspektiven der bemannten und unbemannten Raumfahrt (PH, BI, SW) (selbstständiges Literaturstudium, Referate)

### Didaktischer Kommentar

Das vorliegende Konzept bietet den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit, ein bedeutsames Stück Kultur- und Physikgeschichte z. B. im Rahmen von Referaten selbst zu erarbeiten und dabei fachübergreifende Kenntnisse einzubringen. So entsteht ein Fundament, auf dem sie Newtons Idee und gesetzmäßige Erfassung der allgemeinen Massenanziehung hinsichtlich ihrer historischen und naturwissenschaftlichen Bedeutung einordnen können. Wenn das elektrische Feld aus vorangegangenem Unterricht bekannt ist, dann liegt es nahe, mithilfe von Analogiebetrachtungen das Feldkonzept auf die Gravitation zu übertragen. Die Raumfahrt bietet eine Fülle fachübergreifender Aspekte, von denen entsprechend den unterrichtlichen Rahmenbedingungen eine Auswahl aufgegriffen werden kann. Die Berechnung von Weltraumflügen stellt ein geeignetes Motiv dar, abschließend über Kausalität und Determinismus als Grundprinzipien physikalischer Erkenntnisgewinnung nachzudenken.

**(SCHWINGUNGEN UND WELLEN)**

Die in Verbindung mit den vier nachfolgend genannten Kontexten und ihren Bausteinen angegebenen fachlichen Inhalte aus dem Bereich der mechanischen Schwingungen und Wellen decken nicht alle grundlegenden Phänomene dieses Themas ab. Diese können teilweise an den entsprechenden Stellen, eingebettet in den Rahmen des jeweils gewählten Kontextes, im Unterricht bearbeitet werden, teilweise sind insbesondere für den Bereich der mechanischen Wellen weitere Kontextbausteine zu entwickeln. Die Inhalte aus dem Bereich der mechanischen Schwingungen und Wellen können auf Grund ihrer weit gehenden Analogie zu elektrischen Schwingungen und Wellen im Zusammenhang mit elektrischen Phänomenen erarbeitet werden. Alternativ lassen sie sich aber auch eigenständig, dann jedoch zeitlich vor der Bearbeitung von Themen aus der Elektrik im Unterricht behandeln.

**Das menschliche Hören und die Wahrnehmung von Schall**

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Schallentstehung und Wahrnehmung</b></p> <p>Schallquellen in unserer Lebenswelt</p> <p>Schutz vor Schall</p> <p>Ohr und Körper als passiver und aktiver Teil im Hörprozess</p>	<p>Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen</p> <p>lineare und nichtlineare rücktreibende Kräfte</p> <p>gedämpfte Schwingungen</p> <p>Schallentstehung und -ausbreitung in verschiedenen Medien</p> <p>Schallgeschwindigkeit</p> <p>Schalldämmung und Abstandsgesetz</p> <p>Resonanz</p>	<p>Exkursion: Lärmmessung, Hörbereichsmessung beim Menschen</p> <p>Erkundung: Schwerhörigkeit, Arbeitsschutz</p> <p>Einsatz von (computer-gestützten grafikorientierten) Modellbildungswerkzeugen: Modellierung linearer und nichtlinearer (auch gedämpfter) Schwingen</p> <p>Referat: Physiologische Aspekte der Klangwahrnehmung</p> <p>Referat: Die Härchen der Basilarmembran</p> <p>Referat: Die Biophysik des Gehörs</p> <p>→ Musik: Klangerzeugung bei Musikinstrumenten, Unterhaltungselektronik</p> <p>→ Biologie: Lauterzeugung bei Tieren (insbesondere Ultraschall)</p>
<p><b>Das Richtungshören des Menschen</b></p> <p>Laufzeitunterschiede</p> <p>laut und leise</p> <p>Wie ortet man links und rechts, oben und unten?</p> <p>Veränderung von Klängen durch die Ohrmuschel</p>	<p>Laufzeitmessungen</p> <p>Schallgeschwindigkeit</p> <p>Fourieranalyse und -synthese</p>	<p>Referat/Facharbeit: „Antilärm“ und Polung von Stereolautsprechern</p> <p>Raumklang bei Audioanlagen</p>



## Die Physik in der Musik

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Empfindung von Klangeindrücken</b> konsonante und dissonante Klänge, Schwebung Tonleitern und Harmonien Obertonreihen Stimmen von Musikinstrumenten	lineare und nichtlineare Schwinger parallele Überlagerung von Schwingungen, Schwebung, Fourieranalyse und -synthese (qualitativ), Frequenzverhältnisse der Intervalle Eigenschwingungen, Grund- und Obertöne, Klangfarbe	Musik: direkte Zusammenarbeit in allen genannten Bereichen möglich praktische Arbeit mit Musikinstrumenten Einsatz des Computers: Arbeit mit der Soundkarte
<b>Resonanz</b> Das ganze Instrument klingt – Resonanz bei Musikinstrumenten	erzwungene Schwingungen Resonanzphänomene Resonanz nichtlinearer Schwinger	Einsatz von computergestützten Modellbildungswerkzeugen: Modellierung linearer und nichtlinearer Resonatoren und ihres Schwingungsverhaltens (vgl. Kontext: „Der Flügelschlag des Schmetterlings oder: Die Schwäche des starken Kausalitätsprinzips“) → Musik: Musikinstrumente

## Wasserwellen

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Wasserwellen</b> Steine fallen ins Wasser schwimmende Enten Meereswellen (Brandungswellen, Richtungsänderung auf den Strand zulaufender Wasserwellen, Tsunamis, Tiefwasserwellen und Flachwasserwellen)	Überlagerung von Wellen, Beugung, Reflexion, Brechung Elementarwellen und Huygens'sches Prinzip (lineare) Wellengleichung für harmonische Wellen Dopplereffekt bei bewegtem Wellenerreger und bewegtem Beobachter	Beobachtungen in der Natur Literatur- und Internet-Recherche Computersimulationen ebener Wellen (z. B. mit Tabellenkalkulationsprogrammen)

## Ultraschall in der medizinischen Anwendung

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Ultraschall in der medizinischen Anwendung</b> Echoimpuls-Sonographie Doppler- und Duplex-Sonographie Fließgeschwindigkeit von Körperflüssigkeiten	Ultraschall, Infraschall Reflexion von Wellen, Schallgeschwindigkeit, Beugung, Dopplereffekt Medienübergang von Wellen Longitudinal- und Transversalwellen (Modentransformationen) Energie und Leistung, Energieabsorption	Erkundungen in Krankenhaus und Arztpraxis Facharbeiten → Biologie: Ortungsvermögen der Fledermäuse

## **Didaktischer Kommentar**

Der Kontext „Menschliches Hören und die Wahrnehmung von Schall“ setzt die in den Jahrgangsstufen 9 und 10 begonnene Behandlung der vielfältigen und für unsere Lebenswelt äußerst interessanten Phänomene des Schalls auf einer stärker analytisch orientierten und durch mathematische Beschreibungsmodelle fundierten Ebene fort. Hieraus folgt unmittelbar, dass die Behandlung des Kontextbausteins „Schallentstehung und Wahrnehmung“ auf Grund der Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler (vgl. Obligatorik der Jahrgangsstufen 9 und 10) kurz gefasst werden kann. Von besonderem Interesse hinsichtlich interdisziplinärer Arbeit sind die Ergebnisse und Effektivität der nichtlinearen Dynamik für die Biophysik der Informationsverarbeitung beim Hören des Menschen.

Im Rahmen des Kontextes „Die Physik in der Musik“ lassen sich im Zusammenhang mit Resonanzphänomenen (erzwungene Schwingungen) in besonders geeigneter Weise computergestützte grafikorientierte Modellbildungswerkzeuge einsetzen, mit denen sich für den Fall nichtlinear schwingender Resonatoren chaotisches Schwingungsverhalten modellieren und damit studieren lässt.

Der Kontext „Schall in der medizinischen Diagnostik und Therapie“ zeigt Bezüge der Physik zu einem Lebensbereich der Schülerinnen und Schüler auf, der zwar in der Schule nicht explizit angesprochen wird, ihnen jedoch in vielen Fällen aus der persönlichen Erfahrung bekannt ist. Die Ultraschallsonographie stellt ein schönes Beispiel dar für die Strukturierung eines komplexen Problems, bei dessen Behandlung auch die Mathematisierung überzeugend motivierbar ist: Ein Ultraschallsignal wird benutzt, um die Fließgeschwindigkeit des Blutes zu bestimmen, was beispielsweise bei der Diagnose von Gefäßverengungen wichtig ist (quantitative Untersuchung beider Fälle des Dopplereffekts!).

Man sollte nicht versäumen, die Anwendbarkeit der erarbeiteten physikalischen Grundlagen im Bereich der Schwingungen und Wellen hinsichtlich weiterer aus der Lebenswelt bekannten Phänomene aufzuzeigen (Stoßdämpferprüfung, selbsterregte Schwingungen durch Rückkopplung, Besonderheiten bei der Schallausbreitung (Donner bei einem Gewitter), Brandungswellen am Meer, Erdbebenwellen).

Wegen der engen fachlichen Verbindung zwischen den mechanischen Schwingungen und Wellen, der Akustik und der Wahrnehmung von Schall durch den Menschen bieten sich Kooperationsmöglichkeiten mit den Fächern Biologie und Musik, die unbedingt genutzt werden sollten.

## **Die Welt der Töne – Die Welt der Farben**

Die beiden Kontexte sind aufeinander abgestimmt, weil Schall und Licht strukturell größere Gemeinsamkeiten haben und diese genutzt und herausgearbeitet werden können. Die Ausbreitung von Schall und Licht lässt sich mit dem Wellenmodell beschreiben. Schall und Licht lassen sich als Gemisch von Schwingungen bzw. Wellen unterschiedlicher Frequenz auffassen, was man durch Fourieranalysen und –synthesen bzw. Spektraluntersuchungen leicht nachweisen und veranschaulichen kann. Die Untersuchung von Interferenzen bei Schallwellen sind eine gute Vorbereitung für den Nachweis der Wellennatur des Lichts. Es bietet sich an, diese Kontexte im Anschluss an den weiter vorn beschriebenen Kontext „Ein Forschungsauftrag“ zu behandeln.

## Die Welt der Töne

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Schalleindrücke und ihre physikalische Beschreibung</b> Ton, Klang, Geräusch Hörgrenzen Infra- und Ultraschall	Lautstärke, Tonhöhe harmonische Schwingung, Bewegungsgleichungen Beispiele für harmonische und nichtharmonische Schwingungen	Lärmmessung → Schalldämmung → Lärmschwerhörigkeit, Arbeitsschutz
<b>Empfinden von Klangeindrücken</b> Schwebung Grund- und Obertöne konsonante und dissonante Klänge Tonleitern (Naturtonreihe, temperierte Tonleiter, Zwölftonmusik) Klangfarben von Musikinstrumenten, Lauten und Sprache	Überlagerung von Schwingungen Klangfarbe Obertonreihen Fouriersynthese und -analyse von Klängen	Vergleich von Begriffen aus Physik und Musik Arbeit mit der Soundkarte → Synthesizer
<b>Töne unterwegs</b> Ausbreitung Reflexion Überlagerung	Entstehung und Ausbreitung einer Welle Transversal- und Longitudinalwellen Schallentstehung und -ausbreitung in verschiedenen Medien Wellengrößen und ihre Zusammenhänge Huygens'sches Prinzip Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz ebener Wellen (Interferenzbedingungen), speziell auch bei Schallwellen	anschauliche Erarbeitung von Wellenphänomenen an vielen Beispielen, um sie später an Lichtwellen wieder zu erkennen
<b>Musikinstrumente</b> Aufbau und Wirkungsweise von Orgelpfeife, Blockflöte, Fanfare, Trompete oder Geige	erzwungene Schwingungen Reflexion am festen und losen Ende stehende Wellen Eigenschwingungen	Möglichkeit der selbstständigen Entwicklung von Texten und anschaulichen Darstellungen zur Funktion von Musikinstrumenten unter ausstellungsdidaktischen Aspekten

## Die Welt der Farben

Physikalisch gesehen haben Klänge und Farben sehr viel Ähnlichkeit. Schalleindrücke entstehen durch Überlagerungen von Longitudinalwellen verschiedener Frequenz, die im Ohr spektral zerlegt wahrgenommen werden. Farbeindrücke entstehen durch ein Gemisch von Lichtwellen verschiedener Frequenz, die im Auge mit drei verschiedenen Rezeptoren wahrgenommen werden. Diese Rezeptoren sind nur in bestimmten Frequenzbereichen empfindlich, wobei die Bereiche sich auch noch überlappen. So weiß man z. B. nicht, wenn man die Farbe Gelb sieht, ob es sich um die reine Spektralfarbe oder ein Gemisch aus roten und grünen Spektralfarben handelt. Dies lässt sich nur durch die spektrale Zerlegung des farbigen Lichts entscheiden.

In diesem Kontext soll der gesamte Hintergrund der Farbwahrnehmung beleuchtet werden. Dabei kann es sehr reizvoll sein, in Zusammenarbeit mit den Fächern Biologie und Kunst verschiedene Farbvorstellungen miteinander zu vergleichen. Computerprogramme zur Farbzerlegung und -zusammensetzung sowie Grafikprogramme und Farbdrucker bieten sehr gute Möglichkeiten, sich intensiv mit Farbphänomenen zu befassen.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Licht, eine Welle?</b>            vergleichbare Eigenschaften von Schall und Licht</p>	<p>Interferenz als Kennzeichen von Wellen            Spektralfarbe            Infrarot- und UV-Strahlung            Gitterspektren            Wellenlängenbestimmung</p>	<p>ständiger Bezug zu den bereits behandelten akustischen Phänomenen</p>
<p><b>Mit Licht Farbe erzeugen</b>            Die Welt durch Filter betrachtet            Farbsehen mit den Augen            Farbmischung (Fernsehapparat, Buntdrucktechniken)            psychologische Wirkung von Farben            Goethe contra Newton</p>	<p>subtraktive Farbmischung            additive Farbmischung</p>	<p>Malprogramme            Programme zur Farbwahrnehmung            Farbdrucker            Referate, Gruppenarbeit            Ausstellungen            → Kunst</p>

## Eine neue Vorstellung vom Licht

Die Fülle wellenoptischer Phänomene erfordert bei der Sequenzbildung eine gezielte Auswahl. Dieser Kontext bietet die Wellentheorie des Lichts, ohne die spezielle Natur der elektromagnetischen Wellen zu thematisieren, wie es im Rahmen der Betrachtung der elektromagnetischen Strahlung geschieht. Der Vorschlag geht davon aus, dass die mechanische Wellen bereits behandelt wurden. Wenn diese Voraussetzung nicht gegeben ist, wird man eine geeignete integrative Behandlung mechanischer Wellen vornehmen.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Musterbildung und Farberscheinungen</b></p> <p>Alltagserfahrungen (Lichtquelle durch einen Regenschirm betrachtet; Farberscheinungen auf einer CD bzw. Seifenblase)</p> <p>Versuch einer Erklärung auf der Basis des Wellenmodells</p> <p>gezielte Untersuchung mithilfe sehr einfacher Muster (Doppelspalt, Einfachspalt)</p> <p>Erklärung von Farberscheinungen an dünnen Schichten (Seifenblasen, Ölfilm, Glimmerplatte, Farben von Schmetterlingsflügeln oder Dia zwischen Glasplatten)</p> <p>Warum beobachtet man die Abweichungen von der Geradlinigkeit nur bei feinen Strukturen?</p>	<p>Huygens'sches Prinzip</p> <p>Beugung am Doppelspalt</p> <p>Beugung am Einzelspalt</p> <p>Gitterbeugung</p> <p>Bestimmung der Wellenlänge beim Licht</p> <p>Interferenz an der planparallelen Platte</p> <p>Interferenz am Keil</p> <p>Newton'sche Ringe</p> <p>Kohärenzlänge</p>	<p>→ Trennschärfe optischer Instrumente</p> <p>→ Fotografie</p> <p>→ Auge</p> <p>→ Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation</p> <p>→ Vergütung von Linsen in optischen Instrumenten</p> <p>→ Michelson-Versuch</p> <p>→ Verfahren von Debye-Scherrer (Kristallpulvermethode zur Messung von Wellenlängen beim Röntgenlicht oder zur Bestätigung der de Broglie-Gleichungen)</p>
<p><b>Der Zusammenhang zwischen Strahlenoptik und Wellenoptik</b></p> <p>Wie kann man Reflexion und Brechung mit dem Wellenmodell erklären?</p> <p>Strahlenoptik als Grenzfall der Wellenoptik</p>	<p>Reflexionsgesetz in Wellen- und Strahlenoptik</p> <p>Brechungsgesetz in Wellen- und Strahlenoptik</p>	<p>→ Hertz'scher Dipol (elektromagnetisches Verständnis der Wechselwirkung Licht-Materie)</p> <p>→ Brewsterwinkel und Polarisation durch Reflexion</p>

## ELEKTRIK

### Auf der Spur des Elektrons

Die Frage nach einer anschaulichen Erklärung des elektrischen Stroms im metallischen Leiter wird von Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht immer wieder gestellt. Als Unterrichtsthema bietet die Untersuchung der metallischen Leitung ihnen schon im Rahmen der klassischen Physik die Möglichkeit, im Wechselspiel von Theorie und Experiment eine einfache Modellvorstellung zu entwickeln, die ein tief gehendes Verständnis der Vorgänge im Leiter gestattet. Da sich die physikalischen Untersuchungen auf das Verhalten von Elektronen unter dem Einfluss elektrischer und magnetischer Felder konzentrieren, eignet sich der Problemzusammenhang „Metallische Leitung“ als Kontext für die Hinführung zum Feldbegriff in der Elektrizitätslehre.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Freisetzung von Elektronen</b> Vorstellungen von Elektronen und elektrischem Strom in Metallen Austritt der Elektronen aus Metallen Möglichkeiten der Energiezufuhr Hinweise auf Eigenschaften der Elektronen</p>	<p>Nachweis und Messung elektrischer Ladung elektrische Influenz glühelektrischer Effekt Erzeugung eines Elektronenstrahls qualitativer Nachweis der negativen Ladung und der Trägheit der Ladungsträger</p>	<p>Weiterentwicklung des Ladungsmodells experimentelle Untersuchung eines komplexen Phänomens (Influenz) in Arbeitsgruppen qualitative Erfassung eines physikalischen Phänomens im Wechselspiel von Modell und Experiment → Bandgenerator</p>
<p><b>Experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe elektrischer Felder</b> Suche nach Informationen über Ladung und Masse des Elektrons durch Ablenkung im elektrischen Feld Ladung ist „körnig“</p>	<p>Erzeugung und Veranschaulichung elektrischer Felder elektrische Feldstärke, homogenes elektrisches Feld Energie und Arbeit im elektrischen Feld, Spannung, Potential Bahnkurve von Elektronen im homogenen elektrischen Feld Millikan-Versuch, Elementarladung</p>	<p>Erfassung von Raumstrukturen durch den Feldbegriff Quantifizierung des Feldbegriffs über Wirkungen Kraft- und Energieansatz zur Erklärung bzw. Prognose der Bahnkurven Schülerversuche und Referate zur Bestimmung der Elementarladung → elektrisches Feld der Erde, Gewitter → Oszilloskop, Linearbeschleuniger</p>

<p><b>Experimentelle Untersuchung der Elektronen mithilfe magnetischer Felder</b></p> <p>Suche nach Informationen über Ladung und Masse des Elektrons durch Ablenkung im magnetischen Feld</p>	<p>Erzeugung und Veranschaulichung magnetischer Felder magnetische Feldgröße <math>B</math> Lorentzkraft Relativität elektrischer und magnetischer Felder gleichmäßige Kreisbewegung Zentripetalkraftgesetz <math>e/m</math>-Bestimmung</p>	<p>analogiegeleitete Begriffsbildung systematisches Experimentieren, Schülerexperimente Kraft- und Energieansatz Referate, Literaturrecherche → Magnetfeld der Erde (EK) → magnetische Flasche, Polarlicht → Zyklotron, Massenspektrograph → magnetische Linsen, Elektronenmikroskop (BI) → Fernsehöhre</p>
<p><b>Der Mechanismus der Stromleitung in Metallen</b></p> <p>Gibt es andere Hinweise darauf, dass es Elektronen sind, die sich im Metall bewegen? Wie viele Elektronen tragen zur Stromleitung bei? Mit welcher Geschwindigkeit bewegen sie sich durch den Leiter? Warum sind Elektronen in Metallen so langsam?</p>	<p>Tolman-Versuch Hall-Effekt Ladungsträgerkonzentration in Metallen Driftgeschwindigkeit</p>	<p>Entwicklung, Anwendung und Vertiefung einer Modellvorstellung → Magnetfeldmessung → metallische Bindung (CH)</p>

**Didaktischer Kommentar**

Die Kraftwirkung auf ruhende oder bewegte Ladungen ist ein charakteristisches Merkmal elektrischer und magnetischer Felder und empirische Basis für die Definition der feldbeschreibenden Größen  $E$  und  $B$ . Im Unterricht wird man jeweils zuerst eine qualitative Feldvorstellung aufbauen, um dann den Feldbegriff über die Kraftwirkung zu quantifizieren. Bereits im Rahmen des hier vorgeschlagenen Kontextes lassen sich grundlegende Strukturmerkmale des elektrischen und magnetischen Feldes erarbeiten. Die Tragweite des Feldbegriffs für die Elektrodynamik kann dann später in neuen Problemzusammenhängen und Stufen fortschreitender Komplexität erschlossen werden.

In der Regel bringen die Schülerinnen und Schüler das Wissen mit, dass es Elektronen sind, die sich durch den Draht bewegen. Eine kritische Betrachtung sollte aber dann auf folgende Fragen führen: Lassen sich diese „frei beweglichen“ Elektronen nachweisen? Welche Eigenschaften können wir ihnen zuordnen? Wie viele tragen zum Ladungstransport bei? Wie bewegen sie sich durch den Leiter? Solche Fragen können zu einer Art Detektivarbeit anregen, die von den Schülerinnen und Schülern Intuition, systematisches Experimentieren und eine grundlegende Modellbildung fordert. Sie führt von Untersuchungen zur elektrischen Influenz über Analysen des Verhaltens „befreiter Elektronen“ unter dem Einfluss elektrischer und magnetischer Felder wieder zurück zum metallischen Leiter. Dabei werden neue Begriffe und Gesetze jeweils dann eingeführt, wenn sie sich aus der Sicht der Schülerinnen und Schüler für eine effiziente Weiterarbeit sinnvoll einsetzen lassen.

## Bereitstellung, Wandlung und Verteilung elektrischer Energie

Der vorliegende Entwurf behandelt wesentliche physikalische Grundlagen unserer Versorgung mit elektrischer Energie. Im Sinne fachlicher Systematisierung wird der Strukturbereich „Feld“ ausgebaut. Unter dem Aspekt der Strukturgleichheit ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für Analogiebetrachtungen, Transferleistungen und selbstständiges Arbeiten.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Speicherung elektrischer Energie</b> Blitzlichtgerät als Beispiel für die Verwendung eines Kondensators als Energiespeicher</p>	<p>Flächenladungsdichte, elektrische Feldkonstante Kondensator, elektrische Kapazität Dielektrikum, Dielektrizitätszahl Energie des elektrischen Kondensatorfeldes</p>	<p>Erweiterung des Feldbegriffs Schülerversuche → Akku, Batterie → elektrostatische Luftreinigung</p>
<p><b>Generator und Motor – austauschbare Anwendungen derselben Maschine</b> Wechselspannungsgenerator, Wechselstrommotor Gleichstromgenerator und Gleichstrommotor dynamoelektrisches Prinzip</p>	<p>Induktion bei Relativbewegung zwischen Leiter und Magnetfeld Induktion durch zeitliche Feldänderung magnetischer Fluss Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel elektrische Wirbelfelder Felder und Bezugssysteme Erzeugung von Wechselspannung</p>	<p>Anwendung physikalischer Modelle induktive Herleitung eines Gesetzes Entdeckung, technische Nutzung und gesellschaftliche Auswirkung der elektromagnetischen Induktion (Literaturrecherche, Referate bzw. Experimentalvorträge) → Induktionsherd → Wirbelstrombremse → Autotachometer</p>
<p><b>Speicherung magnetischer Energie</b> Zündanlage eines Autos als Beispiel für die Verwendung einer Spule als Energiespeicher</p>	<p>Magnetfeld einer langen Spule magnetische Feldkonstante Ferromagnetismus Selbstinduktion, Induktivität Induktivität einer lang gestreckten Spule Energie des Magnetfeldes einer Spule</p>	<p>Analogiebetrachtungen deduktive Herleitung physikalischer Gesetze Auswertung quantitativer Experimente in Einzelarbeit bzw. Arbeitsgruppen → magnetischer Datenspeicher → Thomson'scher Ringversuch</p>
<p><b>Wechselstrom</b> Energiebedarf in einem Haushalt Drehstromnetz eines Haushalts Drehstrommotor Sicherheitsvorkehrungen</p>	<p>Effektivwerte ohmscher, induktiver und kapazitiver Widerstand Serienschaltung, Resonanz Leistung des Wechselstroms Drehstrom</p>	<p>Mathematisierung periodischer Vorgänge Zeigerdarstellung Analyse technischer Geräte bzw. Systeme arbeitsteiliges Schülerpraktikum, Referate → Parallelschaltung, Sperrkreis → Hoch- und Tiefpass</p>



<b>Verteilung elektrischer Energie</b> Hochspannungsleitungen Spannungsebenen, Leitungsverluste Energieversorgung in Deutschland Probleme der Energieversorgung, Energiesparen	Transformator Hochspannungstransformator Hochstromtransformator	Referate mit Schülerdemonstrationsversuchen Erkundung eines Umspannwerks → Elektroschweißen → Elektrosmog
--	---	--

## (ELEKTROMAGNETISCHE STRAHLUNG)

### Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübertragung

Dieser Kontext setzt die Behandlung der mechanischen Schwingungen und Wellen voraus. Sie dient den Schülerinnen und Schülern als Fundament, um über erkenntnisleitende Analogiebetrachtungen im Bereich elektrischer Phänomene neue Zusammenhänge zu erschließen. Unter dem Aspekt der Strukturgleichheit ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für selbstständiges Arbeiten.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Nachrichtenübertragung von Sender zu Empfänger</b> Gibt es Hinweise auf einen Wellenvorgang? Wie sieht der Mechanismus der Übertragung aus?	Durchlässigkeit verschiedener Materialien für elektromagnetische Strahlung Reflexion, stehende Wellen, Beugung und Interferenz, Polarisation	Planung, Durchführung, Auswertung und Modifikation von Experimenten erkenntnisleitende Analogiebetrachtungen
<b>Vermutungen über die Entstehung elektromagnetischer Strahlung</b> Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen Kompensation der Dämpfung	gedämpfte elektromagnetische Schwingungen erzwungene Schwingungen, Resonanz Rückkopplung Hochfrequenzgenerator	selbstständiges Experimentieren in Arbeitsgruppen Analogiebetrachtungen, Nutzung der Strukturgleichheit Differentialgleichungen → Diathermie (BI) → Hochfrequenz-Induktionsofen
<b>Erzeugung elektromagnetischer Wellen</b> Wie lässt sich erreichen, dass Energie abgestrahlt wird? Hat die Strahlung Wellencharakter? Wie wandert die Energie in den Raum hinaus?	Nachweis elektrischer und magnetischer Wechselfelder Hertz'scher Dipol, Nah- und Fernfeld Mikrowellen Ausbreitungsgeschwindigkeit in verschiedenen Medien Brechung Maxwell'sche Postulate	theoriegeleitetes Experimentieren Gedankenexperimente → Mikrowellenherd → Radar → Radioastronomie

<p><b>Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen</b></p> <p>Übertragung von Sprache und Musik mithilfe elektromagnetischer Wellen</p> <p>Rolle der Trägerfrequenz</p> <p>Auswirkungen der Ionosphäre</p> <p>Einsatz von Nachrichtensatelliten</p> <p>Rundfunkempfang</p>	<p>Amplitudenmodulation</p> <p>Bandbreite, Frequenzband</p> <p>Frequenzmodulation</p> <p>Transistorempfänger</p>	<p>für die Behandlung dieser Thematik sind Schülerreferate mit Demonstrationsexperiment möglich</p> <p>→ historische Entwicklung der Nachrichtentechnik (Recherche, Referate)</p> <p>→ Geschwindigkeit der Fernsehübertragung (Experiment)</p>
<p><b>Elektrosmog – eine Gefahr für die Gesundheit?</b></p> <p>elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Freileitungen und Erdkabeln, Sendern und Handys</p> <p>elektrische und magnetische Felder im Haushalt</p> <p>aktuelle Forschungsergebnisse zur Gesundheitsgefährdung, Grenzwerte</p>	<p>Überlagerung elektrischer und magnetischer Felder</p> <p>elektrische und magnetische Felder als Strukturen unseres Lebensraumes</p>	<p>Literaturrecherche</p> <p>Referate</p> <p>biologische Wirkung elektrischer und magnetischer Felder (<math>f = 50 \text{ Hz}</math>) (BI)</p> <p>→ medizinische Anwendungen (BI)</p>

### Informationsübertragung durch Licht

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Prismenspektren von Sternen, Spektrallampen und Glühlampen</b></p> <p>Welche Informationen liefern uns die Spektren?</p> <p>Wie entstehen die Farberscheinungen?</p> <p>Welle oder Teilchen – Huygens oder Newton?</p>	<p>Messung der Lichtgeschwindigkeit früher und heute</p> <p>Modellvorstellungen des Lichtes</p> <p>Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien</p> <p>Brechungsgesetz</p>	<p>verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit (historische Gedankengänge, Foucault, moderne elektronische Verfahren), (Referate, Experimentieren in Arbeitsgruppen)</p> <p>Modellvorstellungen von Newton und Huygens (historisches Quellenstudium, Referate)</p>
<p><b>Welleneigenschaften des Lichtes</b></p> <p>Hinweise auf Interferenz- und Beugungserscheinungen im täglichen Leben</p> <p>Erklärung mit der Wellenvorstellung</p> <p>Deutung der Spektralfarben</p> <p>Auflösungsvermögen optischer Geräte</p> <p>Spektralanalyse</p>	<p>Beugung und Interferenz des Lichtes</p> <p>Fresnel'scher Spiegelversuch</p> <p>Kohärenz</p> <p>Beugung und Interferenz am Doppelspalt, Spalt, Gitter</p> <p>Interferenzen an dünnen Schichten</p> <p>Emissions- und Absorptionsspektren</p>	<p>Planung, Durchführung und Auswertung von Interferenz- und Beugungsversuchen (Experimentalpraktikum)</p> <p>mathematische Erfassung von Intensitätsverteilungen mit dem Zeigerdiagramm</p> <p>Einsatz des Computers zur Berechnung von Intensitätsverteilungen</p> <p>→ Holografie</p> <p>→ interferometrische Messung kleiner Längen</p>

<p><b>Licht als elektromagnetische Welle</b></p> <p>Was schwingt bei der Ausbreitung von Lichtwellen?</p> <p>Licht als Transversal- oder Longitudinalwelle?</p> <p>Ist Licht durch elektrische oder magnetische Felder beeinflussbar?</p> <p>Nachrichtenübertragung mithilfe von Licht</p> <p>Was wissen wir über Sender und Empfänger von Lichtwellen?</p>	<p>Polarisation</p> <p>Faraday-Effekt, Kerr-Effekt</p> <p>Brewster'sches Gesetz und seine Deutung im Rahmen der elektromagnetischen Lichttheorie</p> <p>Modulation von Licht</p> <p>elektromagnetisches Spektrum</p> <p>Ausblick auf die Atomphysik: Atome als Sender und Empfänger</p>	<p>Ausschärfung der Modellvorstellung</p> <p>Übertragung von Musik durch Modulation eines Lichtbündels (Referat mit Demonstrationsexperiment)</p> <p>→ Spannungsoptik</p> <p>→ Energietransport durch Licht</p>
---	---	---

### Didaktischer Kommentar

Als Einstieg in den Bereich der Informationsübertragung eignet sich z. B. die Untersuchung einer drahtlosen Übermittlung von Sprache oder Musik, wie sie sich z. B. mit einem Mikrowellensender arrangieren lässt. Untersuchungen der vom Sender ausgehenden Strahlung lenken den Blick der Schülerinnen und Schüler auf Welleneigenschaften. Geleitet durch den Aspekt der Strukturgleichheit, können sie eigene Ideen zur Untersuchung der unbekanntesten Strahlung einbringen und umsetzen. Die Erkenntnis, dass die Strahlung offenbar elektrische Energie transportiert, legt auf der Basis des Vorwissens die Idee nahe, durch Zusammenschalten von Speichern für elektrische und magnetische Energie ein schwingungsfähiges System und vielleicht den Grundbaustein für einen Sender zu erhalten. Ein Strukturvergleich mit den mechanischen Schwingungen ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die Eigenschaften der elektromagnetischen Schwingungen in Experiment und Theorie weitgehend selbstständig zu erarbeiten. Dabei sollten sie Gelegenheit erhalten, Kenntnisse aus der Mikroelektronik zu nutzen. Die Behandlung der Maxwell'schen Postulate als Erklärungsgrundlage für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen kann sich unter Einbeziehung von Gedankenexperimenten und Veranschaulichungen auf die qualitative Ebene beschränken oder durch fundierte physikalische Betrachtungen und Mathematisierung ein tiefergehendes Verständnis vermitteln. Das Thema "Elektrosmog" beschreibt ein aktuelles, komplexes, noch nicht vollständig erforschtes Phänomen unserer technischen Umwelt. Hier kann natürlich nur eine Problematisierung erfolgen.

Die Präsentation von Spektren aus verschiedenen Bereichen lenkt den Blick der Schülerinnen und Schüler auf die Eigenschaft von Licht, Information zu übertragen. Mit dem Einsatz des Prismas knüpft sie an den Optik-Unterricht der Sekundarstufe I an, und zwar genau dort, wo das Strahlenmodell als Erklärungsinstrument versagte. Die Behandlung der Brechung und Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen dient den Schülerinnen und Schülern nun als Basis für neue Hypothesen und Untersuchungen. So wird die Entwicklung von Modellvorstellungen des Lichtes zum Schwerpunktthema, wirksam unterstützt durch das Studium historischer Quellen. Auf Grund der Lernvoraussetzungen aus dem Bereich „Schwingungen und Wellen“ bieten sich für die Erarbeitung der Welleneigenschaften von Licht Experimentalpraktikumsphasen an.

## RELATIVITÄTSTHEORIE

Die Behandlung der Relativitätstheorie stößt bei Schülerinnen und Schülern auf großes Interesse. Erfahrungsgemäß beschäftigen sie sich neugierig und begeistert mit den philosophischen Implikationen. Sie sind fasziniert von den Veränderungen ihrer Raum-Zeit-Vorstellungen.

Im Folgenden sollen daher zwei Möglichkeiten beschrieben werden, die sowohl in der Schwerpunktsetzung wie auch im zeitlichen Umfang unterschiedlich sind. Der erste Vorschlag stellt in der relativistischen Kinematik die Lorentztransformationen in den Mittelpunkt. Ein solches Konzept ermöglicht es, Vorgänge in verschiedenen Inertialsystemen ineinander umzurechnen und Aussagen der speziellen Relativitätstheorie nach einem einheitlichen Grundprinzip zu gewinnen. Dieser Vorschlag geht allerdings von einer zeitlichen Rahmenvorstellung aus, die nicht in jedem Fall gegeben ist. Der zweite Vorschlag verzichtet auf die Lorentztransformationen und findet einen direkten Zugang zu zentralen Aussagen der Relativitätstheorie.

### Vorschlag I

#### Raumvorstellungen in der vorrelativistischen Physik

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Raumvorstellungen in der vorrelativistischen Physik</b> Zeitvergleiche (Uhrensynchronisation) Längen-, Zeit- und Geschwindigkeitsmessung Problem der Bewegung Wodurch könnte man ein System auszuzeichnen versuchen?	Galileitransformation vorrelativistisches Additionstheorem für Geschwindigkeiten Verträglichkeit des Impulssatzes der Newton'schen Physik mit der Galileitransformation	→ philosophische Betrachtungen zu Raum und Zeit, z. B. bei Leibniz (Streit zwischen Leibniz und dem Newton-Schüler Clarke), Newton, Mach, Kant (Schülerreferate)

#### Veränderungen in der Raum-Zeit-Vorstellung

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Suche nach dem Ätherwind</b> Ätherhypothese und das mechanistische Weltbild der Physik Einfluss der Bewegung gegen ein Trägermedium auf die Informationsweitergabe experimentelle Schwierigkeiten, die durch die Größe von $c$ bedingt sind	Wellen und Wellenträger physikalische Probleme der Ätherhypothese Idee und Durchführung des Michelson-Versuchs negativer Ausgang des Michelson-Versuchs	→ Interferenz am Keil → mechanische Wellen

<p><b>Auflösung des Widerspruchs zwischen dem Ergebnis des Michelson-Versuchs und der naiven Anschauung</b></p> <p>kritische Analyse der Raum- und Zeitmessung (Uhrensynchronisation in einem Inertialsystem und das Problem der Gleichzeitigkeit)</p> <p>Frage nach den Grundannahmen der Relativitätstheorie</p>	<p>Inertialsysteme und Konstanz der Lichtgeschwindigkeit</p> <p>Lorentztransformationen</p> <p>relativistisches Additionstheorem der Geschwindigkeiten</p>	<p>→ Bestätigung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in der modernen Nachrichtenübertragung (arbeitsteilige Untersuchungen)</p> <p>→ Paradoxien (Schülerreferat)</p>
<p><b>Spezielle relativistische Phänomene</b></p> <p>Längenkontraktion</p> <p>Zeitdilatation</p> <p>Zwillingsparadoxon</p> <p>Problem der Kausalität</p>	<p>Transformation von Raum- und Zeitintervallen</p> <p>Invarianz der zeitlichen Ordnung in der speziellen Relativitätstheorie</p>	<p>→ Kants Vorstellungen von Raum und Zeit (Schülerreferat)</p> <p>→ Kausalität</p> <p>→ Informationen im außerschulischen Umfeld (populärwissenschaftliche Informationen, Science-fictionliteratur und -filme)</p>

#### Umdenken in der Mechanik und in der Elektrik

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Eine neue Mechanik?</b></p> <p>relativistische Zusammensetzung von Bewegungen und Geschwindigkeiten</p> <p>Masse wächst mit der Geschwindigkeit</p> <p>Bedeutung und Überprüfung der Erhaltungssätze</p> <p>Zusammenhang zwischen Masse und Energie</p>	<p>relativistisches Additionstheorem der Geschwindigkeiten, relativistische Massenveränderlichkeit</p> <p>Erhaltungssatz für die dynamische Masse und den relativistischen Impuls</p> <p>Proportionalität von Masse und Energie, <math>E = mc^2</math></p> <p>Massenvergleich von Atomkernen und Kernbausteinen</p> <p><math>E^2 - p^2c^2 = E_0^2</math></p>	<p>→ Paradoxien, z. B. scheinbare Überlichtgeschwindigkeiten (arbeitsteiliges Vorgehen)</p> <p>→ Möglichkeiten interstellarer Raumfahrt</p> <p>→ Energie durch Fusion und Kernspaltung</p> <p>→ Paarerzeugung (Referat)</p> <p>→ Compton-Effekt</p> <p>→ de Broglie-Gleichungen</p>
<p><b>Wie ändert sich die Elektrik?</b></p> <p>Ladungen und Feldern bei Systemwechseln</p> <p>Lorentzkraft als elektrische Feldkraft auf eine Ladung in deren Ruhesystem</p> <p>Beobachtung eines elektrischen Feldes bei Bewegung (senkrecht) gegen ein magnetisches Feld</p>	<p>Invarianz der Ladung bei Inertialsystemwechsel</p> <p>Transformation von Feldern bei Systemwechseln</p> <p>qualitative Begründung der Lorentzkraft mit der Lorentzkontraktion</p> <p>Herleitung der Formel für die Lorentzkraft aus der Lorentzkontraktion</p>	<p>→ Transformation elektrischer und magnetischer Felder in der vorrelativistischen Physik</p> <p>→ Streben nach Vereinheitlichung in der Physik (etwa am Beispiel des Induktionsgesetzes)</p>

## Didaktischer Kommentar

Die Unverträglichkeit des Ausgangs des Michelson-Versuchs mit den Galileitransformationen liefert die Idee, diese so zu verändern, dass die neu gewonnenen Transformationsformeln (Lorentztransformationen) der Gleichberechtigung aller Inertialsysteme sowie der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit Rechnung tragen. Dies erfordert eine gründliche Analyse der Raum-Zeit-Messung. Aus den Lorentztransformationen ergibt sich in nahe liegender Weise das Einstein'sche Additionstheorem der Geschwindigkeiten, das wiederum zur Auflösung des o. g. Widerspruchs führt.

Das Additionstheorem macht gemäß den angegebenen Kontextbausteinen deutlich, dass die Newton'sche Dynamik nur näherungsweise für kleine Geschwindigkeiten richtig sein kann. Der Leitgedanke in der Entwicklung einer neuen Dynamik ist der Versuch einer "Rettung" der Erhaltungssätze der Mechanik, deren heuristischer Wert den Schülerinnen und Schülern vertraut ist. Das Ziel, die Gültigkeit des Impulssatzes zu bewahren, führt zu einer Formel für die dynamische Masse. Das wohl wichtigste Resultat der neuen Dynamik ist die Gleichung  $E = mc^2$ .

Interessant kann auch die relativistische Analyse der Elektrizität sein, da die Lorentzkontraktion eine überraschende Erklärung für das Auftreten der Lorentzkraft liefert und darüber hinaus verdeutlicht, dass relativistische Effekte nicht nur bei hohen Geschwindigkeiten bedeutsam sind.

## Vorschlag II

### Einsteins Welt

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Einsteins Welt</b> Gibt es die Zeit ohne Uhren? Uhrensynchronisation und Ätherwind Bewegung ist relativ bewegte Uhren gehen langsamer (Bewegung entlang einer Lichtuhrenkette) Überlichtschnelle $\mu$ -Mesonen? $E = mc^2$ – ein Geniestreich	Zeitmessung, Gleichzeitigkeit, Festlegung der Zeiteinheit, Lichtuhr Michelson-Morley-Versuch, Einsteins Postulate Gleichwertigkeit von Inertialsystemen (Ende der Gleichzeitigkeit) Zeitdilatation Raumkontraktion relativistische Massenzunahme Energie-Massebeziehung	Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler nutzen Gedanken und Realexperimente, die die Einstein'schen Ergebnisse plausibel machen, z. B. Frequenzverstimmung beim Zyklotron, Geschwindigkeitsmessungen am Linearbeschleuniger, Funktionsweise eines Synchrotrons

## THERMODYNAMIK

### Bedeutung der Thermodynamik in den modernen Wissenschaften

Die Thermodynamik kann als eine allgemeine Strukturtheorie aufgefasst werden, die nicht nur innerhalb der Physik, sondern auch in den anderen Naturwissenschaften zunehmend von Bedeutung ist. Darüber hinaus finden ihre Konzepte und Begriffe in neuerer Zeit Verwendung in wissenschaftlichen Betrachtungen anderer Disziplinen, wie z. B. in den Wirtschaftswissenschaften, in denen die Entropie neuerdings als Entwertungskonzept berücksichtigt wird, und in der Informatik, in der Entropie und Information verknüpft werden.

In der Physik rücken irreversible Phänomene und reale Systeme mit hoher Komplexität, z. B. sich selbst organisierende Systeme und Nichtgleichgewichtssysteme, immer mehr ins Blickfeld. Bei der physikalischen Beschreibung solcher Systeme sind thermodynamische Begriffe und Konzepte unabdingbar. In dem Maße, wie komplexe Systeme (z. B. im Rahmen der Umweltproblematik) in den

Blick des Unterrichts geraten, wächst auch die Bedeutung der Thermodynamik innerhalb der Schulphysik. Aspekte der nichtlinearen Dynamik, vor allem im Zusammenhang mit der Nichtgleichgewichtsthermodynamik (dissipative Strukturen) erscheinen durchaus in den Unterricht integrierbar.

### **Anschluss an das Energiekonzept im Physikunterricht der Sekundarstufe I**

Im Physikunterricht der Sekundarstufe I nimmt der Energiebegriff eine zentrale Stellung ein. Die physikalische Größe Energie wird zunächst qualitativ eingeführt als eine verschiedenen Systemen gemeinsame Eigenschaft, Bewegung, Elektrizität, Schall, Licht, Wärme usw. in den verschiedensten Formen hervorzubringen. Darauf aufbauend wird sie später quantifiziert und zur Bilanzierung bei unterschiedlichen Vorgängen herangezogen. Dabei stehen vor allem die Aspekte der Energieerhaltung, des Energietransports und der Energieumwandlung im Vordergrund, die einerseits die Energieerhaltung nahe legen, andererseits aber auch zur Energieentwertung führen.

Die Erfahrung, dass Energie bei Vorgängen zwar stets erhalten bleibt, dabei aber auch Entwertung erfährt, die darin besteht, dass die Energie nicht noch einmal für denselben Zweck gebraucht werden kann, wird in den verschiedenen behandelten Sachgebieten der Physik thematisiert. Ohne die Betrachtung der Energieentwertung bleiben zentrale Aspekte der Energieproblematik wie „Erschöpfung der Energiequellen“, „Energiesparen“ usw. für Schülerinnen und Schüler unverständlich. Die Energieentwertung als Ausdruck der mit jedem (irreversiblen) Prozess verbundenen Energieentwertung bzw. Entropieerzeugung, die sich beim Umgang mit der Energie mehr oder weniger stark bemerkbar macht, kann in der Sekundarstufe I nur qualitativ behandelt werden. Die Quantifizierung der Energieentwertung bzw. der dieser zu Grunde liegenden Irreversibilität als Entropieerzeugung ist der gymnasialen Oberstufe vorbehalten. Hier werden Energie und Entropie als komplementäre Konzepte zur Basis thermodynamischer Betrachtungen ausgebaut. In diesem Zusammenhang kann die Entropiezunahme auch konstruktiv als Voraussetzung dafür gesehen werden, dass überhaupt etwas passiert bzw. Systeme aus dem Gleichgewicht herausgetrieben und/oder fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht gehalten werden. Die Zunahme der Entropie steht somit sowohl für das sich unwiderruflich Verändernde in der Welt – die Irreversibilität – wie für Strukturbildungsprozesse und Evolution.

### **Didaktische Konzeptionen zur Behandlung der Entropie im Physikunterricht der Sekundarstufe II**

Im Rahmen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik (Entropieprinzip) wird die Zustandsgröße Entropie neben der Energie zu einem fundamentalen Konzept der Physik. Das Entropieprinzip beschreibt die Erfahrung, dass der Wert Energie bei von selbst ablaufenden Prozessen nicht zunehmen bzw. die Entropie nicht abnehmen kann. Auch lebensweltliche Erfahrungen wie die Asymmetrie der Zeit (Geschichtlichkeit, Vergänglichkeit usw.) finden hier einen präziseren Ausdruck.

Es gibt verschiedene Zugänge zur Quantifizierung der Entropie, von denen die beiden folgenden am bekanntesten sind. Im Rahmen der phänomenologischen Thermodynamik wird die Entropieänderung  $\Delta S$  als Quotient der in einer quasistatischen Zustandsänderung thermisch aufgenommenen oder abgegebenen Energie (Wärmemenge)  $\Delta Q$  und der absoluten Temperatur  $T$ , bei der der Energieaustausch stattfindet, definiert.

In der statistischen Thermodynamik betrachtet man alle möglichen Zustände, die ein thermodynamisches System annehmen kann. Jeder dieser Zustände hat eine bestimmte Wahrscheinlichkeit. Die Entropie  $S$  eines Systemzustandes wird als proportional zum Logarithmus dieser thermodynamischen Wahrscheinlichkeit  $P$  definiert:  $S = k \ln P$ . Dabei ist  $k$  die Boltzmann-Konstante. Beide Definitionen führen zu derselben physikalischen Größe  $S$ .

Die Behandlung der Thermodynamik in der gymnasialen Oberstufe kann prinzipiell nach verschiedenen Grundkonzepten erfolgen, die sich voneinander dadurch unterscheiden, auf welche Weise und an welcher Stelle die Entropie als physikalische Größe eingeführt und genutzt wird. Im Sachgebiet Thermodynamik bietet sich in besonderem Maße die Möglichkeit, fachliche, aber auch über das Fach hinausgehende, u. a. gesellschaftlich wichtige Phänomene, Fragen und Probleme heutiger

und zukünftiger Lebenswirklichkeit zu thematisieren. Dies sind z. B. Chaos und Ordnung, Selbstorganisation, sinnvolle und verantwortungsbewusste Nutzung der Energieressourcen, umweltbewusste Energieerzeugung (genauer: Erzeugung wertvoller Energieformen), Treibhauseffekt und andere. Um Raum für Themen aus diesen Bereichen zu gewinnen, ist es sinnvoll, die relevanten physikalischen Grundlagen relativ früh in der Unterrichtsreihe zu erarbeiten. Dies ist möglich, indem man konsequent das bereits in der Sekundarstufe I angelegte Energiekonzept vervollständigt.

Rückblickend auf den Unterricht in der Sekundarstufe I kann der Vergleich von Entwertungsprozessen zur Definition der Entropie führen. Dies wird im Kontext „Energieentwertung und Irreversibilität – Die Entropie“ vorgestellt und im anschließenden Kommentar ausführlich erläutert. In diesem Zusammenhang erweist sich die Energieentwertung als eine Art „Antrieb“ von Prozessen. Nur dadurch, dass unter Entwertung von Energie Systeme dem thermodynamischen Gleichgewicht zustreben, können andere Systeme aus dem thermodynamischen Gleichgewicht herausgetrieben (Energieaufwertung) und fernab vom thermischen Gleichgewicht gehalten werden (dissipative Strukturen).

Die Behandlung der Entropie ist nur für Leistungskurse obligatorisch, ihre Einführung und Nutzung zur Beschreibung der Phänomene im Sachbereich Thermodynamik erscheint aber auch für Grundkurse möglich. Einige der vorgeschlagenen Kontexte im Sachbereich Thermodynamik gehen von der Nutzung des Entropiebegriffs aus, alle lassen seine Nutzung zu. Zur unterrichtlichen Umsetzung der Obligatorik im Sachbereich Thermodynamik können fünf Wochen Unterricht im Leistungskurs ausreichen.

### Energieentwertung und Irreversibilität – Die Entropie

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Strukturbildung und Zerfall</b> von selbst ablaufende Vorgänge und Irreversibilität Energieentwertung als „Antrieb“ von Prozessen	1. Hauptsatz der Thermodynamik 2. Hauptsatz in vorläufiger Formulierung mit dem Entwertungs-begriff Zusammenspiel von Energieentwertung und Energieaufwertung, dissipative Strukturen qualitativ	Beobachten, Klassifizieren Referat → BI (Stoffwechsel)
<b>Energieentwertung quantitativ</b> Energieentwertung lässt sich als Entropiezuwachs quantifizieren Zusammenspiel von Energie und Entropie	thermodynamische Definition der Entropie 2. Hauptsatz Energiefluss, Entropiefluss und Entropieerzeugung bei entwertenden Prozessen dissipative Strukturen quantitativ	Gedankenexperiment Definition einer Grundgröße → BI/CH
<b>Blick in die historische Entwicklung der Thermodynamik</b> Teilgebiete der Physik wachsen zusammen Entropie und Zeit	Entwicklung der Begriffe Energie und Entropie thermodynamisches Gleichgewicht und Entropiemaximum Entropiezunahme und Zeitpfeil	Referat Exkursion → BI/CH



## Überlegungen zur Einführung der Entropie im Kontext „Energieentwertung und Irreversibilität – Die Entropie“

Eine Möglichkeit, die Entropie  $S$  einzuführen, besteht darin, ihre Änderung  $\Delta S$ , als Maß für die Irreversibilität eines Prozesses bzw. für die Entwertung von Energie in einem Prozess plausibel zu machen. Dies kann etwa über folgende Betrachtungen geschehen:

Beobachtet wird das Fallen eines Steins aus vorgegebener Höhe  $h$  über dem Boden in einem großen mit Luft gefüllten isolierten Gefäß. Beim Aufprall auf den Boden wird die gesamte kinetische und vormals potentielle Energie  $\Delta E$  in innere Energie von Stein, Gefäßwand und Luft umgewandelt. Die Luftreibung ist dabei unerheblich, da sie letztlich auch zur Erhöhung der inneren Energie von Stein und Luft führt. Wartet man lange genug, so stellt sich für alle Objekte die gleiche Temperatur  $T$  ein. Ist darüber hinaus das Luftvolumen sehr groß, so kann man es zur Vereinfachung als Reservoir betrachten, in dem sich die Temperatur des Systems durch das Fallen des Steins nicht geändert hat. Die Energie der Luft hat sich dabei um den Wert  $\Delta Q = \Delta E$  erhöht. Dieser Prozess ist irreversibel und stellt eine Entwertung der Lageenergie des Steins dar.

Es kann nun an diesem Beispiel plausibel gemacht werden, dass die Menge an erzeugter Irreversibilität und entsprechend die Menge an Entwertung in diesem Prozess, bei sonst gleichen Bedingungen, proportional zur erzeugten inneren Energie  $\Delta Q$  ist. Dies ist einfach durch Zerlegung eines Steins mit doppelter Masse in zwei Steine einfacher Masse bei gleicher Fallhöhe im Reservoir gleicher Temperatur zu ermitteln.

Folgende Überlegungen führen zu der Aussage, dass die Menge an erzeugter Irreversibilität und entsprechend die Menge an Entwertung in diesem Prozess, bei sonst gleichen Bedingungen, umso größer ist, je niedriger die Temperatur ist, bei der die vormalige Lageenergie  $\Delta E$  nach der irreversiblen bzw. entwertenden Umsetzung als innere Energie vorliegt:

Man betrachtet dazu den Prozess  $\alpha$  in einem Reservoir 1 der Temperatur  $T_1$ . Die beim Fallen des Steins umgesetzte Energie  $\Delta E$  liegt dann am Ende als innere Energie bei der Temperatur  $T_1$  vor. Parallel dazu betrachtet man den mechanisch gleichen Prozess  $\beta$  in einem Reservoir 2 der Temperatur  $T_2 > T_1$ . Die beim Fallen des Steins umgesetzte Energie  $\Delta E$  liegt dann am Ende als innere Energie bei der Temperatur  $T_2$  vor. Die umgesetzte Energiemenge ist in beiden Fällen gleich, sie liegt als innere Energie vor. Dennoch unterscheiden sich beide erheblich!

Man kann die Zustandsänderung  $\alpha$  in Reservoir 1 auch dadurch herbeiführen, dass man zunächst den Prozess  $\beta$  (Stein fällt in Reservoir 2 bei  $T_2$ ) und anschließend den ebenfalls irreversiblen Prozess  $\gamma$  ablaufen lässt, der darin besteht, dass man durch kurzfristigen diathermanen Kontakt die Wärmemenge  $\Delta Q = \Delta E$  vom wärmeren Reservoir 2 in das kältere Reservoir 1 fließen lässt. Dadurch wird das Reservoir 2 in den ursprünglichen Zustand zurückgeführt, so als ob kein Stein gefallen wäre, das Reservoir 1 aber in den Zustand gebracht, den es auch erreicht hätte, wenn man hier den Stein hätte fallen lassen. Mit anderen Worten: Der Prozess  $\alpha$  ist gleichbedeutend mit dem zusammengesetzten Prozess  $\beta \oplus \gamma$ :  $\alpha = \beta \oplus \gamma$ .

Das Maß für Energieentwertung bzw. Irreversibilität  $I$  wird sinnvollerweise als positive, mengenartige (extensive) Größe definiert. Damit ist die mit dem Prozess  $\alpha$  verbundene Energieentwertung bzw. Irreversibilität  $I(\alpha)$  gleich der Summe  $I(\beta) + I(\gamma)$  und mit  $I(\gamma) > 0$  ( $\gamma$  ist irreversibel) folgt:  $I(\alpha) > I(\beta)$ . Da sich die Reservoirs voraussetzungsgemäß nur in der Temperatur unterscheiden, folgt daraus: Bei einer irreversiblen Energieübertragung (von selbst ablaufender Prozess) an ein Reservoir ist, bei sonst gleichen Bedingungen, die Energieentwertung bzw. die Irreversibilität umso größer, je niedriger die Temperatur der Reservoirs ist, bei der die Energieübertragung erfolgt.

Sowohl die Proportionalität als auch die monoton fallende Abhängigkeit der Energieentwertung bzw. Irreversibilität von der Temperatur können durch die Entropieänderung  $\Delta S = \Delta Q/T$  beschrieben wer-

den, wobei T die absolute Temperatur ist. Die so definierte Entropieänderung ist somit ein Maß für die Energieentwertung bzw. Irreversibilität eines von selbst ablaufenden Vorgangs.

### Energie von der Sonne – Energiehaushalt der Erde

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Sterne verraten sich durch Strahlung</b></p> <p>Frequenz und Wellenlänge beschreiben das Spektrum Die Temperatur bestimmt die spektrale Verteilung</p>	<p>Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum)</p> <p>Frequenz und Wellenlänge der thermischen Strahlung</p> <p>Verschiebungsgesetz (Wien)</p> <p><math>T^4</math>-Gesetz der abgestrahlten Leistung (Stefan-Boltzmann)</p>	<p>→ Dopplereffekt</p> <p>→ optische Spektralanalyse</p> <p>→ Größe von Sternen</p>
<p><b>Planeten im Strahlungsgleichgewicht</b></p> <p>Energiehaushalt, ein Gleichgewicht</p> <p>Entropieerzeugung auf der Erde ermöglicht Leben</p>	<p>Absorption von thermischer Strahlung</p> <p>Absorption und Emission im Strahlungsgleichgewicht</p> <p>dissipative Strukturen, Entropieerzeugung als „Antrieb“ der Lebensprozesse</p>	<p>→ Heizungsanlagen</p> <p>→ Energiehaushalt eines Hauses</p> <p>→ BI</p>

### Unsere Atmosphäre – ein Treibhaus

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Die Atmosphäre bestimmt unsere Lebensbedingungen</b></p> <p>Wechselwirkung zwischen Strahlung und Atmosphäre</p> <p>Aufbau der Atmosphäre</p>	<p>Absorption von thermischer Strahlung</p> <p>Aufbau; Luftdruck; Temperaturschichtung der Atmosphäre</p>	<p>Referat</p> <p>Exkursion</p> <p>→ EK</p>
<p><b>Der Treibhauseffekt – eine Verschiebung des Strahlungsgleichgewichts der Erde</b></p> <p>CO<sub>2</sub> als Treibhausgas</p> <p>Einfluss der CO<sub>2</sub>-Emission auf unser Klima</p> <p>Vorhersagen zur Klimaentwicklung</p>	<p>Absorption von Strahlung in verschiedenen Gasen</p> <p>Modellrechnung zum Einfluss der Absorption der Strahlung der Erde in der Atmosphäre auf die Temperatur</p> <p>Klimamodelle und Prognosen</p>	<p>Entwicklung von Modellen</p> <p>Simulationen durch Modellbildungssysteme</p> <p>Zusammenarbeit mit der Klimaforschung an Hochschulen (Exkursion)</p> <p>→ CH und EK</p>

## Wärme­kraft­ma­schinen und Wärmepumpen

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Erzeugung wertvoller Energie</b> Beispiele für Wärme­kraft­ma­schinen von Beispielen zum Modell Der Preis der Energieaufwertung Heißluftmotor als Beispiel	Energiefluss, Entropiefluss und Entropieerzeugung in Wärme­kraft­ma­schinen 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik Carnot'scher Wirkungsgrad für Kreisprozesse Heißluftmotor	Beobachten, Klassifizieren, Abstrahieren → TC
<b>Energietransport gegen die Laufrichtung</b> Heizen aus der Umgebung – die Wärmepumpe Vergleich von Heizungssystemen (z. B. Elektroheizung, Wärmepumpe)	1. und 2. Hauptsatz Energie- und Entropieströme Wirkungsgrad	Beobachten, Klassifizieren, Abstrahieren → TC

## Ener­gie­tech­niken und Ener­gie­ver­so­r­gungs­kon­ze­pte

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Wärme­kraft­wer­ke</b> Kreislauf des Arbeitsstoffes Energie- und Entropiebilanzen Umweltbelastung durch Abwärme Kraft-Wärme-Kopplung, Blockheizkraftwerke	1. und 2. Hauptsatz Kreisprozesse Energie- und Entropieströme Wirkungsgrad	Referat, Facharbeit Erkundung, Exkursion → TC, BI, EK
<b>Energie umweltverträglich nutzen, speichern und transportieren</b> Energie aus fossilen Brennstoffen Kernenergie regenerative Energien zukunftsorientierte Energiekonzepte	Kernspaltung Solarzellen Sonnenkollektoren Brennstoffzellen globale Energiekreisläufe	Recherche Referat, Facharbeit Erkundung, Exkursion Podiumsdiskussion → TC, BI, EK (Projekt)

## Die Sonne – ein glühender Gasball

In der Sonne laufen komplexe Vorgänge ab, die viele Fragen aufwerfen. Die Temperatur spielt für das Verständnis eine entscheidende Rolle. Es soll daher versucht werden, einen groben Näherungswert für deren Wert im Sonneninneren zu erhalten. Dazu wird die Sonnenmaterie als („ideales“) Gas betrachtet.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Die Sonne – ein glühender Gasball</b></p> <p>Die Sonne – eine langlebige Energiequelle</p> <p>Zusammenhang zwischen Zustandsgrößen (Temperatur, Druck ...) bei Gasen</p> <p>Abschätzung der Temperatur im Sonneninneren durch Modellbildungen, Vergleich und Diskussion der erhaltenen Werte</p>	<p>Stoffmenge</p> <p>Gesetz von Gay-Lussac</p> <p>Gesetz von Amontons</p> <p>absolute Temperatur</p> <p>allgemeine Gasgleichung</p> <p>Phasenübergänge</p>	<p>Modellbildung</p> <p>arbeitsteiliges Vorgehen</p> <p>→ Quantenphysikalische Behandlung entarteter Sterne</p> <p>→ Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation, Fermigas, Pauliprinzip</p>

### Didaktischer Kommentar

Das Thema weist Bezüge zu unterschiedlichen Bereichen der Physik auf und eignet sich daher zur Vernetzung physikalischer Erkenntnisse. Besonders erwähnt seien kinetische Gastheorie (Frage nach der mittleren Teilchenenergie und deren Streuung), Atomphysik (Kernfusion), Relativitätstheorie (Äquivalenz von Masse und Energie), Kosmologie (Alter und Lebenslauf von Fixsternen) und Gravitationslehre. Die Variationsmöglichkeiten in der Modellbildung ermöglichen sinnvolle Schülerlösungen auf unterschiedlichen Anspruchsniveaus. Die Schülerinnen und Schüler haben dabei eine realistische Chance, selbstständig die Modelle zu verändern.

Die Schwierigkeit einer Modellbildung für den Zustand im Sonneninneren mithilfe der allgemeinen Gasgleichung liegt darin, dass Druck- und Dichteverteilung unbekannt sind. Da die Sonnenmasse und damit die mittlere Dichte der Sonne aus der Umlaufzeit der Planeten errechnet werden kann, kann man unterschiedliche Modelle für die Dichteverteilung entwickeln und daraus wiederum Abschätzungen für den Druck gewinnen. Bereits unter der Annahme einer konstanten Dichte im Sonneninneren ergeben sich dann brauchbare Werte für die Temperatur, die wiederum die Funktionsweise der Sonne als Fusionsreaktor verständlich machen.

Ein besonders einfaches Modell mit konstant angenommener Sonnendichte  $\rho$  und der Näherung, dass die Sonne im Wesentlichen aus Wasserstoff besteht, sei kurz skizziert:

Es gilt  $\rho = \frac{m_H}{V_{\text{mol}}}$ , d.h.  $V_{\text{mol}} = \frac{m_H}{\rho}$ , wobei  $V_{\text{mol}}$  das Volumen von 1 kmol Sonnenmaterie unter den am jeweiligen Ort vorliegenden Bedingungen und  $m_H$  die zugehörige Masse (für Wasserstoff also 1 kg) ist. Mithilfe der allgemeinen Gasgleichung  $p \cdot V_{\text{mol}} = RT$  liefert dies für die Temperatur die Formel  $T = \frac{p}{\rho} \cdot \frac{m_H}{R}$  (1).

Es sei  $r$  der Sonnenradius und  $M_S$  die Sonnenmasse. Der Druck auf eine Fläche  $A$  im Abstand  $r/2$  vom Sonnenmittelpunkt werde durch die Gravitationskraft bewirkt, die auf eine Säule der Höhe

$r/2$  mit der mittleren Sonnendichte  $\rho = 1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  einwirkt. Denkt man sich die Säule als Punktmasse im Abstand  $r/2$ , so beträgt die Gravitationskraft

$$F_G = \frac{\gamma \cdot m_{\text{Säule}} \cdot (M_S / 8)}{(r/2)^2} = \frac{\gamma \cdot m_{\text{Säule}} \cdot M_S}{2r^2}. \text{ (Eine Integration ergibt den 1,5-fachen Wert.) Für den}$$

Druck liefert dies  $p = \frac{F_G}{A} = \frac{\gamma \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{r}{2} \cdot \frac{M_S}{8}}{A \cdot \left(\frac{r}{2}\right)^2} = \frac{\gamma \cdot \rho \cdot M_S}{4r}$ . Setzt man den daraus ablesbaren Wert für

$$\frac{p}{\rho} \text{ in (1) ein, so folgt für die Temperatur } T = \frac{\gamma \cdot M_S \cdot m_H}{4r \cdot R}.$$

Errechnet man aus der Temperatur die mittlere kinetische Energie der Protonen, so stellt man fest, dass diese weit unter dem Wert liegt, der für eine Fusion erforderlich ist. Die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung sorgt jedoch dafür, dass ständig ein geringer Teil der Protonen fusioniert, was wiederum die Langlebigkeit der Sonne als Energiequelle erklärt.

### Modellbildung für Gase auf der Mikroebene

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Modellbildung für Gase auf der Mikroebene</b></p> <p>Wie lässt sich der Gasdruck modellmäßig verstehen?</p> <p>Wie lässt sich Erwärmung auf Grund der Kenntnisse über den Gasdruck modellmäßig erklären?</p> <p>Was geschieht bei einer schnellen Kompression? (Bedeutung der Temperaturerhöhung)</p> <p>Welche weiteren Prozesse lassen sich an Gasen durchführen? Wie lassen sich diese mit den entwickelten Modellvorstellungen interpretieren? Welcher Energieumsatz findet dabei statt?</p>	<p>Modell des idealen Gases</p> <p>Gesetz von Boyle-Mariotte</p> <p>Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung</p> <p>Zusammenhang zwischen mittlerer kinetischer Energie der Schwerpunktbewegung pro Teilchen und der absoluten Temperatur</p> <p>1. Hauptsatz</p> <p>adiabatische, isotherme, isobare und isochore Prozesse</p>	<p>Modellbegriff in der Physik</p> <p>Bedeutung der deduktiven Methode in der Physik</p> <p>→ Dieselmotor (Referat)</p> <p>→ Modellbegriff in verschiedenen Wissenschaften (Gruppenarbeit)</p> <p>→ Wetterkunde</p> <p>→ Bestimmung der Avogadro'schen Konstanten</p> <p>→ Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Stochastische Prozesse (M)</p>

## Die Zeitrichtung in der Physik

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Die Zeitrichtung in der Physik</b>  ein „physikalischer Film“ läuft nur in eine Richtung  Selbstorganisation und Entstehung von Strukturen  Betrachtung nicht umkehrbarer Abläufe auf der Mikroebene (qualitative stochastische Analyse)</p>	<p>zeitliche Symmetrie der Gesetze der Mechanik (z. B. Impulssatz, Energiesatz) und Elektrizitätslehre  Reversibilität und Irreversibilität bei realen Prozessen, Energieentwertung  Zusammenhang zwischen Entropie und thermodynamischer Wahrscheinlichkeit  Perpetuum mobile II. Art</p>	<p>arbeitsteiliger Gruppenunterricht  → Zeitbegriff und Zeitpfeil in der Relativitätstheorie  → Stochastische Prozesse (M)  → Arbeiten mit Wahrscheinlichkeiten in der Physik</p>

## Der Flügelschlag des Schmetterlings oder: Die Schwäche des starken Kausalitätsprinzips

Die Untersuchung nichtlinearer Systeme – nicht nur aus dem Bereich der Physik – hat erst in den letzten dreißig Jahren gerade auf Grund der während dieser Zeit möglich gewordenen umfangreichen Computersimulationen zu wichtigen Erkenntnissen geführt. Eine unterrichtliche Behandlung entsprechender Fragestellungen kann sich daher nicht auf langfristige Erfahrungen stützen und muss von den Lehrerinnen und Lehrern selbstständig erprobt und beurteilt werden. Vielfältige Informationen für Lehrkräfte finden sich in den Veröffentlichungen in der didaktischen Literatur seit Beginn der 90er-Jahre sowie in den neueren Schulbüchern. Die nachfolgenden Kontextbausteine deuten nur einige Beispiele für mögliche Fragestellungen im Unterricht an.

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Eine Dünenlandschaft unter physikalischen Aspekten</b>  Konvektionszellen  Rosinen im Kuchen  Granulate</p>	<p>Systeme mit nichtlinearen Wechselwirkungen  Strukturbildung und Selbstorganisation  dissipative Strukturen  Symmetrie und Symmetriebruch</p>	<p>theorie- und modellgeleitete Beobachtung und Beschreibung  Modellbildung, Einschätzung von Modellen hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit  Bewertung des Nutzens physikalischer Erkenntnisse zur Klärung von Problemen der Lebenswelt  → fachübergreifendes Projekt in Zusammenarbeit mit anderen naturwissenschaftlichen Fächern</p>
<p><b>Der „Flügelschlag des Schmetterlings“</b>  ein unentschiedenes (Magnet-)Pendel  Laplace'scher Dämon</p>	<p>Sensitivität  Ungültigkeit des starken Kausalitätsprinzips  Folgerungen aus der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation  deterministisches Weltbild</p>	<p>Computersimulationen  Beschreiten verschiedener Wege der physikalischen Erkenntnisgewinnung  Nutzung des Computers in der Erkenntnisgewinnung</p>

<b>Ordnung im Chaos oder: Eine ordentliche Unordnung</b> Rad mit Unwucht chaotisches Billard Planet auf Irrwegen	Phasenraum und Attraktoren Bifurkationen Selbstähnlichkeit Fraktale, fraktale Dimension Feigenbaumdiagramme Zusammenhang zum logis- tischen Wachstum	Computersimulationen → Bewerten der Bedeutung des Computers in der Er- kenntnisgewinnung
---	--	---

### Didaktischer Kommentar

Die Behandlung der nichtlinearen Systeme erlaubt es der Lehrerin bzw. dem Lehrer im Unterricht Inhalte anzusprechen, die zum gegenwärtigen, aktuellen Forschungsgegenstand der Physik gehören.

Grundzüge der nichtlinearen Dynamik und wesentliche Eigenschaften und Phänomene nichtlinearer Systeme (Selbstorganisation; selbst organisierte Kritikalität, Symmetrie und Symmetriebruch, Bifurkationen, regelmäßige Übergänge im chaotischen Systemverhalten) lassen sich bereits mit recht einfachen experimentellen Mitteln im Schulunterricht zeigen. Insbesondere kann man viele qualitative Versuche durchführen, die die Schülerinnen und Schüler Eigenschaften solcher Systeme kennen lernen lassen, wie man sie vor allem in vielen uns umgebenden Systemen findet. Als Beispiele für in der Schule qualitativ behandelbare Systeme seien genannt: Bénard-Zellen, in Schwingung versetzte Sandhäufchen, Tischtennisball im Trichter eines Lautsprechers usw. Darüber hinaus kann man aber auch quantitative Untersuchungen durchführen, bei denen die Schülerinnen und Schüler neben der vertieften Kenntnis über das Systemverhalten auch lernen, solches Systemverhalten formal zu beschreiben und dabei Phasendiagramme zu lesen und zu interpretieren. Als Beispiele für in der Schule quantitativ behandelbare nichtlineare Schwingungen seien insbesondere das Pohl'sche Rad mit Unwucht und der elektrische Schwingkreis mit periodischen Funkenentladungen genannt. Bei der quantitativen Behandlung nichtlinearer Systeme ist der Einsatz des Computers unabdingbar. Nur mit seiner Hilfe gelingt es, die auftretenden Differentialgleichungen numerisch zu lösen und die Resultate unter Nutzung verschiedener Diagrammformen (Zeit- und Phasendiagramme) grafisch oder tabellarisch darzustellen.

Bei vielen der in der Physik untersuchten Systeme handelt es sich um stabile Systeme in dem Sinne, dass bei geringer Änderung der in ihnen vorkommenden Parameter sich die Systemgrößen ebenfalls nur wenig ändern; für sie gilt das starke Kausalitätsprinzip, das besagt, dass nicht nur dieselben Ursachen (selbstverständlich) dieselben Wirkungen hervorrufen, wie das für alle deterministischen Systeme gilt, sondern dass vielmehr sogar ähnliche Ursachen immer noch zu ähnlichen Folgerungen führen. Einige Systeme hingegen reagieren in ihrem zeitlichen Verhalten äußerst sensibel auf geringe Veränderungen ihrer Parameter: unter nur leicht geänderten Eingangsvoraussetzungen erreichen sie nach einer gewissen (möglicherweise durchaus sehr kurzen) Zeitspanne vollständig andere Folgezustände, sodass eindeutige Vorhersagen hier überhaupt nicht möglich erscheinen.

Diese Eigenschaft findet sich unter gewissen Bedingungen bereits bei sehr einfachen Systemen, wenn sie nur eine bestimmte Eigenschaft, die sich als typisch für alle solche Systeme herausgestellt hat, aufweisen: das Vorkommen einer nichtlinearen Wechselwirkung. Eine (längerfristige) Vorhersage ist in solchen Systemen prinzipiell nicht mehr möglich, da eine winzige Veränderung eines einzelnen Parameters bereits gravierende Veränderungen im Gesamtverhalten des Systems herbeiführen kann. Vollends verschärft wird diese Feststellung noch durch die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation der Quantenmechanik, nach der Ort und Impuls eines Teilchens prinzipiell nie gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit bestimmt werden können. Dies bedeutet die endgültige Entkräftung des starken Kausalitätsprinzips. Wenn bereits die Voraussetzungen nicht eindeutig bestimmbar sind, können für viele für uns relevante Systeme prinzipiell keine eindeutigen Vorhersagen gewonnen werden.

### Ergänzende Hinweise:

Da das Kennenlernen typischer Verhaltensweisen von Systemen im Allgemeinen nicht auf den Physikunterricht beschränkt ist, bietet sich die Zusammenarbeit mit anderen Unterrichtsfächern nicht nur aus dem Bereich der Naturwissenschaften an. Andererseits kann man gerade beim Studium der nichtlinearen Systeme die Bedeutung des Faches Physik für die grundlegenden Untersuchungen und die Bereitstellung von Beschreibungsmechanismen für ein solches Systemverhalten verdeutlichen.

Wenn gewünscht, kann ein grundlegender Einstieg in die quantitative Behandlung des chaotischen Verhaltens über die Untersuchung des Terms für das logistische Wachstum geschehen: Seine Iteration bzw. die Integration der zugehörigen Differentialgleichung in diskreten Schritten zeigt bei geeigneter Wahl der Parameter das für alle chaotischen Systeme typische Phänomen der Bifurkationen sowie die Selbstähnlichkeit.

### ATOM- UND QUANTENPHYSIK

Das vorliegende Konzept orientiert sich stark an der historischen Entwicklung. Insbesondere erfolgt der Übergang zur Quantenphysik durch die Analyse des lichtelektrischen Effekts. Als Alternative sei exemplarisch die Möglichkeit genannt, die Quantenphysik mit der Elektronenbeugung zu beginnen und anschließend die Beugung des Lichtes quantentheoretisch zu interpretieren. Durch eine frühe Thematisierung der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelationen lässt sich dann das Verhalten von Mikroobjekten studieren und gegen das Verhalten klassischer Objekte abgrenzen.

### Woher weiß man, dass Atome existieren?

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<b>Ein einfaches Atommodell</b> Verhalten von Gasen bei Druckerhöhung vertraute Vorgänge bei der Zufuhr von Wärme (z. B. Wärmeleitung, Wechsel des Aggregatzustandes) überraschende Ganzzahligkeiten in der Chemie (Volumenverhältnisse bei Gasreaktionen; Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen)	Brown'sche Bewegung Gesetz von Boyle-Mariotte in der kinetischen Gastheorie, allgemeine Gasgleichung atomistische Interpretation der Wärmeleitung atomistische Interpretation der Aggregatzustände Avogadro'scher Satz Bestimmung relativer Atommassen (Chemie)	→ Atomvorstellungen im Altertum (Referat) → Diskussion um die Existenz von Atomen zwischen Leibniz und Clarke (Newton-Schüler) (Referat) → Strukturformeln in der Chemie; Gruppenarbeit (Schülerinnen und Schüler mit entsprechenden Vorkenntnissen aus der Chemie erarbeiten die Verfahren mit anderen Mitgliedern der Lerngruppe)



### Wie kann man Atome untersuchen?

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Atome zählen</b>                      grobe Anzahl-schätzungen (dünne Plättchen; dünne Häute (z. B. Seifenhaut; Öl auf Wasser)                      genauere Zählverfahren (elektrochemische Verfahren; stochastische Verfahren; optische Verfahren)</p>	<p>Öltröpfchenversuch zur Abschätzung von <math>N_A</math>                      Faraday'sche Gesetze                      Brown'sche Molekularbewegung                      Röntgenspektroskopie</p>	<p>→ Interferenz an dünnen Schichten (z. B. Farben von Insektenflügeln, Seifenblasen)                      → Stochastische Prozesse (M)                      → Rastertunnelmikroskopie</p>
<p><b>Ionisation</b>                      Erzeugung von Ionen                      Untersuchung der Eigenschaften mit elektrischen und magnetischen Feldern</p>	<p>Massenspektroskopie                      Zyklotron</p>	<p>→ Leuchtstoffröhren (Referat)                      → e/m-Bestimmung                      → Teilchenbeschleuniger</p>
<p><b>Radioaktiver Zerfall</b>                      physikalische Eigenschaften                      biologische Wirkungen</p>	<p>Trennung von radioaktiver Strahlung (Ablenkung von <math>\alpha</math>- und <math>\beta</math>-Strahlen in Feldern, <math>\gamma</math>-Strahlung);                      Nachweisverfahren radioaktiver Strahlung (Zählrohre, Nebelkammer, Blaskammer, Szintillationsdetektor);                      Zerfallsgesetz, Zerfallsreihen                      Absorption und Absorptionsgesetze                      Strahlendosis</p>	<p>→ Szintigramme in der Medizin (Referat)                      → Biologische Strahlenschäden (Referat)                      → Strahlentherapie in der Medizin (Referat)                      → Problematisierung des Zusammenhangs zwischen Strahlendosis und biologischer Wirkung radioaktiver Strahlen (Referat, selbstständiges Literaturstudium)</p>

### Erkenntnisse über den Atomkern

Kontextbausteine	Gegenstände	Hinweise
<p><b>Aufbau der Atomkerne</b>                      Stabilität bzw. Instabilität von Atomkernen                      Nuklidkarte</p>	<p>Rutherford'scher Streuversuch                      Kernbausteine und Kernkraft                      Isotope und Isotopentrennung                      radioaktiver Zerfall                      Tröpfchenmodell des Atomkerns                      quantentheoretische Behandlung des Atomkerns</p>	<p>→ Geschichte der Entdeckung der Kernspaltung (Fermi, Noddak, Hahn, Meitner)                      → Isotopentrennverfahren beim Uran</p>

<p><b>Gewinnung von Energie aus Kernprozessen</b>          Spaltung von Atomen          Kernreaktoren          Atomwaffen          Wiederaufbereitung</p>	<p>Energiegewinnung durch Kernspaltung; Kettenreaktion          Energiegewinnung durch Kernfusion          Kernprozesse in Fixsternen</p>	<p>→ Projekt „Los Alamos“ im 2. Weltkrieg (SW,GE,RE); (Referat, selbstständiges Literaturstudium)          → Deutsche Atomforschung im 2. Weltkrieg (SW,GE) (Referat, selbstständiges Literaturstudium)          → Göttinger Erklärung (SW,GE) (Literaturstudium)          → Kernenergiefrage unter unterschiedlichen Aspekten (Entsorgungsproblematik, Energieproblem, ethische Fragen) (Referate, selbstständiges Literaturstudium)</p>
---	---	---

**Von klassischen Vorstellungen zur Quantenphysik**

<b>Kontextbausteine</b>	<b>Gegenstände</b>	<b>Hinweise</b>
<p><b>Wechselwirkung von Licht und Materie klassisch gesehen</b>          Sichtbarmachung von Licht, Himmelsfarbe          Vermeidung unerwünschter Reflexionen in der Fotografie          Verhalten von Metallen bei Lichteinfall (Undurchlässigkeit und Glänzen)</p>	<p>Hertz'scher Oszillator und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen          Interpretation von Streuung und Reflexion in der Elektrodynamik          Polarisierung durch Reflexion; Erklärung des Brewsterwinkels mit dem Modell des Hertz'schen Oszillators</p>	<p>→ erzwungene Schwingungen          → Orientierung von Insekten</p>

<p><b>Vom Fotoeffekt zum Photonenmodell</b></p> <p>Warum reicht die Wellenvorstellung nicht zur Deutung der Wechselwirkung Licht-Materie? (Fotoeffekt bei extrem schwacher Beleuchtung, Energie der ausgelösten Elektronen nach der Wellenvorstellung)</p> <p>Deutungsversuche mit der Korpuskelvorstellung (zeitliches Einsetzen des Fotoeffekts bei schwacher Beleuchtung, Energie der ausgelösten Elektronen bei unterschiedlicher Lichtintensität)</p> <p>Energie der Photonen</p> <p>Impuls der Photonen</p> <p>experimentelle Bestätigung der Aussagen über Energie und Impuls von Photonen</p> <p>Konsequenzen des Photonenmodells für Vorstellungen vom Atombau</p>	<p>experimentelle Befunde zum Fotoeffekt</p> <p>Versuch von Meier und Gerlach (Metallstaub als Kathodenmaterial)</p> <p>Energie und Impuls von Lichtquanten</p> <p>Bestimmung der Streufrequenz (beim Compton-Effekt) nach dem Photonenmodell</p> <p>mathematische Beschreibung von Lichtquanten</p> <p>Linienpektren und Energiequantelung</p> <p>Bohr'sches Atommodell</p>	<p>→ Energiedichte des elektromagnetischen Feldes</p> <p>→ Fotozellen</p> <p>→ Röntgenbildverstärker</p> <p>→ Nachtsichtgeräte</p> <p>→ Fernsehkamera</p> <p>→ Strahlenschäden</p> <p>→ die Funktion <math>e^{ikx}</math></p>
<p><b>Quantenobjekte</b></p> <p>Erfahrungen über Licht und Elektronen, die ein Wellenmodell bzw. Teilchenmodell nahe legen</p> <p>Was sind Photonen und Elektronen eigentlich?</p> <p>Grenzen der Modellvorstellungen</p>	<p>Energietransport und Energieübertragung durch Wellen</p> <p>de Broglie-Theorie des Elektrons</p> <p>Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation</p> <p>Energieübertragung durch Teilchen</p>	<p>→ Beugung und Interferenz in verschiedenen Bereichen der Wellenlehre</p> <p>→ e/m-Bestimmung</p> <p>→ Millikan-Versuch</p> <p>→ Grenzen der Anschauung in der modernen Physik (selbstständiges Arbeiten mit geeigneter Literatur)</p>
<p><b>Interpretationen der Quantenmechanik</b></p> <p>Das Problem des Determinismus (Prognosen in der klassischen Physik, insbesondere Mechanik, Unerfüllbarkeit der Voraussetzungen der klassischen Physik in der Mikrophysik)</p> <p>Zustände in der Quantenphysik (Messung an einem Mikroobjekt, Unterschiede zwischen dem Messvorgang in der Quantenphysik und in der klassischen Physik, Quantensysteme zwischen zwei Messungen)</p>	<p>Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation</p> <p>Photonenmodell</p> <p>de Broglie-Theorie des Elektrons</p> <p>Spin</p>	<p>→ chaotische Prozesse (Referat)</p> <p>→ Determinismus in der Newton'schen Physik</p> <p>→ verschiedene philosophische Grundpositionen in der Interpretation der Quantenphysik (selbstständiges Literaturstudium)</p>

## **Didaktischer Kommentar**

### **Erarbeitung einfacher Atommodelle**

Die Atomphysik thematisiert das Verhalten von Mikrogrößen. Eine direkte Beobachtung von Abläufen bzw. ein unmittelbarer experimenteller Zugriff zu den zu untersuchenden Objekten wie in vielen anderen Bereichen der Physik ist daher in der Regel nicht möglich. Es ist an dieser Stelle wichtig zu verdeutlichen, wie man trotzdem zu detaillierten Kenntnissen gelangt. Die Arbeit in der Atomphysik gleicht einer Detektivarbeit: Experimentelle Befunde liefern Spuren, die Eigenschaften und Zusammenhänge vermuten lassen und zu einer Theoriebildung (Modellbildung) herausfordern. Die Modellbildung impliziert wieder neue Fragen, die man durch Experimente abzusichern versuchen kann. Unstimmigkeiten führen dazu, dass der Anwendungsbereich eines Modells eingeschränkt, das Modell verfeinert oder ganz verworfen werden muss.

Die Kontexte zur Atomphysik sind so abgefasst, dass der Entdeckungsprozess zusammen mit der Theoriebildung/Modellbildung im Vordergrund steht. Die übergreifende Frage lautet: Wie gelangt man zu einer überzeugenden Begründung der Existenz und der Eigenschaften von Atomen?

### **Übergang zur Quantenphysik**

Der Vorschlag zur Quantenphysik beginnt mit der Behandlung des (äußeren) lichtelektrischen Effekts. Um den Bruch mit der klassischen Physik deutlich zu machen, knüpft der entsprechende Kontext noch einmal an die bisher verfügbaren Modellvorstellungen an.

Die Untersuchung des lichtelektrischen Effekts zeigt, dass eine Interpretation mit den Vorstellungen der klassischen Elektrodynamik unmöglich ist. Die in den Kontexten angerissenen Fragen führen dazu, eine andere Modellvorstellung vom Licht auszuprobieren: die Korpuskelvorstellung. Die Experimente zum lichtelektrischen Effekt sind damit bis zu einem gewissen Grade erklärbar. Man verfügt damit über zwei heuristische Modelle, die sich anschaulich nicht vereinigen lassen. Insgesamt verstoßen die experimentellen Befunde zusammen mit Deutungsversuchen sowohl beim Licht als auch bei Elektronen in einem solchen Maße gegen die Vorstellungen der klassischen Physik, sodass eine gründliche wissenschaftstheoretische Analyse angezeigt ist. Diesem Umstand trägt daher ein eigener Kontext Rechnung.

Die Quantenphysik ist ein außerordentlich weites Feld, das (im Unterschied zur speziellen Relativitätstheorie) auch bei Nutzung aller Reduktionsmöglichkeiten nicht in befriedigender geschlossener Form behandelt werden kann. Wegen der sehr subtilen Problemlage besteht die Gefahr, dass vieles nur oberflächlich angerissen wird und somit bei den Schülerinnen und Schülern nicht akzeptabel verfügbar ist oder mit groben Fehlvorstellungen behaftet ist. Die umfangliche Liste weiterer Quantenphänomene ist daher so zu verstehen, dass in der Regel nur ein oder zwei Punkte exemplarisch behandelt werden können.



# Register

- Abitur, 60
- Abituraufgabe, 66, 89
- Abiturprüfung,
  - mündliche, 88
  - schriftliche, 63
- Abiturvorschlag, 64
- Anforderungsbereiche, 61
- Arbeitsform,
  - kooperative, 19, 22
- Arbeitsorganisation, 28, 35
- Aufgabenart, 51, 63
  
- Beurteilungsbereiche, 51, 54
- Beurteilungskriterium, 53, 55, 56, 59, 66, 89
- Bewertung, 53, 65, 89
- Bildung
  - allgemeine, 5, 20
  
- Computer, 25, 68
  
- Denken
  - naturwissenschaftliches, 5
  
- Eigenständigkeit, 58
- Entfaltung
  - persönliche, 20
- Entropie, 12, 120
- Erkenntnis
  - physikalische, 5, 14
- Erwartungshorizont, 65
- Evaluation,
  - schulinterne, 95
- Exkursion, 34
- Experiment, 14, 30, 51, 56, 88
  
- Facharbeit, 33, 51, 53, 54, 94
- Fachinhalte, 9
- Fachkonferenz, 43, 94, 95
- Fachprüfungsausschuss, 93
- Fachsprache, 55, 58, 59
- Freiraum, 17, 18, 19
  
- Geheimhaltung, 65
- Genehmigungsunterlagen, 64
- Grundkurs, 39, 42, 44, 46, 80
- Grundlagenwissen
  - wissenschaftspropädeutisches, 20
- Gruppenarbeit, 29, 30
  
- Internet, 21, 28, 31, 39, 55
  
- Klausur, 51, 57, 59, 66
- Koedukation, 48, 49
- Kolloquium, 93
  
- Kompetenz,
  - fachliche, 6
- Konferenzbeschlüsse, 94
- Konzeption
  - didaktische, 8
- Korrektur, 51, 66
  
- Leistungsbewertung, 50
- Leistungskurs, 9, 17, 39, 42, 44, 46, 63
- Lernen
  - fachliches, 20
  - handlungsorientiertes, 35
  - im Kontext, 18
  - kooperatives, 22
  - projektorientiertes, 35
  - selbstständiges, 24, 33
  - situationsbezogenes, 23
- Lernleistung
  - besondere, 39, 93, 94
  
- Medien
  - Neue, 21, 25, 27
- Methoden
  - fachspezifische, 13, 28
  - fachübergreifende, 24
- Methodenreflexion, 21
- Mitarbeit
  - sonstige, 54, 59
  
- Note, 53, 59, 65, 66
  
- Obligatorik, 9, 17
  
- Projektunterricht, 35, 36, 38
- Protokoll, 32, 33, 55, 57
- Prüfung, 60, 87, 88, 89
  - mündliche, 88, 89
  - schriftliche, 60, 66
- Prüfungsanforderungen, 60, 88
- Prüfungsgespräch, 88, 89, 92
- Prüfungsleistung, 60, 89
- Prüfungsteil
  - erster, 88, 89
  - zweiter, 88, 92
- Prüfungsvorschlag, 64, 65
  
- Qualifikationsphase, 41, 42, 64
- Quantenphysik, 16, 132
  
- Referat, 31, 56
  
- Schulaufsicht, 63
- Schülerorientierung, 22
- Schulprofil, 35
- Schulprogramm, 95

Sequenz, 41, 44, 46  
Sequenzbildung, 41, 44, 46  
Simulation, 26, 75  
Studierfähigkeit, 5

Thermodynamik, 16, 120

Übung  
  schriftliche, 57

Unterricht  
  fächerverbindender, 35, 38  
  fachübergreifender, 35, 36  
  projektorientierter, 35  
Unterrichtsgespräch, 29, 54  
Unterrichtsgestaltung, 20

Unterrichtsmethode, 24  
Unterrichtsorganisation, 20, 28

Vortrag, 28, 31, 56, 88

Weltbild  
  naturwissenschaftliches, 5  
Wettbewerb, 39, 95  
Wissen  
  vernetztes, 23

Zitieren  
  korrektes, 57  
Zusammenarbeit  
  fachübergreifende, 7