

Physik

**Rahmenplan
für die Sekundarstufe II
gymnasiale Oberstufe**

Herausgegeben vom Senator für Bildung und Wissenschaft,
Rembertiring 8-12, 28195 Bremen
2002

Ansprechpartner
Landesinstitut für Schule, Am Weidedamm 20, 28215 Bremen
Abteilung 2, Referat Curriculumentwicklung: Dr. Thomas Bethge

Inhaltsverzeichnis

I. Pädagogische Leitideen	5
1. Die Bildungs- und Erziehungsziele in der gymnasialen Oberstufe	5
1.1 Kompetenzfeld der eigenen Person	6
1.2 Gesellschaftliches, politisches, sozialetisches Kompetenzfeld	6
1.3 Wissenschafts- und erkenntnistheoretisches Kompetenzfeld	7
1.4 Kompetenzfeld Kommunikation, Kultur und Ästhetik	7
1.5 Kompetenzfeld der Beruflichkeit	8
2. Lernen in der gymnasialen Oberstufe	9
3. Besondere Strukturen der gymnasialen Oberstufe	11
3.1 Fachlichkeit und Überfachlichkeit	11
3.2 Arbeit in Grund- und Leistungskursen	11
3.3 Brückenfunktion der 11. Jahrgangsstufe	12
II. Physik	13
Naturwissenschaften und naturwissenschaftlicher Unterricht in der gymnasialen Oberstufe	13
1. Bedeutung des Faches Physik in der gymnasialen Oberstufe	15
1.1 Gegenstand des Faches	15
1.2 Ziele und Aufgaben des Faches Physik	15
2. Unterrichtsgestaltung im Fach Physik	17
2.1 Fachmethoden - Formen des Lehrens und Lernens	17
2.2 Zur Arbeit in Grundkursen und Leistungskursen	19
2.3 Einführungsphase	20
2.4 Inhalte des Unterrichts	20
2.4.1 Leitgesichtspunkte	21
2.4.2 Themenbereiche	21
2.5 Gestaltung von Kurssequenzen	26
2.6 Fachübergreifender Unterricht	27
2.7 Leistungsbewertung im Physikunterricht	28
3. Auflagen und Hinweise	29
Anhang	30
A1. Beispiele für Kurssequenzen	30
A2. Beispiele für fachübergreifende Kurse innerhalb der Naturwissenschaften	32
A3. Physikalische Inhalte	33

I. Pädagogische Leitideen

1. Die Bildungs- und Erziehungsziele in der gymnasialen Oberstufe

Die schulische Bildung und Erziehung in der gymnasialen Oberstufe ist den in Grundgesetz und Bremischer Landesverfassung ausgedrückten Werten verpflichtet. Sie setzt die im Bremischen Schulgesetz formulierten Bildungs- und Erziehungsziele um. Ihre spezifische Zielstellung findet sie in der Trias von vertiefter allgemeiner Bildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit.

Ein Ziel der gymnasialen Oberstufe liegt in der tiefergehenden Vermittlung wissenschaftspropädeutischer Grundlagen. Heranwachsenden wird über die Einführung in die Formen, die Denk- und Arbeitsweisen von Wissenschaft eine weitere Möglichkeit des Zugriffs auf Welt geboten.

Auf der Basis der erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Haltungen sowie vor dem Hintergrund eines durch Aufgabenfelder gegliederten Kanons von Fächern orientiert sich die gymnasiale Oberstufe auf den Erwerb der Studierfähigkeit, die mit dem Abitur erreicht und bescheinigt wird.

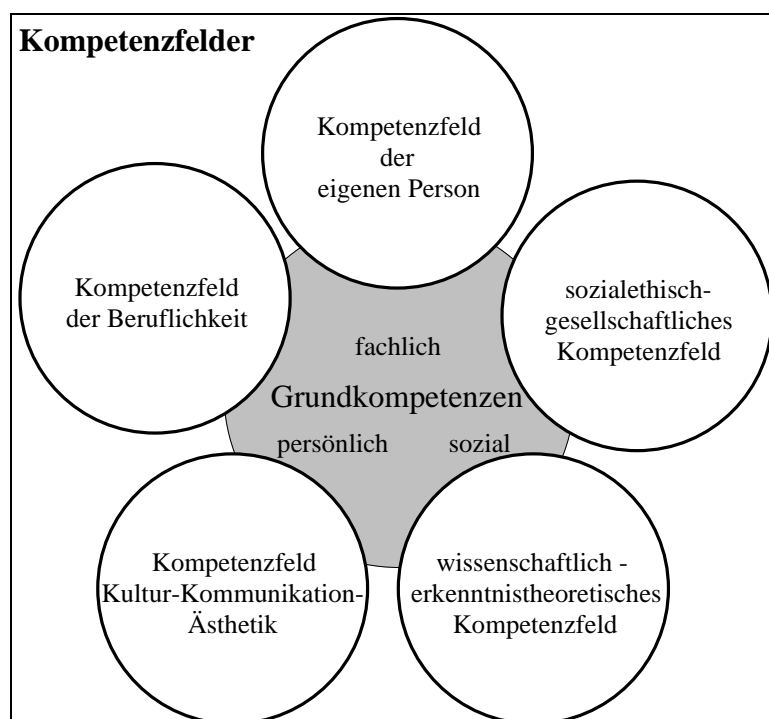
Zur Sicherung der Studierfähigkeit kommt den grundlegenden instrumentellen Kompetenzen

- schriftliche und mündliche Ausdrucksfähigkeit,
- verständiges Lesen komplexer fremdsprachlicher Sachtexte und
- sicherer Umgang mit mathematischen Symbolen und Modellen

besondere Bedeutung zu. Alle Fächer, die dafür geeignet sind, müssen ihren Beitrag zur Förderung dieser Kompetenzen leisten.

Leitziel schulischer Bildungsprozesse im Allgemeinen bzw. des Lernens auf der gymnasialen Oberstufe im Besonderen ist die Entwicklung und Förderung einer mündigen Persönlichkeit, die zu verantwortungsvoller und demokratischer Teilnahme am kulturellen, politischen und beruflichen Leben in der Gesellschaft befähigt ist. Hierzu stellt die gymnasiale Oberstufe den inhaltlichen, methodischen und organisatorischen Rahmen bereit. Die Arbeit in der gymnasialen Oberstufe zielt auf den Erwerb bzw. den Ausbau von persönlicher, fachlicher und sozialer Kompetenz. Sie setzt damit die Arbeit in der Sekundarstufe I fort.

In fünf Kompetenzfeldern wird die Zielsetzung der gymnasialen Oberstufe und die Kontinuität im schulischen Bildungsgang entfaltet und strukturiert.



1.1 Kompetenzfeld der eigenen Person

Persönlichkeit entwickeln und stärken

Für die weitere Entwicklung der Schülerinnen und Schüler ist eine ganzheitliche Förderung ihrer Persönlichkeit wichtig: Phantasie, Emotion und Intuition sollen wie Kognition in der Schule ihren Platz haben.

Vorbereitung auf das Leben in Gesellschaft und Beruf schließt heute in zunehmendem Maße auch sinnvollen Umgang mit Freizeit ein. Jugendliche müssen lernen, sich auch aus den Zwängen des Alltags, seiner Konsumorientierung, seiner Zweckgebundenheit, seinen festgelegten Denkmustern und nivellierenden Sprachgewohnheiten zu befreien.

Sie brauchen Anstöße, sich an im Wandel der Lebensbedingungen an beständigen Werten zu orientieren, um damit ihrem Leben Sinn zu geben und sich eigene Lebensräume erschließen zu können. Die Voraussetzung dafür ist die Schaffung oder Stärkung eines positiven Selbstkonzepts, einer auf positivem Selbstwertgefühl beruhenden Ich-Identität.

Lehrerinnen und Lehrer müssen Jugendliche auf ihrem Weg dahin begleiten. Das heißt für sie, junge Menschen ernst zu nehmen, Herabsetzung zu vermeiden und ihnen Verantwortung zu übertragen.

Mit der eigenen Person verantwortlich umgehen

Es ist auch Aufgabe der Schule, dass Jugendliche Verantwortung für die Erhaltung ihrer Gesundheit entwickeln. Sie sollen lernen, Entscheidungen zu treffen, die ihrer Gesundheit dienen, verantwortlich mit Liebe, Freundschaft, Sexualität und den Bedrohungen des Lebens durch Überlastung, Krankheit und Sucht umzugehen.

1.2 Gesellschaftliches, politisches, sozialetisches Kompetenzfeld

Eine eigene gesellschaftliche Identität herausbilden und vertreten

Jeder Mensch, eingebettet in ein Geflecht ganz unterschiedlicher gesellschaftlicher Zusammenhänge und Abhängigkeiten, benötigt Kenntnisse über politische und gesellschaftliche Systeme und ihre Funktionsweisen .

Das heißt, die Jugendlichen müssen in der gymnasialen Oberstufe lernen, relevante gesellschaftliche, wirtschaftliche und politische Zusammenhänge zu erkennen und zu beurteilen. So werden ihnen Wege eröffnet, politisch und gesellschaftlich tätig zu werden.

Sich in verschiedene soziale Gemeinschaften integrieren und demokratische Prozesse mitgestalten

Grundlegende Fähigkeiten zur Teilnahme an und Mitgestaltung von sozialen Gemeinschaften sind Bereitschaft zur Zusammenarbeit, Solidarität mit den Mitmenschen sowie der Einsatz für sie und ihre Rechte.

Die gymnasiale Oberstufe trägt bei zur Übernahme von Verantwortung für sich und andere, zum sozialen Miteinander, zum gewaltfreien Austragen von Konflikten, zum Eintreten für die Gleichberechtigung der Geschlechter und die Rechte benachteiligter gesellschaftlicher Gruppen, zum Einsatz für Gerechtigkeit und ein friedliches Zusammenleben. Die Schülerinnen und Schüler sollen befähigt werden, an demokratischen Prozessen aktiv teilzunehmen und sich verantwortlich zu verhalten.

1.3 Wissenschafts- und erkenntnistheoretisches Kompetenzfeld

Methoden und Erkenntnisweisen reflektieren

Schüler und Schülerinnen müssen mit den unterschiedlichen Erkenntnisweisen, u.a. der Mathematik, der Natur-, Gesellschafts- und Geisteswissenschaften, vertraut gemacht werden sowie deren Denkansätze kennen lernen. Sie müssen lernen, Gegenstände und Probleme aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten und so die Kommunikation zwischen den Fachkulturen einüben. Die Reflexion von Methoden führt zu differenzierter Sicht auf komplexe Zusammenhänge und zur Klärung der Grenzen und Unterschiede zwischen den Wissenschaftsbereichen.

Sich als Teil dieser Welt begreifen lernen

Politische, technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen haben dazu geführt, dass die Menschen immer stärker in umfassend vernetzte, globale Prozesse und Systeme eingebunden sind.

Für die Schüler und Schülerinnen gilt es, Abhängigkeiten, Zusammenhänge und Wechselwirkungen - z.B. in ökonomischen, ökologischen und wirtschaftlichen Abläufen - zu erkennen und deren Tragweite zu berücksichtigen, um gewünschte Ziele erreichen und Gefahren abschätzen zu können.

Die Jugendlichen müssen sich selbst als Teil der Natur und Umwelt begreifen lernen und wissen, dass sie für deren Erhalt und ausgewogene Gestaltung für sich, ihre Mitmenschen und künftige Generationen Verantwortung tragen.

Das Lernen lernen

In der gymnasialen Oberstufe lernen Schülerinnen und Schülern nicht nur, Sachverhalte zu erfassen und ihre Kenntnisse angemessen anzuwenden, sondern auch, sich Methoden, Strategien und Techniken der Nutzbarmachung von Wissen anzueignen, sowie die Erkenntniswege und Methoden ihres eigenen Lernens reflektieren. Außerdem gilt es die eigene Lernsituation und die ihrer Mitlernenden wahrzunehmen, Lernprozesse selbständig zu planen und damit einen eigenen Lernstil auszubilden. Dies sind die Voraussetzungen dafür, auch über die Schule hinaus ein Leben lang zu lernen.

1.4 Kompetenzfeld Kommunikation, Kultur und Ästhetik

Sich mitteilen; Mitteilungen aufnehmen, sichten, verwerten, beurteilen

Die Schülerinnen und Schüler lernen, sich auf der Grundlage der Kenntnis von Sachverhalten und Problemen adressaten-, situations- und wirkungsbezogen zu verständigen.

Sie werden zunehmend neue Medien und Technologien für sich nutzbar machen, indem sie lernen, diese Informations- und Kommunikationstechniken zu beherrschen, die Ergebnisse der Informationsbeschaffung kritisch zu sichten und somit Nutzen und Risiken der neuen Technologien zu beurteilen.

Am kulturellen Leben teilnehmen, es gestalten lernen

Schülerinnen und Schüler sollen dazu angehalten werden, aktiv am kulturellen Leben teilzunehmen. Sie sollen das Erlernen von Sprachen als Möglichkeit zur Erweiterung ihres Weltbildes begreifen. Die Auseinandersetzung mit ästhetischen und kulturellen Wertmaß-

staben zwingt junge Erwachsene dazu, eigene Sichtweisen und Haltungen kritisch zu befragen, eventuell zu relativieren, und fremde Weltbilder zu tolerieren.

Realität ästhetisch wahrnehmen, empfinden, beurteilen und gestalten

Schülerinnen und Schüler sollen bildende und darstellende Kunst sowie Musik als kreative Ausdrucksmittel persönlicher Empfindungen erleben, erkennen und erproben. Sie sollen ein Bewusstsein für verschiedene Wahrnehmungsweisen entwickeln, es vertiefen und gegebenenfalls verändern. Ästhetische Eindrücke müssen wahrgenommen und ein individueller Ausdruck in Musik, Bild, und spielerischer Darstellung muss produktiv, rezeptiv und reflexiv erfahren werden.

Sie lernen, Verständnis für die gesellschaftlichen Bedingungen und Wirkungen ästhetischer Produkte zu entwickeln, somit am kulturellen Diskurs der Gesellschaft teilzunehmen und das ästhetische Produkt als individuellen Ausdruck eines Menschen zu akzeptieren.

Künstlerische Produktion und Reflexion bilden die Voraussetzung dafür, Wirklichkeit zu verändern und eigene Lebensentwürfe zu planen und zu erproben.

1.5 Kompetenzfeld der Beruflichkeit

Den Prozess der Berufswahl gestalten können

Die Jugendlichen lernen, sich die für eine kompetente Berufswahl relevanten Informationen zu beschaffen, sie zu systematisieren und zu nutzen. Damit werden sie befähigt, begründete Entscheidungen für ein Studium bzw. eine Berufsausbildung unter Kenntnis von Alternativen zu treffen.

Sie müssen Kenntnisse über Berufsfelder, Strukturen und Entwicklungen des Arbeitsmarktes erwerben sowie Möglichkeiten der Mitwirkung und Gestaltung vorgefundener Arbeitsbedingungen kennen lernen.

Sich in Studium und Beruf behaupten können

Die Bewältigung eines Studiums und die Bewährung im Beruf erfordern ein flexibles Eingehen auf vorgefundene Situationen. Die Fähigkeiten, sich einem Problem zu stellen, es zu analysieren sowie über Problemlösungen nachzudenken und sie gegeneinander abzuwägen, müssen erlernt und gefördert werden.

Anpassung an sich ändernde Bedingungen wird im Verlauf des Lebens zunehmend wichtiger werden. Der Erwerb von Selbstvertrauen und Ich-Stärke wird es Schülerinnen und Schülern ermöglichen, sich an verändernde Bedingungen anzupassen, Rückschläge und Frustrationen zu ertragen und helfen, in diesen Prozessen die eigene Identität zu wahren.

2. Lernen in der gymnasialen Oberstufe

Das Lernen in der gymnasialen Oberstufe zielt auf den *Erwerb und die Erweiterung von Kompetenzen*. Sie befähigen zu zielgerichtetem, situationsangemessenem und verantwortlichem Handeln. Kompetenzen werden in fachlichen, sozialen und individuellen Bezügen im gesamten Lebensumfeld erworben und angewendet und können somit im Unterricht in fachbezogenen, aber auch über- und außerfachlichen Aufgabenstellungen in Anspruch genommen und gefördert werden.

Erforderlich ist in diesem Zusammenhang die Erweiterung des hergebrachten Lernbegriffs:

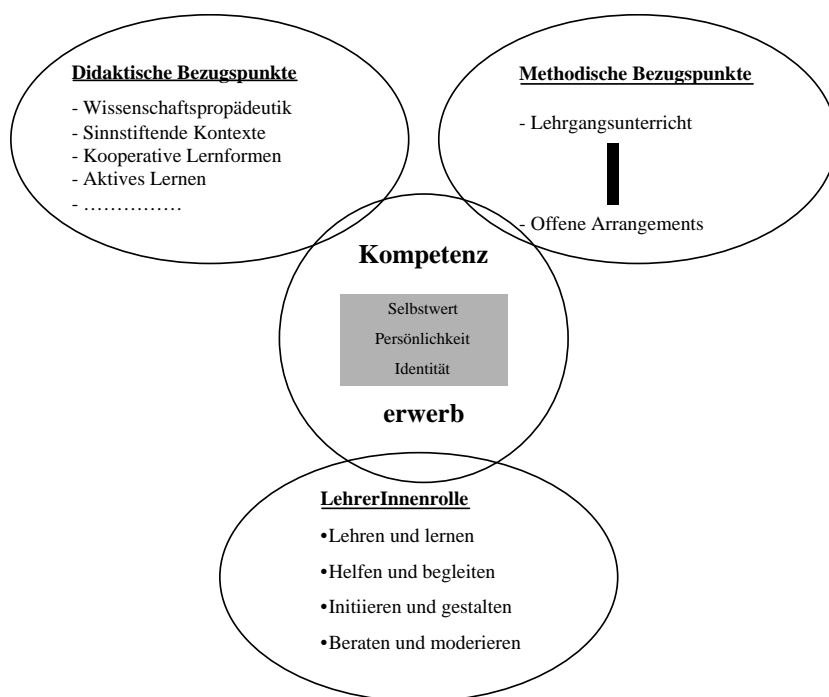
So soll in der gymnasialen Oberstufe neben das *inhaltliche Lernen* zunehmend auch *methodisches, soziales sowie reflexives Lernen* treten. Darüber hinaus müssen die jungen Erwachsenen sich die *Fähigkeit zum Lernen* selbst aneignen und als einen über ihre schulische Ausbildung hinausgehenden, *lebensbegleitenden Prozess* begreifen.

- Der Erwerb von Kompetenzen erfordert vom Lernenden eine zunehmend *selbstgesteuerte Auseinandersetzung mit Inhalten* in Form aktiver Lernhandlungen. Somit steht in Unterrichtsprozessen der *eigenaktive Lerner* im Mittelpunkt. Seine Verantwortung für die zielgerichtete Planung und Realisierung von Handlungsprozessen und ihren Ergebnissen stellt eine wichtige Voraussetzung des Wissenserwerbs dar. Dabei ist der *Prozess* der Wissensaneignung und Erkenntnisgewinnung, seine Dokumentation und Reflexion von gleicher Wichtigkeit wie das erreichte *Ergebnis*. Prozess- und resultatorientiertes Lernen müssen in stärkerem Maße als bisher im Zusammenhang gesehen werden.
- Unterrichtsmethoden und -inhalte müssen sich verstärkt auf die späteren *gesellschaftlichen und beruflichen Anforderungen* ausrichten, denen die jungen Erwachsenen gegenüber stehen. Daneben bleibt die Orientierung an den Denk- und Arbeitsweisen von Wissenschaft, die ihren Ausdruck im Ziel der *Wissenschaftspropädeutik* und *Studierfähigkeit* findet, unverzichtbar. Darüber hinaus sollten die in der gymnasialen Oberstufe zu behandelnden Inhalte für die Lernenden *subjektiv bedeutsam, lebensnah und praxisrelevant* sein. Dies wird um so eher erreicht, je mehr sie in Bezug zu den Alltagserfahrungen und den Sinn- und Orientierungsbedürfnissen von jungen Menschen stehen.
- Die Aneignung von persönlichen, fachlichen und sozialen Kompetenzen muss zunehmend auch in kooperativen Sozialformen organisiert werden.
- Von *Kooperation* bestimmte *soziale Lernprozesse* schulen nicht nur Interaktions- und Kommunikationsfähigkeiten, sondern können zugleich die Basis für konstruktive *Problemlösungen* legen. *Teamfähigkeit*, durch kooperative Arbeitsformen erworben, stellt zugleich eine wichtige schulische und berufliche Qualifikation dar.
- *Unterrichtsgegenstände* sind in der Regel auf Lernbarkeit hin präpariert. Der auf die Entwicklung von Kompetenzen ausgerichtete Wissenserwerb in der gyO erfolgt unter anderem über die Beschäftigung mit komplexen und weitgehend *realitätsnahen Sinn- und Sachzusammenhängen* bzw. wenig strukturierten *Problemlagen*. Diese geben den Lernenden die Möglichkeit, erworbenes Wissen und Methoden auf unterschiedliche Aufgabenfelder zu übertragen und vielfältig anzuwenden. Über fachlich bestimmte Themenbereiche hinaus bieten sich hierzu *fachübergreifende Kernprobleme* an: Europa, Gewalt, Geschlechterfrage, Krieg und Frieden, Umwelt, etc. Solche Themen ergeben sich auch aus den Herausforderungen, vor denen junge Lernende in ihrem Leben stehen.
- In *methodischer Hinsicht* bestimmen geschlossener *Lehrgangsunterrichts* und *offene Arrangements* das Lernen in der gyO. Letztere können der in den Mittelpunkt gestell-

ten Autonomie des Lerners in besonderer Weise Rechnung tragen. Allen *Formen forschenden Lernens, offenen Experimentierens und problemgerichteten Erprobens*, die den Lernenden einen eigenständigeren Zugriff auf den jeweiligen Lernstoff erlauben, sollte mehr Raum gegeben werden.

- Unterricht, der auf die Ausbildung von Kompetenzen zielt, verlangt, dass *Lehrende* mehr als bisher *zugleich auch Lernende* sein müssen. Neben ihrer Rolle als Belehrende stehen Lehrerinnen und Lehrer vor der Aufgabe, methodische Arrangements (offene Lernumgebungen) gestalten bzw. bereitstellen zu müssen und als *Initiatorinnen, Organisatorinnen und Begleiterinnen von Lernprozessen* zu fungieren. Dabei geben sie Verantwortung für das Lerngeschehen ab, ohne sich ihrer vollständig entledigen zu können.
- Lernen in allen seinen Formen unterliegt der *Beurteilung*. Ein Leistungsbegriff, der sich auf ein quantitativ messbares Lernergebnis bezieht, ist in offenen Lern- bzw. Lehrsituationen nicht anwendbar. Vielmehr müssen *Prozess und Ergebnis im Zusammenhang* gesehen werden. Daraus folgt, dass nicht nur Endergebnisse, sondern auch prozessbegleitende Beobachtungen und Bewertungen bei schulischen Leistungen zu berücksichtigen sind. Ein mit dieser Auffassung verknüpfter Leistungsbegriff orientiert sich am eigenaktiven, selbständigen und sich selbst verantwortlichen Lerner.

Lernen in der gyO - Kompetenzerwerb -



3. Besondere Strukturen der gymnasialen Oberstufe

3.1 Fachlichkeit und Überfachlichkeit

Inhaltlicher Kern und Ausgangspunkt von Unterricht in der gymnasialen Oberstufe ist der Aufbau und die Entwicklung fachlich-systematisch gegliederter Wissensbestände. Diese ermöglichen den Lernenden durch ihre jeweils spezifischen Denk- und Arbeitsformen einen Zugang zu Welt. Der hierfür geeignete Ort ist das einzelne Fach. Zu Fachlichkeit als grundlegendem Strukturprinzip des Arbeitens und Lernens in der gymnasialen Oberstufe muss jedoch ein das Einzelfach übergreifender Unterricht hinzutreten, der Kompetenzerwerb unter vielfältigen Perspektiven möglich macht. Dieser kann in besonderem Maße die Interdependenz von Phänomenen sichtbar werden lassen. Als Grundlage für kompetentes Urteilen und Handeln erschließt sich der Wert fachlichen Wissens somit vollends erst unter einem fachübergreifenden Bezug.

Das Ziel fachübergreifenden Unterrichts besteht in der Wahrnehmung und Reflexion unterschiedlicher Perspektiven. Ihre Erweiterung bzw. ihr Wechsel machen es möglich, Gegenstände aus anderen als den gewohnten Blickwinkeln zu betrachten, Altes mit Neuem, Bekanntes mit Fremdem zu vergleichen und auf seine Brauchbarkeit und Bedeutsamkeit zu befragen. Indem fachübergreifender Unterricht dazu beiträgt, die Bereitschaft zu fördern, sich in andere Perspektiven hineinzusetzen sowie Verständigung, auch über mögliche Differenz hinweg, zu suchen, kann er persönlichkeitsrelevante Kompetenzen ausbilden. Daneben kann er dazu beitragen, die Fähigkeit des Urteilens und Handelns in übergreifenden und komplexen Strukturen zu verbessern. U.a. hierin ist die Basis zur Entwicklung eines differenzierten Werturteils zu sehen.

3.2 Arbeit in Grund- und Leistungskursen

Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen beiden Kursarten sind in den Fachrahmenplänen und im schuleigenen Curriculum festgeschrieben.

Der Grundkurs muss darauf ausgelegt sein, Schülerinnen und Schüler modellhaft in die Materie einzuführen. Sie sollen durch orientierende qualitative Beobachtung zu Erfahrungen und Einsichten gelangen. Quantitative Messungen, die Einführung spezieller Verfahrensweisen oder Analysemethoden bleibt der Arbeit im Leistungskurs vorbehalten. Die Grundkursinhalte sind immer so zu formulieren, dass eine mögliche Anwendungsbezogenheit sichtbar wird. Das bedeutet auch, dass grundlegende Sachverhalte und Strukturen in der Regel punktuell und exemplarisch abgehandelt.

Während somit im Grundkurs ein hohes Maß von Orientierungswissen angestrebt wird, bemüht sich der Leistungskurs - von Schülerinnen und Schülern häufig aufgrund hoher Selbsteinschätzung ihrer fachlichen Leistungsfähigkeit mit hoher Motivation und Lernbereitschaft gewählt - um fachmethodische Vertiefung, Vollständigkeit und Erprobung instrumentellen Wissens im vorwissenschaftlichen Bereich. So werden der Abstraktionsgrad der Arbeit und das Maß des Verfügungswissens im Leistungskurs höher sein, und es kann eher der Versuch unternommen werden, die Systematik eines Faches und seiner Methoden zu vermitteln.

Eine Orientierung über das Fach hinaus ist Bestandteil und Lernziel beider Kursarten; ein höheres Maß von Reflexivität und Erkenntnis über die Zeitbedingtheit bestimmter Denk- und Handlungsstile können eher im Leistungskurs angestrebt werden. Die Stärkung basaler Fähigkeiten bleibt auch in Grundkursen ein wichtiges Ziel vor und neben inhaltlicher Arbeit.

3.3 Brückenfunktion der 11. Jahrgangsstufe

Der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe kommt beim Übergang vom obligatorischen Klassenunterricht zu den eigenverantwortlichen Wahl- und Differenzierungsentscheidungen in der Qualifikationsphase eine Brückenfunktion zu. Um die erforderlichen personalen, sozialen und fachlichen Kompetenzen gezielt zu fördern, sollen spezifische Lernarrangements verstärkt angeboten werden.

Hieraus ergibt sich als Aufgabe für die Jahrgangsstufe 11 der Erwerb und die Sicherung grundlegender instrumenteller Kompetenzen in den Kernfächern Deutsch, Mathematik und Fremdsprachen. Dies erscheint notwendig, weil die in die gymnasiale Oberstufe eintretende Schülerschaft zunehmend heterogener wird.

Viele Schüler und Schülerinnen gehören fremden Nationalitäten an. Kulturelle, religiöse und soziale Unterschiede machen ein differenziertes Unterrichtsangebot notwendig.

Die feststellbaren Wissens- und Leistungsunterschiede sind jedoch nicht ausschließlich als Defizite fachlicher oder intellektueller Art wahrzunehmen. Sie sind häufig durch voneinander abweichende Lebens- und Lernerfahrungen entstanden. Diese auszugleichen und damit zum Aufbau eines positiven Selbstkonzepts beizutragen, ist die vordringliche Aufgabe von Lehrerinnen und Lehrern der Eingangsphase der gymnasialen Oberstufe.

Spezifische Lernarrangements sollen dazu beitragen, ein Lern- und Arbeitsverhalten herzustellen, das einen erfolgreichen Abschluss in der Hauptphase zulässt. Dazu gehören Intensivkurse in Deutsch, Mathematik und Fremdsprachen, aber auch Unterrichtsmethoden, die Selbsttätigkeit fördern, so dass Wissen und Handeln einen Zusammenhang bilden können. Ein gezielter Aufbau von Methodenkompetenz, verbunden mit einem Nachdenken über das eigene Lernen, ist ein wichtiger Baustein der Eingangsphase der gymnasialen Oberstufe.

Darüber hinaus kann mit Aktivitäten zur Studien- und Berufsorientierung begonnen werden, für die in jeder gymnasialen Oberstufe ein standortspezifisches Konzept entwickelt werden sollte.

Schulisch arrangierte Erkundungen und an Fächer, Aufgabenfelder oder gesellschaftliche Bereiche gebundene Praktika, können im Verbund mit schulischen Aktivitäten zu einem positiven Selbstkonzept beitragen.

II. Physik

Naturwissenschaften und naturwissenschaftlicher Unterricht in der gymnasialen Oberstufe

Gemeinsames Vorwort für die Fächer Biologie, Chemie und Physik

Die Aufgabenfelder der gymnasialen Oberstufe repräsentieren unterschiedliche Zugangsweisen, die Welt zu erfahren und zu verstehen. Sie stehen für unterschiedliche Fachkulturen, die weder austauschbar sind noch sich gegenseitig ersetzen können. Sie sind jedoch nicht isoliert voneinander, sondern im Sinne multiperspektivischer Weltsicht vernetzt.

Die Auseinandersetzung mit den spezifischen Zielen, Methoden und Ergebnissen der Naturwissenschaften im Vergleich mit anderen Fachkulturen ist notwendig, um den Austausch naturwissenschaftlicher, ökonomisch-politischer, künstlerisch-ästhetischer Perspektiven in der Gesellschaft zu sichern und fortzuentwickeln. Dies ist ein unverzichtbarer Bestandteil vertiefter allgemeiner Bildung in der gymnasialen Oberstufe.

Der Unterricht in den Naturwissenschaften bezieht sein Selbstverständnis aus der Betrachtung der natürlichen und technischen Umwelt in ihrer Beziehung zum Menschen. Primäres Bildungsziel ist es, die Lernenden zu befähigen, ihre natürliche und technische Umwelt in einer naturwissenschaftlichen Perspektive zu erschließen. Der Unterricht muss die Schülerinnen und Schüler auf die Teilnahme an einem verantwortungsbewussten Gestaltungsprozess in der Gesellschaft vorbereiten, der dem Umstand gerecht wird, dass der Mensch sowohl Teil der Natur ist als auch ihr Gegenüber. In der Entwicklung der Naturwissenschaft führt die Frage, ob man "alles machen darf, was man machen kann", zu einer intensiven Diskussion ihrer ethischen Wertmaßstäbe.

Zur Teilhabe am gesellschaftlichen Diskussionsprozess ist ein fundierter Einblick in die Methoden und Ergebnisse der Naturwissenschaften notwendig. Neben Sachwissen in den Naturwissenschaften ist aber auch Wissen über die Naturwissenschaften erforderlich. In der Kenntnis der Bedeutung der Naturwissenschaften für die gesellschaftliche Entwicklung - nicht nur bei der Entwicklung von Industrie und Technologie, sondern auch für das Weltbild unseres Kulturkreises - liegt ein daher wichtiges Element des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Kulturhistorisch haben die Naturwissenschaften einen entscheidenden Beitrag zur Befreiung des Denkens von der unverstandenen und mythologisch gedeuteten Macht der Naturgewalten über menschliche Schicksale geleistet. Der naturwissenschaftliche Unterricht gibt den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit, die naturwissenschaftliche Weltsicht zu erproben und zu erweitern. Er gibt ihnen damit eine Entscheidungsgrundlage, inwieweit sie naturwissenschaftliches Denken und Wissen in ihr Weltbild integrieren wollen.

Die Reflexion der naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden - auch im historischen Kontext - sowie die untersuchten Gegenstandsbereiche selber machen es notwendig, die Grenzen der naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen zu überschreiten. Das gilt sowohl zwischen den Fächern als auch über die Aufgabenfelder hinweg. Themen, die den Erhalt der natürlichen Lebensbedingungen betreffen (wie z.B. Klima, Treibhauseffekt, Gentechnik) können nur in einer mehrperspektivischen Sicht verstanden werden. Andererseits gibt es nicht den integrierten naturwissenschaftlichen Zugang "an sich", sondern nur die Verbindung unterschiedlicher Betrachtungsebenen und Herangehensweisen in Bezug auf einen bestimmten Sachverhalt. Solche Mehrperspektivität hat ihre Grundlagen im Fachunterricht.

Charakteristisch für die Naturwissenschaften sind vor allem die Methoden der Beobachtung, des Untersuchens, des Experimentierens und der Modellbildung. Eine zentrale Be-

deutung hat das hypothesengeleitete Experiment, dessen Ausgang unter kontrollierten Bedingungen einer Prognose gegenübergestellt wird. Über diese Methode werden Naturgesetze - auch im historischen Kontext - erfassbar und nachvollziehbar. Diese Merkmale weisen die Naturwissenschaften gegenüber anderen Fächergruppen aus und geben naturwissenschaftlichen Theorien und Modellen eine eigene Prägung.

Innerhalb des naturwissenschaftlichen Methodenspektrums und der Gegenstandsbereiche setzen die drei Fächer Biologie, Chemie und Physik unterschiedliche Schwerpunkte. Deutlich wird dies an der Art der Strukturbildung und am Grad der Reduktion der zur Beschreibung notwendigen Größen und der Mathematisierung. Einerseits ist zwar eine erfolgreiche Spezialisierung und Teilung in einzelne Disziplinen im Verlauf der Geschichte der Naturwissenschaften zu beobachten; andererseits weisen nicht nur die zu bewältigenden Probleme der Menschheit, sondern auch eine Reihe von Grenzdisziplinen, wie etwa die Biophysik, auf die Notwendigkeit einer Zusammenarbeit und Vernetzung der Teildisziplinen bzw. Disziplinen hin.

Der naturwissenschaftliche Unterricht leistet bei der Vermittlung grundlegender instrumenteller Kompetenzen über den Bereich der mathematischen Modellbildung und des Umgangs mit mathematischen Symbolen hinaus auch im Bereich der muttersprachlichen Fähigkeiten und der Fremdsprachenkenntnisse seinen Beitrag zur allgemeinen Bildung und Sicherung der Studierfähigkeit. Im Wechselspiel zwischen fachsprachlich und mathematisch stark formalisierten Anteilen und ausformulierten Aussagen in der Alltagssprache lernen die Schülerinnen und Schüler die Übersetzung in verschiedene Ausdrucksformen. Die Fähigkeit, adressatenbezogen mit den verschiedenen Ausdrucksformen umzugehen, ist wichtig zur Sicherung der Kommunikationsfähigkeit innerhalb der Gesellschaft. Zudem ist die Verdeutlichung der durch Fachsprache einerseits und Alltagssprache andererseits transportierten Deutungsmuster ein wesentlicher Schritt beim Aufbau einer naturwissenschaftlichen Weltanschauung. Weiterhin gehört die Bildung mathematischer Modelle zum Methodenrepertoire der Naturwissenschaften. Schüler und Schülerinnen lernen dabei etwas über das Verhältnis der wahrgenommenen bzw. vermessenen Wirklichkeit auf der einen und dem mathematischen Modell auf der anderen Seite.

1. Bedeutung des Faches Physik in der gymnasialen Oberstufe

1.1 Gegenstand des Faches

Physik ist eine paradigmatische Erfahrungswissenschaft. Beobachtungen und Daten werden vor dem Hintergrund von Konzepten gemacht bzw. gewonnen, die nicht direkt aus Erfahrungen ableitbar sind. Physikalische Forschung, die Entwicklung physikalischer Theorien, ist ein kreativer Prozess, der getragen wird von Intuition, Deduktion und Experiment.

Die Physik ist Teil der zentralen geistig-kulturellen Tradition unserer Gesellschaft. Sie hat über unsere Wahrnehmung der Natur - vermittelt über die Technik - einen großen Einfluss auf unsere Lebenswelt. Das Wesen der Physik erschließt sich für die Lernenden nicht allein aus ihren Resultaten, die sich als ein abgeschlossener Bestand an Begriffen, Formeln und besonders präparierten Phänomenen - z.B. Vakuum-Fallröhren und Luftkissenbahnen - darstellen. Einsicht in die historische Genese physikalischer Konzepte, die Verbindung zwischen physikalischer Erkenntnis und Gesellschaft sowie das fortdauernde Streben nach der Vereinigung von Theorien gehören zu einem zutreffenden Bild der Physik als dynamischem Prozess, an dem man entweder als Experte bzw. Expertin teilhaben oder den man als interessierter Laie verfolgen kann.

Ebenso wichtig wie die Herstellung von Bezügen zur physikalischen Forschung ist es, die wissenschaftliche Neugier der Lernenden wach zu halten und fortzuentwickeln. Schülerinnen und Schüler sollen physikalische Konzepte dazu nutzen können, Elemente ihrer Erfahrungswelt zu verstehen, d.h. zu ordnen, zu erklären und gegebenenfalls zu beeinflussen. Die physikalische Sicht der Welt erwächst dabei nicht kontinuierlich aus der alltäglichen Erfahrung, etwa durch genaueres Hinsehen oder der Verwendung entsprechender Messgeräte. Erforderlich ist vielmehr ein Perspektivenwechsel, ein Überschreiten der Grenzen zwischen Lebenswelt und Wissenschaft. Der physikalische Entwurf dient - anders als im Alltag oder in der Technik - in der Regel nicht der Lösung konkret anstehender Probleme, sondern er erfolgt unter dem Ziel einer möglichst umfassenden, einheitlichen und einfachen Beschreibung. Die Welt ist in der Sichtweise der Physik nach einer begrenzten Anzahl einfacher Gesetze konstruiert; ihre Formulierung erfolgt in der Sprache der Mathematik. Diese Sprache ermöglicht die quantitative Vorhersagbarkeit von Abläufen. In dieser Hinsicht sehen Physiker die wahre Ordnung der Dinge *hinter* den unmittelbar beobachtbaren Dingen. Die physikalische Interpretation der Wirklichkeit wird an den Phänomenen der Lebenswelt nur unvollkommen deutlich. Um sie herauszuarbeiten, wird im Physikunterricht auch mit entsprechend präparierten Phänomenen gearbeitet.

Das Verständnis der Eigenart der physikalischen Weltsicht und ihre Reflexion ist neben dem Erlernen bestimmter experimenteller und theoretischer Methoden der Kern des wissenschaftspropädeutischen Beitrags des Faches Physik auf der gymnasialen Oberstufe.

1.2 Ziele und Aufgaben des Faches Physik

Der Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe basiert auf dem Unterricht der Sekundarstufe I. Die erarbeiteten Methoden und Inhalte werden aufgegriffen und unter Aspekten der Wissenschaftspropädeutik und der Förderung der Studierfähigkeit als Ziele der gymnasialen Oberstufe vertieft und weiterentwickelt. Diese Zielsetzung und die speziellen Aufgaben der Naturwissenschaften in der gymnasialen Oberstufe werden für den Physikunterricht durch die folgenden Gestaltungsmerkmale konkretisiert:

- *Themen*

Die Auswahl der Themen soll es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen sich mit den Inhalten (Theorien, Modellen und Experimenten) der klassischen und modernen Physik auseinander zu setzen. Dabei lernen Schülerinnen und Schüler neben typischen Bereichen physikalischer Forschung auch die Anwendung physikalischer Erkenntnisse in der Technik, der Beschreibung von Dingen aus der Lebenswelt sowie die physikalische Interpretation von Naturphänomenen kennen. Die Themen sind eingebunden in unterschiedliche Kontexte, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, eine Verbindung mit ihrer Erfahrungswelt herzustellen.
- *Methoden*

In der Auseinandersetzung mit Dingen aus Natur und Technik werden Fähigkeiten und Fertigkeiten zur physikalischen Analyse von Sachverhalten ausgebildet, die sich auf experimentelle und theoretische Verfahren beziehen. Mit kreativer Spekulation, Deduktion, induktivem Schließen und Realisationshandlungen werden wichtige Methoden physikalischer Arbeiten benannt.

Zur physikalischen Beschreibung von Sachverhalten gehört der Umgang mit mathematischen Symbolen und Verfahren. Der Grad ihrer Verwendung richtet sich nach dem notwendigen Beitrag für das physikalische Verständnis eines Zusammenhangs.

Die Schülerinnen und Schüler sollen im Physikunterricht in unterschiedlichen Kontexten eigenständige theoretische und experimentelle Untersuchungen durchführen. Selbstständige Untersuchungen fördern Fähigkeiten der Texterschließung (theoretische Texte, Versuchsprotokolle und Experimentieranleitungen) - mitunter auch in englischer Sprache -, die Arbeit mit mathematischen Modellen sowie Genauigkeit und Ausdauer bei der Durchführung von Experimenten.
- *Reflexion*

Die Reflexion der Erkenntnisgewinnung durch physikalische Methoden, des eigenen Vorgehens bei experimentellen und theoretischen Untersuchungen oder die Bearbeitung von Fallstudien zur Ideengeschichte der Physik sichern wissenschaftspropädeutisches Arbeiten. Die Wechselwirkung zwischen gesellschaftlich-kulturellem Fortschritt und physikalischer Theorieentwicklung bietet eine Ebene der Reflexion der Wissenschaft Physik als Teil unserer Geistesgeschichte.
- *Komplexe Sachverhalte bearbeiten*

Komplexe Problem- und Fragestellungen sind in Form von Themen mit Bezug zur Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler aufzugreifen. Die Reduzierung der Komplexität lebensweltlicher Sachverhalte ist Gegenstand des Fachunterrichts; ihre Bearbeitung bietet zugleich Anlässe für fächerübergreifendes Arbeiten. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler die spezifisch physikalischen Methoden und Perspektiven einbringen und sich der Differenzen und Gemeinsamkeiten zu anderen Fächern bewusst werden.
- *Kommunikation*

Der Prozess der Bearbeitung physikalischer Fragestellungen und seine Ergebnisse müssen sprachlich und bildlich vermittelt werden. Das lernen Schülerinnen und Schüler, indem sie für unterschiedliche Adressaten ihre Ergebnisse aufbereiten. Der Austausch der Ergebnisse im Kurs (Versuchsprotokoll, Referat) erfordert andere Methoden als bei der fachübergreifenden Zusammenarbeit von Kursen oder der Darstellung in der Schulföfentlichkeit (Präsentation, Poster). Die Fähigkeit zum Austausch fachlicher Fragen und Erkenntnisse im Dialog zwischen Vertretern unterschiedlicher Fachkulturen fördert den gesellschaftlichen Konsens und bereitet auf die Mitgestaltung demokratischer Entscheidungen vor.

- *Berufsorientierung*

Durch Einblicke in Anwendungsfelder physikalischer Erkenntnisse in Forschung und Entwicklung - z.B. in Exkursionen, Praktika, Projektwochen - sollen die Schülerinnen und Schüler unter Kenntnis von Alternativen zur kompetenten Berufs- und Studienwahl befähigt werden. Die ausdauernde, ziel- und ergebnisorientierte physikalische Bearbeitung komplexerer Fragestellungen in Teamarbeit trägt zur Entwicklung berufsrelevanter Kompetenzen bei.

Die Ziele des Faches werden durch einen Unterricht erreicht, der das Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler - d.h. das Vertrauen in die eigene fachspezifische Leistungsfähigkeit, - durch die Erfahrung physikalischer Sach- und Methodenkompetenz fördert. Gleichzeitig muss der Unterricht die Grenzen des Faches hin zu anderen Fächern und zur Lebenswelt überschreiten, um das eigene Fach vor dem Hintergrund anderer fachlicher Perspektiven und gesellschaftlich-kultureller Bezüge zu reflektieren. Der Unterricht soll es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen die physikalische Sichtweise als Prototyp der naturwissenschaftlichen Perspektive zu erproben und ihren Stellenwert für die eigene Weltsicht zu bewerten.

2. Unterrichtsgestaltung im Fach Physik

2.1 Fachmethoden - Formen des Lehrens und Lernens

Der Gegenstand des Physikunterrichts und seine Zielsetzung erfordern ein breites methodisches Repertoire, um das Lernen auf die Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler auszurichten und ihnen vielfältige Handlungsmöglichkeiten zu bieten. Es werden dabei sowohl fachspezifische als auch allgemeine Methoden und Kenntnisse eingeübt und in physikalischen Kontexten erprobt. Die Beschaffung von Informationen, ihre Strukturierung und die Kommunikation darüber ermöglichen den Erwerb physikalischen Wissens und fördern die grundlegenden instrumentellen Kompetenzen. Unterrichtsphasen, die auf Formen der eigenständigen Bearbeitung von komplexen Sachzusammenhängen beruhen, ergänzen die eher informierenden Phasen in einer Kurssequenz.

Wichtige Methoden, um Daten und Informationen zu erarbeiten, sind:

- *Erschließen und Bearbeiten von unterschiedlichen Textarten*
Versuchsanleitungen, Ausschnitte aus Originalveröffentlichungen, wissenschaftliche Zeitschriften und Zeitungsartikel als Aufriss einer Problemstellung bilden ein Spektrum von fachwissenschaftlichen bis zu populären Texten.
- *Umgang mit Informationsquellen auf modernen Datenträgern*
Institute und Institutionen präsentieren die Ergebnisse ihrer aktuellen Forschungen im Internet. Um den Schülerinnen und Schülern zu ermöglichen, in dieser unübersichtlichen Datenflut an relevante Informationen zu gelangen, muss der Umgang mit dieser Informationsbasis eingeübt werden. Umfassend können die Informationsquellen nur mit der Wissenschaftssprache Englisch genutzt werden.
- *Beobachtungen in Natur und technischer Umwelt systematisieren und strukturieren*
Im Unterricht sollen Situationen geschaffen werden, in denen die Schülerinnen und Schüler die Fähigkeit entwickeln, die Komplexität der natürlichen und technischen Umwelt durch Aufschlüsselung in einfachere idealtypische Grundmuster zu reduzieren.
- *Physikalische Experimente*
Die experimentelle Arbeit leistet mit der Durchführung und Auswertung von Versuchen sowie ihrer Planung auf der Grundlage von Hypothesen und Theorien einen wichtigen

Beitrag zur Auseinandersetzung mit physikalischen Fragestellungen. Theorieansätze der Schülerinnen und Schüler müssen angemessen berücksichtigt werden.

- *Aufgabengabenstellungen*

Die Aufgabenstellung sollen mehrere Vorgehensweisen und unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zulassen. Durch den Vergleich qualitativ unterschiedlicher Lösungswege, ihrer Begründungen und Ausgangspunkte kann im Unterricht Verständnis für physikalische Konzepte erzeugt werden. Abwechslungsreiche Anwendungsaufgaben in unterschiedlichen Kontexten geben dem Üben und Wiederholen Bedeutung und tragen zur Konsolidierung des Wissens bei.

Die physikalische Bearbeitung von Informationen, ihre Strukturierung und der Austausch darüber mit anderen erfordert u.a. die folgenden Methoden:

- *Strukturierung von Informationen*

Gewonnene Daten aus Beobachtungen und Experimenten sollen visualisiert und gegebenenfalls mit mathematischen Verfahren strukturiert werden. Bei der mathematischen Beschreibung muss der zugrundeliegende physikalische Zusammenhang erkennbar bleiben. Eine vorschnelle Formalisierung muss im Interesse eines qualitativ-inhaltlichen Verständnisses physikalischer Konzepte vermieden werden.

- *Physikalische Theorien und Alltagsvorstellungen*

Die Entwicklung und Formulierung von physikalischen Modellvorstellungen und Theorieentwürfen soll unter Berücksichtigung der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler erfolgen. Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen physikalischen Konzepten und Alltagsvorstellungen sind herauszuarbeiten.

- *Computer als Werkzeug*

Den Schülerinnen und Schülern soll im Rahmen der Möglichkeiten der Schule Gelegenheit gegeben werden Taschenrechner und Computer als Werkzeuge zur Bearbeitung komplexer experimenteller Fragestellungen und zu ihrer theoretischen Durchdringung zu nutzen.

- *Arbeitsergebnisse*

Die Ergebnisse der Auseinandersetzung mit den physikalischen Fragestellungen müssen mit Blick auf die Adressatengruppe dargestellt werden. Versuchsprotokolle und Referate sind innerhalb der Lerngruppe geeignete Formen, über Poster und Präsentationen können kursübergreifend und schulöffentlich die Ergebnisse dargestellt werden. Neben den originär physikalischen Arbeitsweisen wird auch die schriftliche und mündliche Darstellung komplexer Zusammenhänge eingeübt.

- *Gruppenarbeit*

In komplexen Lehr-Lern-Arrangements ist Kooperation, Gruppen- und Teamarbeit notwendig. In der Organisation eines zielorientierten Gruppenarbeitsprozesses sammeln Schülerinnen und Schüler Erfahrungen im Bereich der

- Zeitplanung,
- Abstimmung von Teilaufgaben und
- Sozialkompetenz .

- *Mehrperspektivität*

In fachübergreifenden Kooperationen wird die Zusammenführung unterschiedlicher fachlicher Zugänge zu einem Thema eingeübt. Die gemeinsame mehrperspektivische Bearbeitung bereitet auf die Kommunikation zwischen Experten und Laien vor, in der die beteiligten Schülerinnen und Schüler jeweils wechselnde Rollen einnehmen.

2.2 Zur Arbeit in Grundkursen und Leistungskursen

Die in dem Rahmenplan festgelegten Ziele und verbindlichen Inhalte gelten gleichermaßen für Grund- und Leistungskurse. Ihre Beiträge zu vertiefter allgemeiner Bildung, Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit sind jedoch unterschiedlich akzentuiert.

Die wesentliche Unterscheidung zwischen Physik als Grund- und als Leistungsfach liegt in der *relativen Gewichtung von Orientierungswissen und Verfügungswissen*. Zur Klärung ihres Verhältnisses zu Natur und Technik benötigen die Schülerinnen und Schüler ein Verständnis des Verhältnisses von Naturgesetzlichkeit und menschlichen Gestaltungsmöglichkeiten sowie die Befähigung zum Kommunizieren über physikalische Sachverhalte. Dabei sind Bezüge zu lebensweltlichen Fragen herzustellen einschließlich fachübergreifender Sinnfragen (z.B. Fragen nach der Verantwortbarkeit technologischer Entwicklungen). Diese Aspekte des Orientierungswissens sind für beide Kursarten bedeutsam, haben aber im Grundkurs einen gemessen an der Unterrichtszeit höheren Stellenwert.

Instrumentelles Wissen über die methodischen Verfahren und den Erkenntnisbestand der Physik, Begriffsdefinitionen, Gesetzeskenntnisse, Deduktionen, Gerätekunde, experimentelle Verfahren bis hin zur Fehlerrechnung (Verfügungswissen) ist primär auf die Disziplin Physik selbst bezogen und zielt auf eine Spezialisierung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich. Inhaltliche Vollständigkeit und fachmethodische Vertiefung werden im Leistungskurs deutlich ausgeprägter ausfallen als im Grundkurs. Unterschiede ergeben sich bereits aus den verfügbaren Unterrichtszeiten. Ebenso ist im Leistungskurs ein höherer interner Vernetzungsgrad des erworbenen Wissens anzustreben, in dem sich die Fachsystematik widerspiegelt. Ein Grundbestand solchen Verfügungswissens ist auch notwendige Voraussetzung für eine Orientierung im Lebensumfeld auf Grundlage physikalischer Bildung. Der gemeinsame fachliche Kernbestand ist unter Punkt 2.4 so gefasst, dass er auch im Grundkurs abgearbeitet werden kann. *Im Leistungskurs muss deutlich darüber hinausgegangen werden*. Exemplarisches Vorgehen ist im Grund- und im Leistungskurs angemessen.

Eine praktisch-experimentelle und eine problemorientierte Erarbeitung von Inhalten erfolgt auch im Grundkurs. Während im Grundkurs oft die orientierende qualitative Beobachtung ausreicht, sind im Leistungskurs anspruchsvollere Methoden und quantitativ-messende Beobachtungen bedeutsame Bestandteile des Unterrichts. Im Grundkurs kann eine konsequentere didaktische Reduktion die Inhalte verdeutlichen. Weitere Unterschiede liegen im Grad der mathematischen Modellbildung.

Bei den unterschiedlichen Profilierungen ist zu gewährleisten, dass

- der Grundkurs ein problemangemessenes fachliches Anspruchsniveau erhält, das über stoffliche Groborientierung hinausgeht;
- im Grundkurs genügende Rahmenbedingungen für das selbstständige Arbeiten der Schülerinnen und Schüler geschaffen werden;
- im Leistungskurs neben der sinnvollen und notwendigen fachlichen Spezialisierung auch fachüberschreitende Aspekte behandelt werden;
- der Leistungskurs eine eigenständige, der allgemeinen Bildung verpflichtete Konzeption hat und keine größeren Anteile des physikalischen Grundstudiums vorwegnimmt.

In jedem Fall ist sicherzustellen, dass das Grundfach Physik, ggf. als alleinige gewählte Naturwissenschaft, die Charakteristika des naturwissenschaftlichen Weltbildes und der naturwissenschaftlichen Methode vermittelt. Das kann nicht in Form einer Methodenlehre geschehen, sondern nur anhand anspruchsvoller Inhalte der klassischen und modernen Physik in Verbindung mit lebensweltlich relevanten Fragestellungen.

2.3 Einführungsphase

Die Einführungsphase hat für den Übergang von der Sekundarstufe I zur gymnasialen Oberstufe eine Brückenfunktion. Der Unterricht in 11/1 ist insbesondere dadurch bestimmt, dass in der neu zusammengesetzten Lerngruppe ein gemeinsamer Arbeitsstil eingeübt wird, der auf die Arbeitsweisen und die Anforderungen in der Qualifikationsphase orientiert ist. Zum Ausgleich individueller Defizite, aber auch zum Einbringen und Nutzen individueller Stärken von Schülerinnen und Schülern muss insbesondere im 1. Halbjahr der Einführungsphase ausreichend Gelegenheit gegeben werden.

Der Unterricht der Einführungsphase führt unter Berücksichtigung der Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler in die Arbeitsweise der Physik ein. Thematisch besonders geeignet sind dazu die Sachgebiete Kinematik und Dynamik aus dem Themenbereich Mechanik, die die *inhaltlichen Schwerpunkte* des 1. Halbjahres der Einführungsphase bilden. Der grundlegende Unterschied lebensweltlicher Konzepte zu physikalischen Theorien wird exemplarisch an den Begriffen Kraft und/oder Energie erarbeitet.

Der Unterschied zum Unterricht in der Sekundarstufe I liegt insbesondere in einer größeren Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler bei der experimentellen Arbeit und in der Erarbeitung theoretischer Konzepte. Im Unterricht wird die Bedeutung spezieller Begriffe im Rahmen physikalischer Theorien hervorgehoben.

Im Unterricht der Einführungsphase muss deutlich werden, dass die Physik Beschreibungen der technischen und natürlichen Umwelt durch eine Wechselbeziehung von Experimenten und theoretischen Annahmen entwickelt. In der Aneignung von Physik müssen sich diese Elemente wiederfinden, wobei der schrittweise Prozess des Sich-Verständigens über physikalische Konzepte, qualitative Überlegungen und der Bezug zu den Naturphänomenen nicht vernachlässigt werden dürfen.

Zur Einübung in die Arbeitsweise der Physik sollen in den Halbjahren der Einführungsphase theoretische Überlegungen und die Durchführung von Experimenten eng verbunden werden. Neben der Darstellung von Experimenten und ihrer Ergebnisse mit Hilfe von Diagrammen, Tabellen und Zeichnungen wird die Formulierung von Fragestellungen für eigene Untersuchungen durch die Schülerinnen und Schüler eingeübt. Vorhersagen und die Interpretation der Ergebnisse vor dem Hintergrund theoretischer Vorstellungen müssen Bestandteil der experimentellen Arbeit sein.

Die in der Einführungsphase erworbenen Methodenkenntnisse und Fertigkeiten dienen den Schülerinnen und Schülern als Grundlage für die Arbeit in der Qualifikationsphase.

2.4 Inhalte des Unterrichts

Die physikalischen Inhalte des Unterrichts in der gymnasialen Oberstufe werden unter 2.4.2 nach Themenbereichen gegliedert dargestellt; es werden die obligatorischen Inhalte ausgewiesen. Neben der innerfachlichen Orientierung muss in den Kursen auch eine Öffnung über eine enge fachliche Systematik hinweg erfolgen. Bei der Planung von Kurssequenzen muss berücksichtigt werden, dass im Rahmen der Kurse ausreichend Gelegenheit besteht, um

- Querverbindungen zu Fragestellungen aus Nachbardisziplinen herzustellen und in den Physikunterricht einzubinden,
- physikalisch relevante Sachverhalte aus aktuellem Anlass aufzugreifen und fachübergreifend zu bearbeiten sowie
- außerschulische Lernorte aufzusuchen.

2.4.1 Leitgesichtspunkte

Bei der Erstellung von Kurssequenzen müssen die physikalischen Inhalte der Abschnitte eines Kurses jeweils nach übergeordneten Gesichtspunkten - den Leitgesichtspunkten - strukturiert werden. Die Fachsystematik ist eine wichtige Grundlage, um physikalische Inhalte zu ordnen und den Charakter der Physik deutlich zu machen. Damit der Physikunterricht der Zielsetzung der gymnasialen Oberstufe gerecht wird, dürfen die Kursinhalte sich jedoch nicht ausschließlich an der Fachsystematik orientieren. In einer Kurssequenz müssen verschiedene Leitgesichtspunkte berücksichtigt werden. Wichtige Leitgesichtspunkte, die Unterrichtsabschnitte strukturieren können, sind:

- Physik im Anwendungszusammenhang,
- Physik in Nachbardisziplinen,
- ökologische Fragestellungen,
- Konzepte und Struktur der Physik,
- historische Entwicklung der Physik und
- erkenntnistheoretische Fragestellungen.

Die Festlegung der physikalischen Inhalte und die Strukturierung der Unterrichtsabschnitte durch Leitgesichtspunkte ermöglichen es, die Kurssequenzen offen zu halten für Unterricht, in dem in Zusammenarbeit mit anderen Fächern gemeinsam an Problemstellungen gearbeitet wird. Es lassen sich so ergänzende oder auch kontrastierende Sichtweisen zu einem Thema zusammentragen.

2.4.2 Themenbereiche

Die physikalischen Inhalte sind im Folgenden nach Themenbereichen geordnet. Die obligatorischen Inhalte sind aufgelistet. Die als Erweiterungen aufgeführten Inhalte geben Hinweise für eine vertiefende Behandlung, die insbesondere für Leistungskurse geeignet ist. Die 9 Themenbereiche sind weder Themen einzelner Kurse noch geben sie die inhaltliche Aufeinanderfolge im Unterricht vor.

Themenbereiche:

- I Mechanik
- II Energie und Entropie
- III Statische Felder
- IV Zeitlich veränderliche Felder
- V Wellen
- VI Mikroobjekte
- VII Atomphysik
- VIII Kernphysik
- IX Relativitätstheorie

In kurzen Einführungen werden die Intentionen der Themenbereiche erläutert.

Themenbereich I: Mechanik

Der Themenbereich Mechanik hat sowohl für die physikalische Theoriebildung als auch in seinen Bezügen zur unmittelbaren Erfahrungswelt der Lernenden eine besondere Bedeutung. In der Mechanik werden viele grundlegende Begriffe und Arbeitsweisen der Physik eingeführt, die in anderen Themenbereichen weitere Verwendung finden.

Die Anwendung mechanischer Begriffe und Untersuchungsverfahren in Anwendungsfeldern außerhalb des Labors soll geübt werden. Geeignet sind fachüberschreitende Verbindungen mit alltagsnahen Themenstellungen wie "Verkehrssicherheit" oder "Sport".

Bei Nutzung computergestützter numerischer Verfahren können auch komplexe Bewegungen mit nichtkonstanten Kräften und Reibungseffekten auf Basis des zweiten Newton'schen Axioms quantitativ beschrieben werden.

Die universelle Energieerhaltung wird erst im Zusammenhang mit dem Themenbereich "Energie und Entropie" erarbeitet.

Verbindliche Inhalte:

- Kinematik
- Dynamik
- mechanischer Energieerhaltungssatz, Impulserhaltung
- Grundphänomene der Kreisbewegung
- mechanische Schwingungen

Erweiterungen:

- Gravitation, Himmelsmechanik
- geschwindigkeitsabhängige Kräfte, Reibung
- nichtlineare Dynamik

Themenbereich II: Energie und Entropie

Der nachhaltige Umgang mit den natürlichen Ressourcen gehört zu den Grundlagen aktuellen und zukünftigen gesellschaftlichen Handelns. Die Physik liefert mit den Hauptsätzen der Thermodynamik die naturgesetzliche Fundierung der begrenzten Effizienz von Energieumwandlungsprozessen.

Schwerpunkt dieses Themenbereichs ist der Begriff der *Energieentwertung*, bzw. der begrenzten Umkehrbarkeit von Energieumwandlungen (Irreversibilität). Zur Quantifizierung dienen der maximale physikalische und der technisch realisierte Wirkungsgrad von Energieumwandlungsprozessen. Der Begriff der Entropie kann nach Vermittlung eines qualitativen Verständnisses eingeführt werden. Die statistische Deutung der Entropie ist eine mögliche Vertiefung. Gasgesetze sollen nur in dem Umfang behandelt werden, wie sie zur Plausibilisierung des Wirkungsgrades einer idealen Wärmekraftmaschine notwendig sind. Eine geschlossene Herleitung des Wirkungsgrades kann durch einen informierenden Unterricht ersetzt werden.

Zweiter Schwerpunkt des Themenbereichs sind Untersuchungen von *Energiebilanzen* (z.B. einer Glühlampe, der Erde oder der eigenen Schule). Bei der Betrachtung von Energiebilanzen mit gewichtigen Anteilen von Strahlung sind die Strahlungsgesetze einzubeziehen.

Inhalte:

- Erster Hauptsatz
- physikalischer Wirkungsgrad (2. Hauptsatz)
- Entropie, statistische Interpretation
- Strahlungsgesetze (Wien, Boltzmann)
- Universelle Gasgleichung
- technische Anwendungen: Kreisprozesse

Themenbereich III: Statische Felder

Aufbauend auf dem mathematischen Feldbegriff beschreiben statische physikalische Felder die räumliche Verteilung physikalischer Größen, insbesondere die Kraftwirkung auf Probekörper. Wegen der weitgehenden Strukturgleichheit können die formalen Beschreibungen des elektrischen und des Gravitationsfelds durch Analogieschlüsse erarbeitet werden. Bewegungen von Teilchen in Feldern greifen die grundlegenden Verfahren der Newton'schen Dynamik aus 11/1 wieder auf. Der Schwerpunkt der zu behandelnden Phänomene liegt im Bereich des elektrischen und des magnetischen Feldes.

Verbindliche Inhalte:

- feldbeschreibende Größen (\vec{E} und \vec{B})
- homogenes elektrisches und magnetisches Feld
- potentielle Energie im homogenen elektrischen Feld, Spannung
- Lorentzkraft
- Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

Erweiterungen:

- inhomogene Felder
- Gravitationsfeld
- Halleffekt
- Vermessung und Quantifizierung spezieller Felder (z.B. langgestreckte Spule, Helmholtz-Spule, langgestreckter Leiter, Kuglkondensator, Stab)

Themenbereich IV: Zeitlich veränderliche Felder

Der Themenbereich zeichnet sich durch eine enge Verbindung von Physik und Technik aus, die im Unterricht deutlich werden soll, ohne dass die Wechselstromlehre dominiert. Der Mathematisierungsgrad ist zugunsten qualitativer Anteile zu begrenzen. Fachüberschreitend liegt die Einbeziehung der geschichtlichen Entwicklung der Elektrotechnik, d.h. der Energie- und Nachrichtentechnik einschließlich ihrer ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen nahe.

Verbindliche Inhalte:

- Induktion
- elektromagnetische Schwingungen

Erweiterungen:

- gedämpfte, erzwungene Schwingungen, Resonanz
- Lenz'sche Regel
- Selbstinduktion
- Wechselstrom
- technische Anwendungen: Elektromotor, Generator
- ökologische Aspekte: z.B.: elektromagnetische Felder im Alltag, Elektromog

Themenbereich V: Wellen

Die Welle ist der komplementäre Strukturbegriff der klassischen Physik zum Teilchen. Wellen beschreiben die räumliche und zeitliche Veränderung von Feldern. Das Wesen des physikalischen Feldes, der Transport von Energie (und Impuls), wird gegenüber dem statischen Feldbegriff deutlicher. Der Wellencharakter elektromagnetischer Strahlung muss

über den sichtbaren Anteil hinaus auf das gesamte Spektrum bezogen werden. Die an Frequenzen orientierte physikalische Beschreibung von Farben kann mit technischen und künstlerischen Farbsystemen verglichen werden.

Auf Grundlage der elektromagnetischen Schwingungen kann das Thema Nachrichtentechnik vertieft werden. Mechanische Schwingungen können als Einführung in den Themenbereich "Wellen" behandelt werden oder - bei Verwendung numerischer Simulationen - bereits im Themenbereich "Mechanik" bearbeitet werden.

Verbindliche Inhalte:

- Grundphänomene elektromagnetischer Wellen
- wellenbeschreibende Größen (Frequenz, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Amplitude)
- Beugung und Interferenz

Erweiterungen:

- Polarisierung
- Longitudinalwellen
- Nachrichtentechnik (einschließlich ihrer Geschichte und gesellschaftlichen Bedeutung)
- Laser, Holographie
- spezielle Bereiche des elektromagnetischen Spektrums (z.B. Röntgenspektroskopie, Mikrowellen)

Themenbereich VI: Mikroobjekte

Mikroobjekte stellen die bedeutendste Erweiterung des Weltbildes der modernen Physik dar. Als zentrales Konzept zur Beschreibung des Verhaltens von Licht und Materie auf der Ebene des Mikrokosmos wird das Quant eingeführt. Die Modelle "klassisches Teilchen" und "Welle" gehen darin auf - jedoch nicht in Form einer Synthese ("sowohl Welleneigenschaften als auch Teilcheneigenschaften") oder eines Dualismus ("mal Welle, mal Teilchen") sondern als etwas Neues, dessen Verhalten nur teilweise auf Modelle der klassischen Physik zurückgeführt werden kann (Feynman: "it's like neither"). Der Zeigerformalismus kann als Veranschaulichungsmittel dienen.

Da der mathematische Formalismus der Quantentheorie in der Schule nur begrenzt verfügbar gemacht werden kann und sollte, sind zum Verständnis des Verhaltens von Quanten auf einer Metaebene verstärkt Interpretationsfragen bis hin zu erkenntnistheoretischen und philosophischen Aspekten im Unterricht aufzugreifen.

Neben dem Quantencharakter des Lichts muss im Leistungskurs auch das Quantenmodell der Materie eingeführt werden. Gegebenenfalls kann dies im Zusammenhang mit dem Themenbereich "Atomphysik" erfolgen. Die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation macht die Tiefe des Einschnitts in das klassische physikalische Weltbild deutlich.

Verbindliche Inhalte:

- Quantencharakter des Lichts
- Grenzen klassischer Beschreibungen von Mikroobjekten

Erweiterungen:

- Quantencharakter freier Elektronen (im Leistungskurs verbindlich)
- Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation
- Comptoneffekt

- Grenzen der Anschaulichkeit im Mikrokosmos

Themenbereich VII: Atomphysik

Die Grundphänomene der quantenhaften Absorption und Emission bilden die experimentelle Grundlage der Atomphysik. Der Zusammenhang zwischen Linienspektren und den Zuständen im Atom muss durch theoretische Modelle hergestellt werden. In Weiterführung des Themenbereichs *Mikroobjekte* bietet sich eine Einführung in ein wellenmechanisches Atommodell an. Der Verzicht auf die unterrichtliche Behandlung des Bohr'schen Atommodells schafft Raum für die Begründung der diskreten Zustände im Rahmen wellenmechanischer Atomvorstellungen.

Wellenmechanische Atommodelle führen auf Deutungsfragen und zur Interpretation des Formalismus. Diese erkenntnistheoretischen Fragen stellen eine Verbindung zum Themenbereich *Mikroobjekte* her.

Die Atomphysik kann auch über einen stärker technische Anwendungen betonenden Zugang erschlossen werden. Bereiche der Festkörperphysik, wie z.B. das Bändermodell und die Erklärung der Leitfähigkeit bieten sich dazu an.

Verbindliche Inhalte:

- Grundphänomene der quantenhaften Absorption und Emission von Energie durch Atome (u.a. Linienspektrum)
- Modell der Energiequantelung im Atom

Erweiterungen:

- historische Entwicklung der Atommodelle
- Quantenzahlen, Pauliprinzip
- erkenntnistheoretische Aspekte der Interpretation der Quantentheorie
- Anwendung der Quantentheorie für Festkörpereigenschaften
- charakteristisches Röntgenspektrum
- Festkörperphysik
 - Bändermodell
 - elektrische Leitfähigkeit

Themenbereich VIII: Kernphysik

Die Kernphysik ist der Bereich der Physik, der immer wieder in gesellschaftliche Auseinandersetzungen einbezogen wird. Die Entdeckung der Kernspaltung markiert für die Diskussion um die gesellschaftliche Verantwortung und Verpflichtung naturwissenschaftlicher Forschung einen wichtigen Einschnitt, der im Unterricht deutlich werden sollte. Damit die Schülerinnen und Schüler sachkundig an der Diskussion teilhaben können, sind grundlegende Kenntnisse über radioaktiven Strahlung und die Struktur der Kerne notwendig.

In der Kernphysik bieten sich Verknüpfungen zu anderen Themenbereichen an. Das gilt für die Quanten-Eigenschaften der Kernbausteine (α -Zerfall, Tunneleffekt) ebenso wie für die Behandlung von Massendefekt und Bindungsenergie.

Die Erweiterung des Themenbereichs auf technische Anwendungen der Kernenergie und die Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie bietet sich an wie die Behandlung der Elementarteilchen- bzw. der Astrophysik.

Verbindliche Inhalte:

- Ionisierende Strahlung: Wirkungen, beschreibende Größen

- Zerfallsgesetz
- Struktur der Atomkerne

Erweiterungen:

- Kernmodelle
- Wirkungen ionisierender Strahlung auf biologische Systeme
- Kernspaltung und -fusion
- Modelle der Kernumwandlung
- Astrophysik
- Elementarteilchenphysik (Hochenergiephysik)

Themenbereich IX: Relativitätstheorie

Die Relativitätstheorie markiert - neben der Quantenphysik - den Übergang von der klassischen zur modernen Physik. Für die Herausbildung einer physikalischen Weltanschauung ist die Relativitätstheorie bedeutsam. Zumindest im Leistungskurs erscheint die Behandlung der Grundlagen der Relativitätstheorie geboten.

Die Relativitätstheorie liefert das für ein zeitgemäßes Bild der Physik wichtige Konzept der Raum-Zeit und die Erweiterung des Prinzips der Energieerhaltung zu einer Energie-Masse-Relation.

Der Themenbereich kann vielfältig mit den Bereichen *Atom-* und *Kernphysik* verknüpft werden. Für die Elementarteilchenphysik sind Grundlagen der Relativitätstheorie unverzichtbar, Experimente der Hochenergiephysik dienen wiederum als Anwendungsbeispiele für die Relativitätstheorie.

Inhalte

- Gleichzeitigkeit
- Raum-Zeit-Darstellungen
- Lorentzkontraktion, Zeitdilatation
- Energie-Masse-Relation

2.5 Gestaltung von Kurssequenzen

Die Kurse von 11/1 bis 13/2 bilden eine Kurssequenz, durch die der Zusammenhang des Unterrichts in der Oberstufe gewährleistet wird. Es ist Aufgabe der Fachberatungen der Schulen, die Kurssequenzen zu diskutieren und festzulegen. Die Kurssequenzen müssen eine Kontinuität des Fachunterrichts an der Schule gewährleisten, gleichzeitig aber auch hinreichend Gestaltungsraum lassen um den Bedingungen in den einzelnen Lerngruppen und den Interessen der Schülerinnen und Schüler gerecht zu werden.

Bei der Erstellung von Kurssequenzen durch die Fachberatungen greifen 2 Gestaltungsebenen ineinander:

1. Leitgesichtspunkte

Die Kursthemen oder Unterrichtsabschnitte werden anhand der Leitgesichtspunkte festgelegt. In einer Kurssequenz müssen verschiedene Leitgesichtspunkte berücksichtigt werden.

2. Themenbereiche

Die physikalischen Inhalte werden über die Themenbereiche den Kursen einer Sequenz zugeordnet. Die wesentlichen Inhalte eines Kurses sollen dabei in der Regel aus nicht mehr als 2 Themenbereichen stammen. Obligatorische Inhalte sind den The-

menbereichen I sowie III bis VIII zugeordnet, sie müssen in einer Kurssequenz bearbeitet werden.

In der Sequenz eines Leistungskurses muss mindestens ein Kurs schwerpunktmäßig unter dem Leitgesichtspunkt „Konzepte und Struktur der Physik“ gestaltet werden, um die Struktur der Physik als ein Merkmal des fachlichen Zusammenhangs exemplarisch zu bearbeiten.

Die Fachberatung muss die Gleichwertigkeit der Kurssequenz – auch der fachlicher Konzepte – bei ihrer Einbettung in unterschiedliche Kontexte bei der schulinternen Planungen berücksichtigen.

Bei der Planung von Kurssequenzen müssen die Fachberatungen den möglichen Wechsel zwischen Grund- und Leistungskursen im 1. Halbjahr und zum Ende der Einführungsphase berücksichtigen sowie die unterrichtliche Kontinuität beim Wiederholen eines Jahrgangs beachten.

Der Lernzusammenhang, der sich durch eine festgelegte Kurssequenz ergibt, muss den Schülerinnen und Schülern rechtzeitig mitgeteilt werden.

Als Orientierungshilfe für die Einbettung *obligatorischer Inhalte* in den *Gesamtzusammenhang physikalischer Inhalte* der gymnasialen Oberstufe findet sich im Anhang eine Aufstellung mit entsprechenden Hervorhebungen. Einige Beispiele für Kurssequenzen finden sich im Anhang.

2.6 Fachübergreifender Unterricht

Fachübergreifender Unterricht ist eine notwendige Ergänzung des Fachunterrichts. Die Notwendigkeit des phasenweisen fachübergreifenden Arbeitens im Unterrichtsfach Physik der gymnasialen Oberstufe ergibt sich aus der Forderung nach einem Lebensweltbezug der Unterrichtsinhalte. Themen, die der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler entstammen, sind komplexer Natur. Sie lassen sich nur unter Berücksichtigung der Sichtweisen unterschiedlicher Disziplinen bearbeiten. Komplexe Inhalte sind oft nur dadurch zu erschließen, dass neben der Physik weitere naturwissenschaftliche Sichtweisen mit herangezogen werden. Auch die Kooperation mit Fächern der anderen Aufgabenfelder bieten sich häufig an. Die Schülerinnen und Schüler haben so die Möglichkeit die verschiedenen Arbeitsweisen der Fächer kennen zu lernen, sie gegeneinander abzugrenzen und Verbindungen zwischen ihnen herzustellen. Die Fachperspektive wird bis zu einem gewissen Grad entwickelt und ausgeschärft, aber auch überschritten und als alleiniger Zugang zu einem Thema in Frage gestellt. Ausgangs- und Orientierungspunkt für fachübergreifenden Unterricht ist das Fach Physik. Sicheres fachliches Wissen, das an anspruchsvollen Themen erarbeitet wird, und die kritische Auseinandersetzung mit den damit verbundenen Eingrenzungen des Spektrums möglicher Fragen und Ergebnisse bedingen einander.

Organisationsformen des fachübergreifenden Arbeitens

Die Organisationsformen des fachübergreifenden Unterrichts für die gymnasiale Oberstufe haben ein breites Spektrum. Im Fachunterricht können fachüberschreitende Themen und Sichtweisen punktuell aufgegriffen werden. Es können kursinterne Unterrichtsphasen bis zu einigen Wochen zur Erarbeitung von korrespondierenden Aspekten anderer Fächer gewählt werden. Die zeitlich begrenzte Auflösung von Kursgrenzen zu fächerverbindenden Aktivitäten ist eine weitere Möglichkeit. Solche Phasen sind im fachspezifischen Unterricht intensiv vorzubereiten.

Verbindungen zum Aufgabenfeld 1 - sprachlich-literarisch-künstlerische Fächer

Inhaltliche Verknüpfungen mit den Fächern des Aufgabenfeldes 1 lassen sich insbesondere im gestalterischen Bereich aufzeigen. Anknüpfungspunkte ermöglichen die Entwicklung zumindest einer kurzfristige Zusammenarbeit. Einige punktuelle Möglichkeiten der Kooperation sind:

Musik und Physik	Physik der Musikinstrumente
Kunst und Physik	Photographie, photometrische Größen, Farben, Klangobjekte, kybernetische Objekte, Farbkreis, Farbmischung
Literatur und Physik	Science Fiction und der naturwissenschaftliche Hintergrund Die Verantwortung des Naturwissenschaftlers an literarischen Beispielen (z.B. Dürrenmatt, Brecht)

Verbindungen zum Aufgabenfeld 2 - gesellschaftswissenschaftliche Fächer

Die Zusammenarbeit mit Fächern des Aufgabenfeldes 2 wird sich nicht auf alle Halbjahre der gymnasialen Oberstufe beziehen können. Jedoch ergeben sich - mit wechselnden Fächern - Anknüpfungspunkte für mehrere Halbjahre.

Als Beispiele sind zu nennen:

politische und soziale Aspekte

- des Schadstoffeintrags in die Atmosphäre
- der Abfallwirtschaft
- der Kernenergie
- der Energieversorgung und
- des Elektrosmog.

wirtschaftliche Aspekte

- der Kernenergie und
- der alternativen Energien.

historische Aspekte der Entwicklungen der Naturwissenschaften vor dem Hintergrund der gesellschaftlichen Entwicklung, insbesondere

- des Wandels des Weltbildes
- der Industrialisierung und
- der Informationsgesellschaft.

Verbindung innerhalb des Aufgabenfeldes 3 - mathematisch-naturwissenschaftlich-technische Fächer

Fachübergreifendes Arbeiten mit anderen Naturwissenschaften der gymnasialen Oberstufe ist auch über längere Zeiträume hinweg realisierbar. Beispiele sind im Anhang zu finden. Physik und Mathematik waren und sind in ihrer Entwicklung eng verbunden. Die Arbeit mit mathematischen Modellen gehört zum Methodenrepertoire der Physik.

2.7 Leistungsbewertung im Physikunterricht

Die Leistungsbewertung dient der Dokumentation und Beurteilung der individuellen Entwicklung des Lern- und Leistungsstandes der Schülerinnen und Schüler. Sie berücksichtigt nicht nur die Produkte sondern auch die Prozesse schulischen Lernens und Arbeitens. Leistungsbewertung dient der kontinuierlichen Rückmeldung für Lernende, Erziehungsberech-

tigte und Lehrkräfte. Sie ist eine Grundlage der Beratung sowie der Förderung der Schülerinnen und Schüler.

Grundsätze der Leistungswertung:

- Bewertet werden die im Unterricht erbrachten Leistungen der Schülerinnen und Schüler.
- Die Leistungsbewertung bezieht sich auf die im Unterricht vermittelten Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten.
- Leistungsbewertung muss für Schülerinnen und Schüler sowie Erziehungsberechtigte transparent sein.
- Die Kriterien für die Leistungsbewertung müssen in der Fachberatung offengelegt und zwischen den Fachlehrerinnen und Fachlehrern abgesprochen werden.

Die beiden notwendigen Beurteilungsbereiche sind:

- Klausuren und weitere Formen schriftlicher Leistungsnachweise
- sonstige Mitarbeit

Klausuren

Klausuren dienen der schriftlichen Überprüfung der Lernergebnisse eines Kursabschnittes. Sie geben Aufschluss über das Erreichen der Ziele der jeweiligen Kursabschnitte. Die Klausuren orientieren sich nach Inhalt und Schwierigkeitsgrad zunehmend an den Anforderungen in der schriftlichen Abiturprüfung.

Die Klausuren können eine experimentelle Aufgabenstellung enthalten.

Sonstige Mitarbeit

Dieser Beurteilungsbereich umfasst alle von den Schülerinnen und Schülern außerhalb der Klausuren erbrachten Unterrichtsleistungen wie

- mündliche und schriftliche Mitarbeit im Unterricht
- Hausaufgaben
- Arbeitsmappen
- Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten sowie weitere praktische Arbeiten (Freilandarbeiten, Laborarbeiten, ...)
- Darstellung und Bewertung der Beobachtungen und der experimentell gewonnenen Ergebnisse (Protokolle, ...)
- Referate und Arbeitsberichte
- Gruppenarbeit und Mitarbeit in Unterrichtsprojekten
- Präsentationen – Vortrag und Gestaltung (Plakate, Computer gestützte Darstellungen, ...)
- Medienproduktionen (Video, Web-Seiten, ...)

Bei fachübergreifenden Projekten bildet der fachspezifische Anteil den Kern der Bewertung.

3. Auflagen und Hinweise

Im Unterricht müssen die jeweils gültigen Vorschriften, Gesetze und Richtlinien zur Sicherheit und Entsorgung und zum Natur- und Tierschutz beachtet werden.

Anhang

A1. Beispiele für Kurssequenzen

Die folgenden Beispiele zeigen ein Spektrum von Möglichkeiten für die Gestaltung von Kurssequenzen. Beispiel 1 orientiert sich an einer in Leistungskursen verbreiteten Vorgehensweise. Die Sequenzen 2 und 3 basieren auf einer langfristigen, engen Kooperation eines Physikkurses mit Biologie- bzw. Chemiekursen (s. a. Punkt A2). Die Sequenzen wurden für Grundkurse erprobt und in Materialien, die über das Landesinstitut zu beziehen sind, dokumentiert. Neben den Kursthemen sind die strukturierenden Leitgesichtspunkte (LG) benannt.

Die Themenbereiche sind unter Ziffer 2.4.2 erläutert.

	Vorschlag 1	Themenbereich								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
11.1	Mechanik Kinematik, Dynamik, Impulserhaltung am Beispiel der Verkehrsphysik LG Anwendungszusammenhang	x								
11.2	Die Erde und ihre Nachbarn Kreisbewegung, Gravitation, Planeten Klima der Erde LG Ökologie; Konzepte und Strukturen	x	x							
12.1	Elektrisches und magnetisches Feld Statische und zeitlich veränderliche Fel- der LG Konzepte und Strukturen			x	x					
12.2	Schwingungen und Wellen mechanische und elektrische Schwingun- gen, Wellen LG Konzepte und Strukturen	(x)			x	x				
13.1	Quanten- und Atomphysik Licht und Elektronen, quantenphysikali- sche Vorstellungen vom Atom LG Konzepte und Strukturen Erkenntnistheorie						x	x		
13.2	Kern- und Astrophysik LG Anwendungszusammenhang Physik in Nachbardisziplinen	(x)	(x)						x	(x)

Themenbereiche: Mechanik (I), Energie und Entropie (II), statische Felder (III), zeitlich veränderliche Felder (IV), Wellen (V), Mikroobjekte (VI), Atomphysik (VII), Kernphysik (VIII), Relativitätstheorie (IX)

Vorschlag 2		Themenbereich								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
11.1	Messen, Beschreiben, Strukturieren am Beispiel einer Gewässeruntersuchung (*) LG Anwendungszusammenhang Ökologie	x	(x)							
11.2	Das Klima der Erde, der Treibhauseffekt (*) LG Anwendungszusammenhang Ökologie	(x)	x	(x)						
12.1	Physikalische Verfahren in der Biologie – Gentechnologie (*) LG Physik in Nachbardisziplinen			x	x					
12.2	Licht und Farbe (*) LG Anwendungszusammenhang					x	x			
13.1	Medizinische Diagnostik und Therapie im Wandel der Zeit (*) LG Historische Entwicklung Physik in Nachbardisziplinen				x	x			x	
13.2	Atomphysik LG Konzepte und Strukturen							x		

Die Physik-Grundkurs-Sequenz ist im Modellversuch „BINGO“ entwickelt und dokumentiert worden. Die Materialien finden sich im Internet unter

<http://didaktik.physik.uni-bremen.de/niederderer/bingo/index.html>.

Themenbereiche: Mechanik (I), Energie und Entropie (II), statische Felder (III), zeitlich veränderliche Felder (IV), Wellen (V), Mikroobjekte (VI), Atomphysik (VII), Kernphysik (VIII), Relativitätstheorie (IX)

Vorschlag 3		Themenbereich								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
11.1	Sonne-Energie-Leben (*) LG Ökologie	x	x							
11.2	Elektrosmog - Elektrostress (*) LG Anwendungszusammenhang Ökologie			x	x					
12.1	Radioaktivität und ihre Folgen LG Physik in Nachbardisziplinen							x	x	
12.2	Schall, Klang und Lärm LG Ökologie Physik in Nachbardisziplinen	x				x				
13.1	Theorien in der modernen Physik LG Konzepte und Strukturen						x			x
13.2	ZEITSchrift LG Physik in Nachbardisziplinen Erkenntnistheorie						x			x

Die Physik-Grundkurs-Sequenz ist im Projekt der Schulbegleitforschung „Kursübergreifende, umweltorientierte Projekte“ (KUP) entwickelt und dokumentiert worden (Projekt Nr. 4).

A2. Beispiele für fachübergreifende Kurse innerhalb der Naturwissenschaften

Die folgenden Beispiele zeigen wie Physik-, Biologie- und Chemiekurse in der Oberstufe unter einem halbjahresbezogenen gemeinsamen Rahmenthema kooperieren können. Dabei wechseln Phasen der fachbezogenen Erarbeitung von Wissen ab mit dessen Anwendung in parallel oder gemeinsam durchgeführten projektartigen Abschnitten, die zu fachüberschreitenden Aspekten hin geöffnet sind. Gut geeignet ist z.B. die gemeinsame Erarbeitung von schulöffentlichen Ausstellungen zu naturwissenschaftlichen Themen.

Zu den im Folgenden kurz skizzierten Rahmenthemen sind im LIS ausführliche Berichte erhältlich.

Natur und Medizin

Medizinische Aspekte der Naturwissenschaften sind für alle Schüler von großem Interesse, da sie den unmittelbaren Lebensbereich betreffen. Eine Zusammenarbeit der drei Naturwissenschaften bietet sich hier direkt an.

Physik	Chemie	Biologie
elektrische Leitungsvorgänge im menschlichen Körper, Diagnosemethoden (z.B. EEG, EKG, Röntgen, Ultraschall), Therapiemethoden z.B. durch Strahlung, Strahlenschutz	Arzneimittelchemie Verfahren zur Synthese pharmazeutischer Wirkstoffe, Konzentrationsuntersuchungen bei homöopathischen Wirkstoffen, neuere, analytische Verfahren	Immunbiologie Krankheiten Stoffwechselfvorgänge Wachstum und Entwicklung, Drogen

Licht und Farbe

Das Thema Licht und Farbe hat auf den ersten Blick eher physikalischen Charakter und könnte so schwerpunktmäßig mehr in diesem Fach angesiedelt sein. Dennoch können wichtige Bereiche der Farberscheinung erst durch die anderen beiden Naturwissenschaften erläutert werden. Die Farbigekeit unserer Umwelt wird in molekularen Dimensionen erst durch die Farbstoffchemie erklärt, die Biologie beschreibt die Farbgestaltung in der Natur.

Mögliche Inhalte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Physik	Chemie	Biologie
Physikalische Kenngrößen von Licht, Lichtquellen, Licht als Welle oder Quant, Entstehung von Licht in der Atomhülle	Farbstoffchemie, Molekülstrukturen / Witt'sche Farbstoffchemie, Natur- und Synthesefarbstoffe, spektroskopische Analyseverfahren	Absorptions- und Wirkungsspektrum bei der Photosynthese, Sinnesphysiologie, Neurophysiologie, Verhalten

Kontinuität und Veränderung des Lebens – Gentechnologie

Gentechnik ist ein der Biologie zuzuordnendes Tätigkeitsfeld basierend auf physikalischen und chemischen Grundlagen. Um zum Beispiel das Verfahren zur Ermittlung eines DNA – Fingerprints verstehen und durchführen zu können, sind chemische und physikalische Kenntnisse vorauszusetzen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind.

Physik	Chemie	Biologie
Elektrostatik: Kraftwirkung auf Ladung im elektrischen Feld, Arbeit, Potential und Spannung Beweglichkeit eines geladenen Teilchens in einem Medium, Ionenleitung in Flüssigkeiten	Struktur und Eigenschaften organischer, chemischer Moleküle, Aminosäuren, Proteine, Elektrophorese	Mitose, Meiose Struktur der Gene (DNA), Proteine als primäre Genprodukte, Proteinbiosynthese, DNA-Fingerprint

An diesem Beispiel soll kurz erläutert werden, wie fachfremde Inhalte in den Physikunterricht einbezogen werden können.

Ein Biologie-, ein Chemie- und ein Physik-Kurs planen nach einer fachspezifischen Vorbereitungsphase eine enge Zusammenarbeit in einer Projektphase von einigen Wochen. Mögliche Formen sind:

- Die Schüler bilden Arbeitsgruppen und erarbeiten zum Oberthema „Gentechnologie“ zusammenführende Inhalte.
- Den Schülern werden Aufgaben gestellt, die nur unter Zusammenführung unterschiedlicher Fachkompetenzen lösbar sind. Hier sind alle Schüler aufgefordert ihr im Fachunterricht erworbenes Wissen als Experten in die Gruppenarbeit einzubringen.

In beiden Fällen ist es notwendig, dass bereits der vorausgehende Unterricht im Fach Physik um kurze Abschnitte mit fachübergreifenden Anwendungsaspekten ergänzt wird. Die Elektrostatik trägt wesentlich zum Verständnis des Verfahrens der Elektrophorese bei, das innerhalb der gentechnischen Untersuchungsmethoden einen zentralen Stellenwert hat. Gemeinsam mit Schülern anderer Gruppen, die entsprechend fachspezifische Inhalte ihrer Naturwissenschaften einbringen, kann dann in der Projektphase eine fachübergreifende Problemstellung bewältigt werden.

Sonne – Energie – Leben

Im Rahmen der zunehmenden Umweltbelastung durch herkömmliche Energiegewinnung ist die Diskussion um alternative Energiequellen im Bewusstsein der Schüler. Insbesondere zwischen den Fächern Biologie und Physik lassen sich zu diesem Themenkomplex eine Reihe von Anknüpfungspunkten finden, von denen hier nur einige genannt seien. Die Erweiterung der Kooperation mit anderen Fächern ist möglich.

Physik	Biologie
Gewinnung und Nutzung von Sonnenenergie wie z. B. Photovoltaik, Biogas, thermische Solaranlagen, Windenergie.	Photosynthese, Energiebilanz der Zelle, Energiebedarf des Menschen, Einfluss der Sonne auf Tiere

A3. Physikalische Inhalte

Die folgende Auflistung der physikalischen Inhalte dient dazu, die unter Punkt 2.4.2 aufgeführten obligatorischen Inhalte in den Gesamtzusammenhang der Oberstufenphysik einzuordnen und dadurch weiter zu erläutern. Es soll auch daraus hervorgehen, welche Inhalte *nicht* zum obligatorischen Bestand zählen, aber als Erweiterungen behandelt werden können. Die kursiv hervorgehobenen Inhalte der folgenden Liste sind in einigen Fällen spezifischer als die Festlegung unter Punkt 2.4.2. Ausschlaggebender Teil des Fachrahmenplans bleibt die Darstellung unter 2.4.2.

- **Kinematik**
 - *Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung*
 - Bezugssystem, Wechsel der Bezugssysteme
 - *Geschwindigkeit, Beschleunigung*
 - *gleichmäßig beschleunigte Bewegung*
 - Freier Fall, Bewegungen auf der schiefen Ebene
 - Senkrechter und waagerechter Wurf
 - Schiefer Wurf
 - *Unabhängigkeitsprinzip*
 - Galilei-Transformation
- **Dynamik**
 - *Trägheitssatz, träge Masse*
 - Inertialsystem
 - *Impuls, Impulserhaltungssatz*
 - *Kraft, Grundgleichung der Mechanik*
 - Kraftstoß und Impulsänderung
 - *Wechselwirkungsprinzip*
 - Modell des Massenpunktes
- **Mechanische Erhaltungssätze**
 - *Bewegungs- und Lageenergie*
 - Spannenergie
 - Beschleunigungs- und Hubarbeit, Spannarbeit, Reibungsarbeit
 - *Energieerhaltungssatz der Mechanik, Energieprinzip*
 - Stoßvorgänge (elastisch, inelastisch)
- **Kreisbewegung, starrer Körper**
 - Grundphänomene der Kreisbewegung
 - Zentripetalbeschleunigung und -kraft
 - Trägheitskräfte in beschleunigten Bezugssystemen: Zentrifugalkraft, Corioliskraft
 - Rotation des starren Körpers: Trägheitsmoment, Drehmoment, Drehimpuls
- **Gravitation, Himmelmechanik**
 - Astronomische Weltbilder
 - Kepler'sche Gesetze
 - Newton'sches Gravitationsgesetz
 - Arbeit im Gravitationsfeld, Potential
 - Planeten- und Satellitenbahnen
 - System Erde-Mond
 - Planetensystem, Galaxie
- **Mechanische Schwingungen**
 - Schwingungsphänomene und beschreibende Größen
 - harmonische Schwingungen, Bewegungsgleichungen
 - Federschwingung und lineares Kraftgesetz
 - Überlagerungen von Schwingungen, Schwebungen
- gekoppelte Schwingungen
- gedämpfte Schwingungen
- erzwungene Schwingungen
- nicht-lineare Schwingungen (z.B. Fadenpendel)
- **Wellen**
 - *Entstehung und Ausbreitung von Wellen*
 - Transversal und Longitudinalwellen
 - *beschreibende Größen und ihre Zusammenhänge*
 - Polarisation von Wellen
 - Reflexion am losen und festen Ende
 - Überlagerung linearer Wellen
 - Stehende Wellen und Eigenschwingungen
 - Elementarwellen und Huygen'sches Prinzip
 - Beugung und Interferenz ebener Wellen, Interferenzbedingungen
- **Akustik**
 - Schallwellen und ihre Eigenschaften
 - Dopplereffekt
 - Ultraschall
- **Wärmelehre**
 - Thermisches Verhalten von Stoffen, Wärmekapazität
 - Thermische Ausdehnung von Gasen, absolute Temperatur
 - Zustandsänderungen und Gasgesetze, allgemeine Gasgleichung
- **Kinetische Gastheorie**
 - Modell des idealen Gases
 - Geschwindigkeitsverteilung bei Gasen, mittlere Geschwindigkeit und Druck
 - mittlere kinetische Energie und absolute Temperatur
 - molare Wärmekapazität, Freiheitsgrade
- **Energie und Energieentwertung**
 - Erster Hauptsatz der Wärmelehre
 - Reversible und irreversible Prozesse
 - Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre, Wirkungsgrad
 - Adiabatische und nicht adiabatische Vorgänge, Kreisprozesse
- **Relativitätstheorie**
 - Grenzen der newtonschen Physik
 - Lorentztransformation
 - Relativität und Gleichzeitigkeit
 - Längenkontraktion und Zeitdilatation
 - Äquivalenz von Masse und Energie
 - Grundgedanken der Allgemeinen Relativitätstheorie

- **Elektrisches Feld**
 - elektrische Ladung
 - Erzeugung und Veranschaulichung elektrostatischer Felder
 - Influenz, Polarisation
 - elektrische Feldstärke (E)
 - homogenes Feld
 - Coulomb'sches Gesetz
 - Arbeit im elektrischen Feld, Spannung
 - Potential
 - Energie eines Kondensators
 - Flächenladungsdichte, elektrische Flussdichte
 - elektrische Feldkonstante, Grundgleichung
- **Magnetisches Feld**
 - Stromstärke
 - Erzeugung und Veranschaulichung magnetischer Felder
 - Magnetische Feldgröße B
 - Magnetfeld im Inneren einer langen Spule, Feldgröße H
 - magnetische Feldkonstante
 - Lorentzkraft
 - Halleffekt
 - Ferromagnetismus
- **Bewegungen von elektrischen Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern**
 - Bewegung elektrischer Ladungen in homogenen elektrischen Feldern
 - Milikan-Versuch
 - Bewegung von Ladungsträgern in homogenen magnetischen Feldern, e/m -Bestimmung
 - Zyklotron, Massenspektrograph
- **Elektromagnetische Induktion**
 - Induktion bei Relativbewegung zwischen Leiter und Magnetfeld, oder durch zeitliche Änderung des Feldes
 - Induktionsgesetz
 - Lenz'sche Regel
 - elektrische Wirbelfelder
 - Selbstinduktion: Ein- und Ausschaltvorgänge
 - Energie einer stromdurchflossenen Spule
- **Wechselspannung und Wechselstromkreis**
 - Erzeugung von Wechselspannungen, Generatoren und Motoren
 - Transformator
 - Momentan-, Scheitel- und Effektivwerte
 - Bauteile im Wechselstromkreis, Widerstände, Phasenbeziehungen zwischen I und U
- **Elektromagnetische Schwingungen**
 - Elektromagnetischer Schwingkreis
 - Thomson'sche Schwingungsformel
 - gedämpfte elektromagnetische Schwingungen
 - erzwungene elektromagnetische Schwingungen, Resonanzkreise
 - ungedämpfte Eigenschwingungen, Rückkopplungen
- **Elektromagnetische Wellen**
 - Grundphänomene
 - Wellenbeschreibende Größen (Frequenz, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Amplitude)
 - Spektrum der elektromagnetischen Wellen
 - Ausbreitungsgeschwindigkeit
 - Eigenschwingung eines Dipols
 - Messung der Lichtgeschwindigkeit
 - Reflexion und Brechung, Korpuskel- und Wellenmodell
 - Interferenz und Beugung
 - Polarisation
 - Laser und Holographie
- **Elektronik**
 - Halbleiterbauelemente
 - Schaltungen
- **Lichtquanten**
 - Photoeffekt
 - Quantenstruktur des Lichts
 - h -Bestimmung, Energie und Impuls eines Photons
 - Comptoneffekt
- **Wellenstruktur der Materie**
 - Elektronenbeugung
 - Materiewellen, de-Broglie-Beziehung
 - Unbestimmtheitsrelation
- **Energiezustände im Atom und Atommoleküle**
 - Linienspektren, Energieniveaus
 - Absorptionsspektren
 - Franck-Hertz-Versuch
 - Historische Entwicklung der Atomvorstellung
 - Bohr'sches Atommodell
 - Termschema, Spektralserien
 - Ionisierungsenergie
 - quantenphysikalisches Modell des Atoms
 - Wahrscheinlichkeitsamplitude, Statistische Deutung
 - Röntgenspektren
 - chemische Bindung

-
- **Kernphysik**
 - *Radioaktivität, ionisierende Strahlung*
 - Nachweis- und Messmethoden
 - *Zerfallsgesetz*
 - Zerfallsreihen
 - *Aufbau der Kerne*
 - Kernmodelle
 - Kernprozesse und Sterne
 - Massendefekt
 - **Kernenergie und Auswirkungen**
 - Energiegewinnung durch Kernspaltung und Kernfusion
 - Reaktortypen
 - Atomwaffen
 - Dosimetrie, biologische Wirkung ionisierender Strahlen
 - **Festkörperphysik**
 - Kristalle und Strukturuntersuchungen
 - Mechanische Eigenschaften des Festkörpers
 - Leitungsmechanismen in Metallen und Halbleitern
 - **Elementarteilchen**
 - Beschleuniger
 - Nachweis schneller Teilchen
 - Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen
 - Systematik der Elementarteilchen

