

Kompetenzentwicklung im Physikunterricht der Qualifikationsphase



SACHSEN-ANHALT

Landesinstitut für Lehrerfortbildung,
Lehrerweiterbildung und
Unterrichtsforschung

Impressum

Autor: Dr. Hans-Peter Pommeranz

Herausgeber: Landesinstitut für Lehrerfortbildung, Lehrerweiterbildung
und Unterrichtsforschung von Sachsen-Anhalt (LISA)
Riebeckplatz 9
06110 Halle

Layout: Christiane Schoebbel

Druck: LISA Halle

ISSN: 1438-4787

LISA Halle (Saale) 2006 (0606) – 1. Auflage – 300

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	5
1 Beschreibung von Kompetenzen physikalischer Allgemeinbildung	7
2 Beschreibung des Kompetenzniveaus zu Beginn der Qualifikationsphase.....	15
2.1 Kompetenzbereich Fachwissen	15
2.2 Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung	17
2.3 Kompetenzbereich Kommunikation	20
2.4 Kompetenzbereich Bewertung.....	24
3 Kompetenzentwicklung in der Qualifikationsphase.....	26
3.1 Entwicklung eines strukturierten Basiswissens	26
3.1.1 Basiskonzept Materie	27
3.1.2 Basiskonzept System	31
3.2 Nutzung analoger mathematischer Modelle	35
3.2.1 Beschreibung natürlicher Wachstums- und Zerfallsprozesse	35
3.2.2 Beschreibung von Änderungsraten.....	39
3.3 Entwicklung kommunikativer Fähigkeiten	41
4 Erstellung und Bewertung von Abituraufgaben.....	48
4.1 Gesetzliche Grundlagen	48
4.2 Schriftliche Prüfung.....	49
4.2.1 Struktur der Prüfung	49
4.2.2 Kompetenzen, die zum Gegenstand der Abiturprüfung gemacht werden.....	53
4.2.3 Kriterien für die Auswahl der Inhalte	60
4.2.4 Aspekte der Bewertung	66
4.3 Mündliche Prüfung.....	69
4.3.1 Struktur der Prüfung	69
4.3.2 Kompetenzen, die zum Gegenstand der Prüfung gemacht werden	70
4.3.3 Kriterien für die Auswahl der Inhalte als Gegenstände der mündlichen Abiturprüfung	78
4.3.4 Aspekte der Bewertung	79
5 Literatur.....	82

Vorwort

Die Ergebnisse internationaler Leistungstests waren Anlass, in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland und mithin auch in Sachsen-Anhalt neu über das im Unterricht zu Erreichende nachzudenken. Mit den folgenden, in den letzten Jahren erarbeiteten Dokumenten wurde dieses „Output“ für verschiedene Schuljahrgänge beschrieben:

- niveaubestimmende Aufgaben Naturwissenschaften für den Schuljahrgang 6,
- niveaubestimmende Aufgaben Physik für den Schuljahrgang 8,
- Bildungsstandards für den Mittleren Bildungsabschluss Physik,
- Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (EPA).

Im Kapitel 1 dieser Broschüre sind Zusammenhänge zwischen diesen Dokumenten und ihre Beziehungen zu den Rahmenrichtlinien Physik dargestellt.

Im Kapitel 2 sind die Bildungsstandards für den Mittleren Bildungsabschluss entsprechend den Bedingungen am Gymnasium transformiert und mit zahlreichen Beispielen illustriert worden. Damit ist ein wichtiges Zwischenziel auf dem Weg zur zielgerichteten Abiturvorbereitung beschrieben und zugleich das Abschlussniveau für all diejenigen Schülerinnen und Schüler charakterisiert, die das Fach Physik nach dem Schuljahrgang 10 abwählen.

Im Kapitel 3 wird für einige Kompetenzen skizzenhaft beschrieben, wie sie zielgerichtet in der Qualifikationsphase entwickelt werden können. Das betrifft die Nutzung der Basis-konzepte Materie und System zur Ausbildung flexibler Wissensstrukturen, die Übertragung analoger mathematischer Modelle auf im Unterricht nicht behandelte Phänomene und die Ausprägung kommunikativer Kompetenzen.

Im Kapitel 4 werden die gesetzlichen Grundlagen für die Erstellung und Korrektur von Abituraufgaben im Zusammenhang dargestellt. An Beispielen wird insbesondere erläutert, wie die neuen EPA zu berücksichtigen sind.

Mit dieser Broschüre möchten wir der einzelnen Lehrkraft Orientierung und Unterstützung für ihren Unterricht, für die zielgerichtete Vorbereitung ihrer Schülerinnen und Schüler auf die Abiturprüfung und bei der Erstellung eigener Abituraufgaben geben. Darüber hinaus bietet das Dargestellte an vielen Stellen Gelegenheit zum Fachgespräch in der Fachschaft oder der regionalen Fortbildung.

Da in dieser Veröffentlichung vieles nur skizzenhaft beschrieben und anderes gar nicht ausgeführt werden konnte, sind wir für eine Rückmeldung bzgl. der Wünsche für weitere Veröffentlichungen dankbar.



Dr. Siegfried Eisenmann
Präsident

1 Beschreibung von Kompetenzen physikalischer Allgemeinbildung

In einer Zeit, in der einerseits Legionen von Wissenschaftlern und Ingenieuren das Wissen exponential anwachsen lassen und andererseits ein nicht geringer Teil des Wissens ständig veraltet, ist es notwendig zu prüfen, was in der für Schule begrenzt zur Verfügung stehenden Zeit vermittelt werden soll: Welche der traditionellen Inhalte und Qualifikationen werden Bestand haben und welche werden schon in kurzer Zeit für die Gestaltung der Zukunft verzichtbar sein (vgl. /1/, S. 59)?

Für den Teil der Bildung, der die Naturwissenschaften betrifft, wurde ein gesellschaftlicher Konsens hinsichtlich der strategischen Ausrichtung erreicht:

Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) ist die „Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“ (/2/, S. 60).

Dieses Verständnis von naturwissenschaftlicher Bildung – die Kompetenz, naturwissenschaftliche Kenntnisse und Methoden handelnd einzubringen – liegt auch der Konstruktion der internationalen Leistungstests zugrunde (vgl. z. B. /3/, S. 112). Dabei werden insbesondere bei den PISA-Tests drei Aspekte naturwissenschaftlicher Bildung unterschieden:

- Verstehen naturwissenschaftlicher Konzepte (z. B. Energie und ihre Erhaltung),
- Fähigkeit, typische naturwissenschaftliche (kognitive) Prozesse durchzuführen,
- Anwenden des konzeptuellen und prozeduralen Wissens situationsgerecht in relevanten Kontexten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen für Deutschland, dass auch die Schülerinnen und Schüler am Gymnasium trotz eines relativ umfangreichen naturwissenschaftlichen Unterrichts, gut ausgestatteter Sammlungen und einem hohen Anteil fachspezifisch ausgebildeter Lehrkräfte bzgl. der Anwendung naturwissenschaftlicher Kenntnisse sowie entsprechender Denk- und Arbeitsweisen hinter anderen Industrienationen zurückstehen. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass es erhebliche (und durch äußere Bedingungen nur zu einem Teil erklärable) Unterschiede im erreichten Kompetenzniveau zwischen den einzelnen Gymnasien auch innerhalb der einzelnen Bundesländer gibt (vgl. z. B. /4/, S. 117 ff.).

Diese Befunde waren sowohl für die Konferenz der Kultusminister (KMK) als auch für die einzelnen Bundesländer Anlass, genauer und verbindlicher zu beschreiben, was an naturwissenschaftlicher Bildung bezogen auf die Fächer Biologie, Chemie, Physik und Geographie

zu einem bestimmten Zeitpunkt der Schullaufbahn erreicht werden soll. In der folgenden Tabelle sind einige für Sachsen-Anhalt wesentliche Dokumente aufgeführt.

Schul-jahrgang	KMK	Sachsen-Anhalt	gültig ab
6		Niveaubestimmende Aufgaben	Entwurf
8		Niveaubestimmende Aufgaben	Entwurf
10	Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss		Schuljahr 2005/06
12	Einheitliche Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung		Prüfung 2008

Tab. 1: Output orientierende Dokumente für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Sachsen-Anhalt

Diese Dokumente beschreiben die angestrebte naturwissenschaftliche Bildung auf vier verschiedenen, aufeinander folgenden Stufen. Diese Beschreibung geht zwar von den gleichen, nämlich den oben beschriebenen, Intentionen naturwissenschaftlicher Bildung aus, sie erfolgt aber nicht immer exakt mit denselben Begriffen und in derselben Ordnung. Weil für die langfristige Gestaltung des Unterrichtsprozesses zur zielgerichteten Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen diesen Dokumenten hilfreich ist, werden diese am Beispiel der Physik dargestellt.

Die naturwissenschaftliche Bildung (im oben aufgeführten Sinne) wird in allen vier Dokumenten mithilfe eines dreidimensionalen **Kompetenzmodells** beschrieben, dessen einzelne Dimensionen im Folgenden erläutert werden:

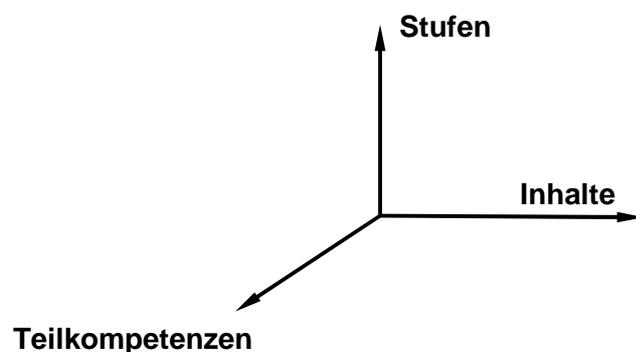


Abb. 1: Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Allgemeinbildung

(1) Teilkompetenzen

Die Kompetenz „naturwissenschaftliche Bildung“ erweist sich in der Realität als ein hoch komplexes System einzelner, wechselwirkender Komponenten. Zur Beschreibung ist deshalb eine „formale“ Aufgliederung in Kompetenzbereiche oder Teilkompetenzen günstig und für die zielgerichtete Entwicklung im Unterricht sowie für ihre Überprüfung in Tests auch notwendig.

In den **niveaubestimmenden Aufgaben für die Schuljahrgänge 6 und 8** werden die für den Physikunterricht wesentlichen Teilkompetenzen jeweils auf einem anzustrebenden Mindestniveau beschrieben. Dazu gehören das Berechnen einer physikalischen Größe, das Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten sowie das Anwenden mentaler Modelle zum Erklären eines physikalischen Phänomens (vgl. /5/, S. 81 ff. und /6/, S. 35 ff.).

In den **Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss** wird die physikalische Allgemeinbildung mit den folgenden vier Kompetenzbereichen auf einem mittleren Niveau beschrieben:

Fachwissen	physikalische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen
Erkenntnisgewinnung	experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
Bewerten	physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Diesen Kompetenzbereichen werden dann jeweils Teilkompetenzen als Standards zugeordnet (vgl. /7/, S. 11 ff.), die mit den in den niveaubestimmenden Aufgaben beschriebenen Teilkompetenzen kompatibel sind.

In den **Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (EPA)** wird die physikalische Allgemeinbildung auf Abiturniveau in die folgenden Kompetenzbereiche eingeteilt:

Fachkenntnisse	physikalisches Wissen erwerben, wiedergeben und nutzen
Fachmethoden	Erkenntnismethoden der Physik sowie Fachmethoden beschreiben und nutzen
Kommunikation	in Physik und über Physik kommunizieren
Reflexion	über die Bezüge der Physik reflektieren

Diese Kompetenzbereiche werden jeweils durch Teilkompetenzen untersetzt, die die entsprechenden Teilkompetenzen der Bildungsstandards aufgreifen und auf einem höheren Niveau beschreiben (vgl. /8/, S. 6 f.).

Der über die Jahre angestrebte Kompetenzzuwachs wird durch den Vergleich einzelner Teilkompetenzen in den vier Dokumenten deutlich, wie es im Folgenden am Beispiel des Planens, Durchführens und Auswertens von Experimenten dargestellt ist:

Schuljahrgang	Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten
6	<p>Die Schülerinnen und Schüler können für einfache, überschaubare Probleme Vermutungen aufstellen und experimentell prüfbare Folgerungen ableiten. Sie benötigen aber in der Regel eine detaillierte Arbeitsanleitung (mit einzelnen Arbeitsaufträgen, Vorgaben zu den Geräten, der Experimentieranordnung und der Form der Ergebnisdarstellung). Dabei setzen sie die Hilfsmittel und Geräte (Lineal, Lupe, Messzylinder, Mikroskop, Thermometer, Uhr, Waage) sachgemäß ein. In der von der Lehrkraft festgelegten Sozialform legen sie die Arbeitsteilung selbstständig fest.</p> <p>Die Experimentiererergebnisse können sie in einer sprachlich angemessenen Form und (wenn gefordert, auch) unter Einbeziehung von Tabellen, Zeichnungen und Diagrammen darstellen.</p>
8	<p>Die Schülerinnen und Schüler können für einfache, überschaubare Probleme Vermutungen aufstellen und experimentell prüfbare Folgerungen ableiten. Mit Hilfen können sie die Größen bestimmen, die bei der Untersuchung variiert und die konstant gehalten werden müssen. Sie benötigen in der Regel eine Arbeitsanleitung (einzelne Arbeitsaufträge, Skizze für nicht elektrische Experimente, Form der Ergebnisdarstellung). Die Schülerinnen und Schüler können einfache elektrische Schaltungen nach Schaltplan aufbauen.</p> <p>Beim Experimentieren setzen sie die Hilfsmittel und Geräte (Lineal, Lupe, Messzylinder, Mikroskop, Thermometer, Uhr, Waage, Federkraftmesser, Strommessgerät, Spannungsmessgerät) sachgemäß ein. In der von der Lehrkraft festgelegten Sozialform legen sie die Arbeitsteilung selbstständig fest.</p> <p>Die Experimentiererergebnisse können sie in einer sprachlich angemessenen Form und (wenn gefordert, auch) unter Einbeziehung von Tabellen, Zeichnungen und Diagrammen darstellen. Sie erkennen Fehlerquellen, die die Genauigkeit des Messergebnisses beeinflussen.</p>
10	<p>Die Schülerinnen und Schüler stellen an einfachen Beispielen Hypothesen auf, planen einfache Experimente, führen sie durch, dokumentieren die Ergebnisse, werten die gewonnenen Daten (ggf. auch durch einfache Mathematisierung) aus und beurteilen die Gültigkeit der empirischen Ergebnisse sowie deren Verallgemeinerung.</p>
12	<p>Die Prüflinge haben eigene Erfahrungen mit Methoden des Experimentierens (Planung, Durchführung, Dokumentation, Auswertung, Fehlerbetrachtung, Bewertung, moderne Messmethoden).</p>

Tab. 2: Beschreibung der Teilkompetenz „Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten“ in verschiedenen Output orientierenden Dokumenten

Damit bieten die vier Dokumente in ihrer Gesamtheit eine genauere Orientierung als die geltenden Rahmenrichtlinien für das in den einzelnen didaktischen Einheiten angestrebte Kompetenzniveau bzgl. der verschiedenen Teilkompetenzen. Dies ermöglicht eine langfristige, zielgerichtete Entwicklung und Überprüfung einzelner Teilkompetenzen bis zum Abiturniveau im Unterricht.

(2) Stufen

Die Kompetenz „physikalische Allgemeinbildung“ als Ganzes erfährt innerhalb des Physiklehrgangs einen Zuwachs. Das gilt auch für die Teilkompetenzen der einzelnen Kompetenzbereiche, wenn auch nicht für jede Teilkompetenz in gleichem Maße. Dieser Zuwachs wurde am Beispiel der Teilkompetenz „Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten“ – sozusagen als zeitlicher Längsschnitt durch die Schuljahrgänge – mit der Tabelle 2 beschrieben.

Da sich nicht bei allen Schülerinnen und Schülern die Kompetenz „physikalische Allgemeinbildung“ als Ganzes in ihren Teilen gleichartig entwickelt, ist zur Beschreibung der unterschiedlichen Ausprägung der Kompetenz zu einem Zeitpunkt (z. B. am Ende des 8. Schuljahrganges) ein Querschnitt durch die jeweilige Population notwendig. Diese Beschreibung erfolgt in den einzelnen Dokumenten recht unterschiedlich.

In der Physikdidaktik fehlen bisher theoretisch begründete Aussagen zu den Stufen der Kompetenzausprägung „physikalische Allgemeinbildung“ (vgl. z. B. /9/, S. 103). Deshalb werden diese Kompetenzstufen durch empirische Untersuchungen, z. B. über die Lösewahrscheinlichkeit von Aufgaben oder Expertenbefragung gewonnen.

In den **niveaubestimmenden Aufgaben für die Schuljahrgänge 6 und 8** werden zur Beschreibung des Querschnitts durch die jeweilige Schülerpopulation drei Niveaustufen indirekt mithilfe von Aufgaben beschrieben. Dazu werden folgende Kriterien für den Schwierigkeitsgrad (das Niveau) von Aufgaben zugrunde gelegt:

- die Kompliziertheit des Gegenstandes, der mit der Aufgabe zu bearbeiten ist,
- die Komplexität der Handlung, die die Aufgabenstellung verlangt,
- das Maß an Hilfen, welche mit der Aufgabenstellung angeboten werden,
- der Bekanntheitsgrad dieser Art der Aufgabe.

Diese Kriterien bestimmen in ihrer Gesamtheit darüber, ob

- eine Aufgabe „einfach“ ist.

Zu ihrer Bearbeitung sind nur gering ausgeprägte Kompetenzen notwendig. Deshalb wird dieser Aufgabe das Niveau I (N I) zugeordnet.

- eine Aufgabe ein „mittleres“ Anspruchsniveau hat.

Zu ihrer Bearbeitung sind gut ausgeprägte Kompetenzen erforderlich, die aber in der Regel nur einen Kompetenzbereich betreffen. Deshalb wird einer solchen Aufgabe das Niveau II (N II) zugeordnet.

- eine Aufgabe „schwierig“ ist.

Zur erfolgreichen Bearbeitung einer solchen Aufgabe sind sehr gut ausgeprägte Kompetenzen in mehreren Kompetenzbereichen notwendig. Deshalb wird dieser Aufgabe das Niveau III (N III) zugeordnet.

Damit wird verständlich, dass Aufgaben auf dem Niveau I ein Kompetenzniveau charakterisieren, das bei einem guten Unterricht unter optimalen Bedingungen von fast allen Schülerinnen und Schülern eines Jahrgangs erreicht werden sollte. Aufgaben auf dem Niveau II sollten ohne Hilfe von fast allen Schülerinnen und Schülern des Gymnasiums bearbeitet werden können. Das heißt nicht, dass alle Schülerinnen und Schüler diese Bearbeitung in der gleichen Qualität vollziehen können.

Auch in den **Standards für den Mittleren Schulabschluss** erfolgt die Beschreibung verschiedener Niveaustufen über Aufgaben. Die einzelnen Stufen werden in Anlehnung an den Sprachgebrauch der Einheitlichen Prüfungsanforderungen (EPA) als Anforderungsbereiche (AFB) bezeichnet, die auf allgemeiner Ebene mithilfe einer Matrix erläutert werden. Diese ist verkürzt wiedergegeben (vgl. /7/, S. 13).

		Anforderungsbereich		
		I	II	III
Kompetenzbereich	Fachwissen	Wissen wiedergeben	Wissen anwenden	Wissen transferieren und verknüpfen
	Erkenntnisgewinnung	Fachmethoden beschreiben	Fachmethoden nutzen	Fachmethoden problembezogen auswählen und anwenden
	Kommunikation	mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten	geeignete Darstellungsformen nutzen	Darstellungsformen selbstständig auswählen und nutzen
	Bewertung	vorgegebene Bewertung nachvollziehen	vorgegebene Bewertung beurteilen und kommentieren	eigene Bewertung vornehmen

Tab. 3: Charakteristische Kriterien zur Einordnung von Aufgaben in Anforderungsbereiche

Hier, aber insbesondere an den Untersetzungen in der Originaltabelle wird deutlich, dass eine jeweils höhere Stufe durch eine Zunahme an Selbstständigkeit und Komplexität der Handlung charakterisiert wird.

In den **Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (EPA)** erfolgt die Kennzeichnung der Kompetenzniveaus in Bezug auf Aufgaben mithilfe einer detaillierten

Beschreibung fachspezifischer Anforderungsbereiche für jeden einzelnen Kompetenzbereich, die auch verkürzt wiedergegeben wird (vgl. /8/, S. 13 bis 16):

- Anforderungsbereich I

Im Anforderungsbereich I beschränken sich die Aufgabenstellungen auf die Reproduktion und die Anwendung einfacher Sachverhalte und Fachmethoden, das Darstellen von Sachverhalten in vorgegebener Form sowie auf die Darstellung einfacher Bezüge.

- Anforderungsbereich II

Im Anforderungsbereich II verlangen die Aufgabenstellungen die Reorganisation und das Übertragen komplexerer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Anwendung von Kommunikationsformen, die Wiedergabe von Bewertungsansätzen sowie das Herstellen einfacher Bezüge.

- Anforderungsbereich III

Im Anforderungsbereich III verlangen die Aufgabenstellungen das problembezogene Anwenden und Übertragen komplexer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Auswahl von Kommunikationsformen, das Herstellen von Bezügen und das Bewerten von Sachverhalten.

In allen Dokumenten wird dabei von Folgendem ausgegangen: Wenn die Schülerinnen und Schüler Aufgaben auf einem bestimmten Niveau erfolgreich bearbeiten können, dann ist die dazu notwendige Teilkompetenz mindestens auf der entsprechenden Stufe ausgeprägt.

(3) Inhalte

Die Kompetenz „physikalische Allgemeinbildung“ zeigt sich nicht nur in der Beherrschung fachspezifischer Denk- und Arbeitsweisen, sondern auch durch die flexible Anwendung physikalischen Wissens in unterschiedlichen Kontexten. Dieses physikalische Wissen für die physikalische Allgemeinbildung auf seine grundlegenden, strukturierenden Elemente festzulegen, ist eine besondere Aufgabe. Hierfür wurde bisher kein allgemein anerkannter Kanon gefunden.

Für die Erarbeitung der **niveaubestimmenden Aufgaben für die Schuljahrgänge 6 und 8** waren die Inhalte durch die gültigen Rahmenrichtlinien festgelegt und wurden als gegeben betrachtet. Die für die einzelnen Aufgaben ausgewählten Inhalte sind deshalb nicht bedeutsamer als Inhalte, die bei den Aufgaben keine Berücksichtigung gefunden haben.

In den **Standards für den Mittleren Schulabschluss** wurde bzgl. der Inhalte didaktisches Neuland betreten. Die Mitglieder der Kommission nahmen die vielfältigen Studien zum Physikunterricht ernst (vgl. z. B. /10/), in denen u. a. festgestellt wird, dass der bisherige Unterricht im Allgemeinen

- sehr viele einzelne Detailkenntnisse vermittelt, die aber schon nach kurzer Zeit in Vergessenheit geraten,
- Vernetzungen zwischen den einzelnen traditionellen Stoffgebieten kaum herstellt,
- Analogien zwischen Phänomenen der Mechanik, Thermodynamik und Elektrodynamik selten thematisiert,
- die Anwendung der Kenntnisse in verschiedenen Kontexten (aus Zeitmangel) vernachlässigt.

Deshalb entwickelten sie ein vernetztes Wissenssystem, welches sich um folgende vier Basiskonzepte rankt (vgl. /7/, S. 8 f.):

- Materie,
- Wechselwirkung,
- System,
- Energie.

Im Physiklehrgang, so der Grundgedanke, sind den Schülerinnen und Schülern die in den Basiskonzepten dargestellten Verallgemeinerungen an einzelnen Beispielen zu veranschaulichen, herauszuarbeiten und auf andere Beispiele zu transferieren. So bieten sie ein (Minimal-)Gerüst des physikalischen Wissens, dass zur Bewältigung von Anforderungen auch nach der Schulzeit dauerhaft und flexibel anwendbar zur Verfügung steht.

Diese Vernetzungen sind, bis auf das Basiskonzept Energie, zurzeit nicht explizit in den Rahmenrichtlinien des Landes Sachsen-Anhalt angelegt. Wie das dennoch im Unterricht organisiert werden kann, wird im Abschnitt 3.1 am Beispiel der Basiskonzepte Materie und System dargestellt.

In den **Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (EPA)** werden die Inhalte eingeteilt in

- grundlegende fachliche Inhalte aus den Sachgebieten Felder, Wellen, Quanten und Materie und
- weitere Sachgebiete wie Astrophysik, Chaos, Dynamik, Elektronik, Festkörperphysik, Relativitätstheorie und Thermodynamik (vgl. /8/, S. 8).

Wobei den grundlegenden fachlichen Inhalten in der Abiturprüfung eine besondere Bedeutung zukommt. Dazu findet man Genaueres im Abschnitt 4.2.3.

Mit dieser Einteilung bleibt die EPA in weiten Teilen bei der herkömmlichen Gliederung der Inhalte in Anlehnung an die Fachwissenschaft. Außerdem werden zwei traditionelle Sachgebiete der Rahmenrichtlinien Sachsen-Anhalts (Mechanik und Thermodynamik), die bisher eine solide physikalische Allgemeinbildung der Abiturienten als Voraussetzung für naturwissenschaftliche und technische Studien sicherten, nicht bei den grundlegenden fachlichen Inhalten eingeordnet.

2 Beschreibung des Kompetenzniveaus zu Beginn der Qualifikationsphase

Um den Kompetenzerwerb in der Qualifikationsphase der gymnasialen Oberstufe erfolgreich gestalten zu können, ist es notwendig, dass die Schülerinnen und Schüler bereits zu Beginn dieser Phase bestimmte fachliche Anforderungen bewältigen können. Eine mögliche Beschreibung dieses Niveaus wird im Folgenden durch Teilkompetenzen und durch erläuternde Beispiele, die sich in der Regel nur auf eine Teilkompetenz beziehen, vorgenommen. Die Kompetenzbeschreibungen wurden abgeleitet von den KMK-Standards für den Mittleren Schulabschluss (vgl. /7/), den gültigen Rahmenrichtlinien Physik für das Gymnasium in Sachsen-Anhalt (vgl. /11/) und den niveaubestimmenden Aufgaben für die Schuljahrgänge 6 und 8 (vgl. /5/ und /6/).

Die Kompetenzbeschreibungen sowie die zugehörigen Beispiele sollen

- den Lehrkräften bei der Diagnose des gegenwärtigen Leistungsstandes und der Gestaltung differenzierter Lernarrangements sowie individueller Lernberatung Unterstützung geben,
- auch den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, ihren jeweiligen Leistungsstand einzuschätzen.

2.1 Kompetenzbereich Fachwissen

Physikalische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten und Gesetzmäßigkeiten kennen und souverän damit umgehen

Die Schülerinnen und Schüler

- stellen ihr Wissen über physikalische Grundprinzipien (z. B. Erhaltung der Masse, der Ladung und der Energie, Relativität der Bewegung), physikalische Größen (z. B. Messvorschrift, skalarer bzw. vektorieller Charakter), Gesetze einschließlich ihrer Gültigkeitsbedingungen und Modelle dar,
- erklären Phänomene mithilfe physikalischen Wissens,
- wenden ihr Wissen in verschiedenen Kontexten aus Natur und Technik an,
- wenden Analogien, Idealisierungen und Vereinfachungen zum Lösen von Aufgaben und Problemen an,
- berechnen Größen aus Formeln,
- ordnen Ergebnisse der Erkenntnisgewinnung (z. B. Texterschließung, Internetrecherche, experimentelle Befunde) in bekannte Wissensstrukturen ein.

Aufgaben

1 Bestimmung des Alters von Fundstücken

Das radioaktive Nuklid $^{14}_6\text{C}$ hat eine Halbwertszeit von 5730 Jahren. In lebenden organischen Substanzen ist dieses Nuklid aufgrund des Stoffwechsels in einer konstanten Konzentration vorhanden. Wird mit dem Tod des Organismus der Stoffwechsel beendet, so wird auch die Konzentration an $^{14}_6\text{C}$ -Atomen ständig geringer. Daraus kann das Alter von archäologischen Funden ermittelt werden.

Berechnen Sie das Alter eines im Moor gefundenen Einbaumes, wenn sein Gehalt an $^{14}_6\text{C}$ -Atomen auf 36 % der ursprünglichen Konzentration abgeklungen ist.

2 Himmelsblau

Die uns umgebende Luft ist normalerweise durchsichtig und farblos. Das dahinter liegende Weltall ist schwarz. Trotzdem sehen wir an wolkenfreien Tagen einen blauen Himmel.

Erklären Sie dieses Phänomen.

3 Welleneigenschaften

Mit Wellen kann Energie über große Entfernungen transportiert werden.

Beschreiben Sie zwei Beispiele aus der Technik, bei denen diese Eigenschaft genutzt wird.

4 Modell Lichtstrahl

Beschreiben Sie das Modell Lichtstrahl.

Erläutern Sie an je einem Beispiel die Leistungsfähigkeit und Grenzen dieses Modells.

5 Die Tiefe des Brunnens

Die Tiefe eines Brunnens soll auf folgende Weise bestimmt werden: Ein Stein wird in den Brunnen fallen gelassen. Es wird die Zeit vom Loslassen bis zum Hören des Aufschlags auf dem Boden gemessen. Daraus kann dann die Tiefe berechnet werden.

Nennen Sie die Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten, die für diese Berechnung angenommen werden.

2.2 Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

Mit den Methoden der Naturwissenschaft Physik Erkenntnisse gewinnen

Die Schülerinnen und Schüler

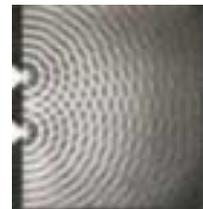
- beschreiben Phänomene mithilfe der Fachsprache und führen sie auf bekannte physikalische Zusammenhänge zurück,
- entwickeln aus Beobachtungen physikalische Fragestellungen an die Natur,
- prüfen und ordnen vorgegebene Daten und Informationen für die Bearbeitung von Aufgaben und Problemen,
- wenden Analogien und Modellvorstellungen zur Wissensgenerierung an,
- planen einfache Experimente auf der Kenntnis von Mess- und Experimentiergeräten, führen sie durch, dokumentieren die Ergebnisse mithilfe von Messreihen und Diagrammen, werten die gewonnenen Daten auch mithilfe einfacher Mathematisierungen aus, erkennen systematische und zufällige Fehler, beurteilen die Gültigkeit von Verallgemeinerungen empirischer Befunde.

Aufgaben

1 Wellenausbreitung

Wenn in einer flachen Wanne Wasserwellen erzeugt werden und dann auf einen Doppelspalt treffen, entsteht das nebenstehende Bild.

Beschreiben Sie Ihre Beobachtung.



2 Schalldämmung

Von der sehr lauten Musik mancher Autofahrer sind aus einer gewissen Entfernung auf der Straße oft nur die tiefen Töne wahrnehmbar.

Stellen Sie eine Vermutung zur Erklärung für dieses Phänomen auf.

Beschreiben Sie, wie Sie Ihre Vermutung experimentell überprüfen könnten.

3 Die blauen Berge

Weit entfernte Berge erscheinen heller und in einer bläulichen Farbe.

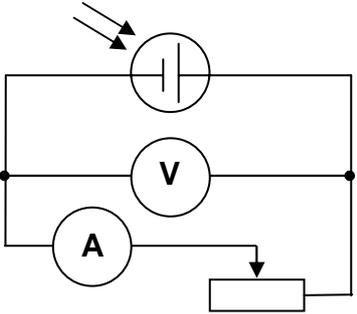
Stellen Sie eine Hypothese zur Erklärung dieses Phänomens auf und prüfen Sie diese mithilfe einer Internetrecherche.



4 Kennlinie einer Solarzelle

Nehmen Sie die I(U)-Kennlinie einer Solarzelle mithilfe einer Potentiometerschaltung auf. Bauen Sie dazu die im Schaltplan dargestellte Schaltung auf.

Verändern Sie die Größe des Potentiometerwiderstandes in 10 Schritten von 0 Ω auf 50 Ω und messen Sie jeweils die Stromstärke und die Spannung.



Stellen Sie die I(U)-Kennlinie dar.

Ermitteln Sie aus dieser Kennlinie, wie groß der Potentiometerwiderstand gewählt werden muss, damit die Solarzelle die maximale Spannung abgibt.

5 Magnetfeld eines geraden Leiters

In einem Experiment wurde untersucht, wie sich die Stärke des Magnetfeldes eines stromdurchflossenen geraden Leiters mit zunehmender Entfernung ändert. Dabei wurden folgende Messwerte ermittelt:

Entfernung s in cm	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Magnetfeld M in Skt.	790	320	160	110	81	64	53

Stellen Sie die Messwerte in einem M(s)-Diagramm dar.

Stellen Sie eine Vermutung für den Zusammenhang zwischen s und M auf und begründen Sie Ihre Vermutung.

6 Fische

Für verschiedene Fischarten soll untersucht werden, wie die Schwimmgeschwindigkeit von der Körpergröße abhängt. Dazu werden folgende Werte ermittelt:

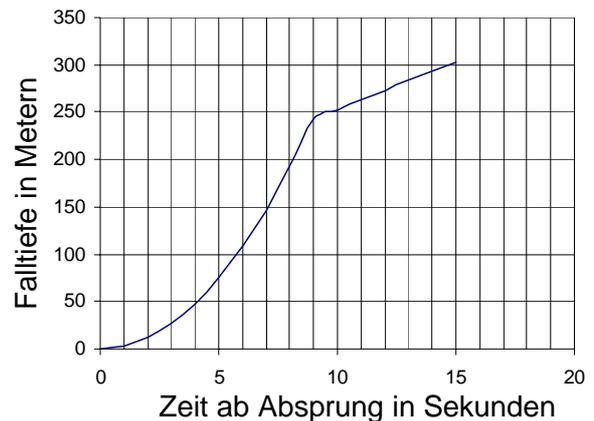
	Körperlänge ℓ in m	Geschwindigkeit v in $m \cdot s^{-1}$
Weißfisch	0,10	1,3
Hering	0,30	4,4
Forelle	0,40	6,9
Lachs	0,95	9,5
Delphin	2,20	10,3
Schwertfisch	3,50	13,9

Stellen Sie die Werte in einem $v(t)$ -Diagramm dar. Geben Sie eine Vermutung an, durch welche Funktionsklasse (lineare Funktion, Potenzfunktion, Wurzelfunktion, Exponentialfunktion, Logarithmusfunktion) der Zusammenhang am besten beschrieben werden kann. Begründen Sie Ihre Vermutung.

7 Bewegung eines Fallschirmspringers

Während des Sprungs eines Fallschirmspringers wurde nebenstehendes $s(t)$ -Diagramm aufgenommen.

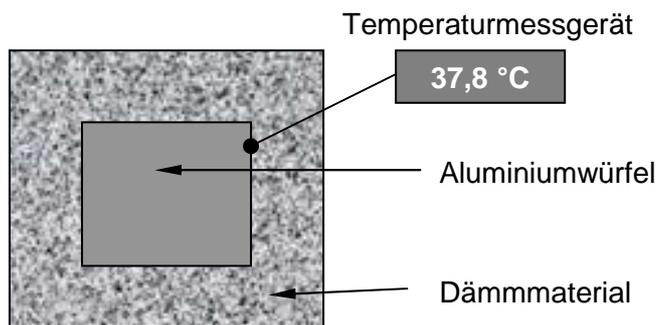
Ermitteln Sie die maximale Fallgeschwindigkeit, den Zeitpunkt, zu dem der Fallschirm geöffnet wurde und die Sinkgeschwindigkeit mit Schirm.



8 Wärmedämmung

Zur Untersuchung der Eignung von Kork und Bauschaum als Dämmmaterial wurde folgendes Experiment durchgeführt:

Ein Aluminiumwürfel wurde auf 60 °C erwärmt und dann ringsherum mit einer 3 cm dicken Korkschicht umgeben. Es wurde die Zeit bestimmt, in der sich der Aluminiumwürfel auf 30 °C abgekühlt hatte.



Dann wurde der Versuch in gleicher Weise mit einer Schicht aus Bauschaum wiederholt. Jetzt kühlte sich der Würfel etwas langsamer ab.

Kreuzen Sie an, welche der folgenden Aussagen aus diesem Experiment geschlossen werden dürfen. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

A	Bauschaum ist ein schlechterer Wärmeleiter als Kork.	
B	Organische Stoffe isolieren schlechter als anorganische Stoffe.	
C	Bauschaum ist der beste Wärmeisolierstoff.	
D	Es gibt gute und schlechte Wärmeisolatoren.	
E	Alle Stoffe leiten Wärme.	

2.3 Kompetenzbereich Kommunikation

Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen

Die Schülerinnen und Schüler

- tauschen sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen aus,
- unterscheiden zwischen Alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung von Phänomenen,
- recherchieren in unterschiedlichen Quellen,
- beschreiben den Aufbau technischer Geräte und deren Wirkungsweise,
- präsentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit adressatengerecht,
- diskutieren Arbeitsergebnisse und Sachverhalte unter physikalischen Gesichtspunkten.

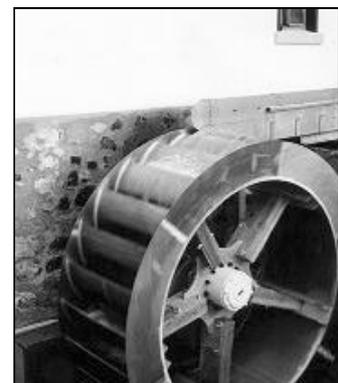
Aufgaben

1 Leitungsvorgänge

Gestalten Sie ein informatives Poster über elektrische Leitungsvorgänge in verschiedenen Medien und im Vakuum einschließlich bedeutsamer technischer Anwendungen. Dieses Poster ist zur Ausgestaltung des Physikraumes Ihrer Schule vorgesehen.

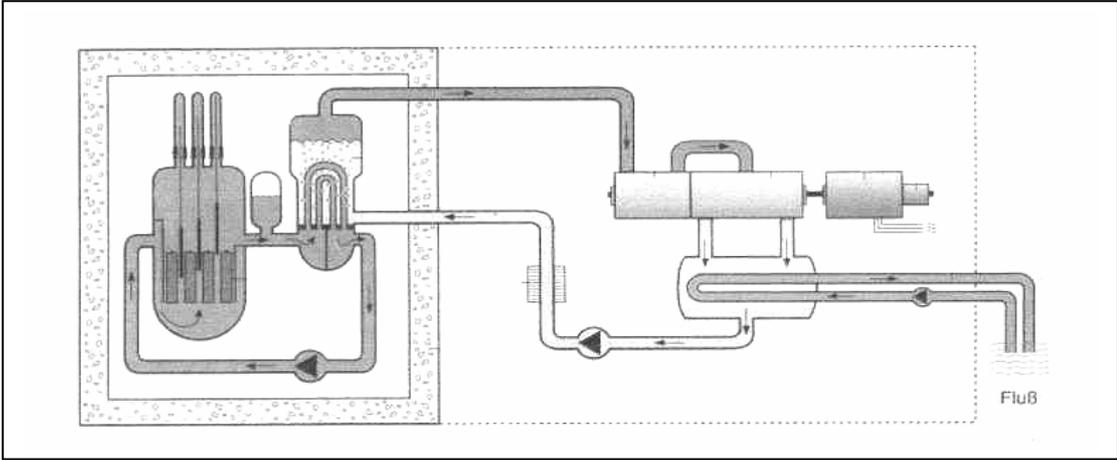
2 Wasserrad

Beschreiben Sie die Vorgänge am abgebildeten Wasserrad aus physikalischer Sicht.



3 Kernkraftwerk

Beschreiben Sie mithilfe der Abbildung den prinzipiellen Aufbau und die Wirkungsweise eines Kernkraftwerkes mit einem Druckwasserreaktor. Gehen Sie dabei auch auf bauliche Sicherheitsmaßnahmen ein.



4 Rutherford'scher Streuversuch

Ende des 19. Jahrhunderts schienen in der Physik alle wichtigen Gesetze gefunden zu sein. Aber dann wurden bis dahin unbekannte Strahlungen, die Röntgenstrahlen und die Radioaktivität, entdeckt. Insbesondere die Radioaktivität war für die Physiker der damaligen Zeit ein großer Schock, kann sie doch nur entstehen, wenn Atome nicht unteilbar sind, sondern zerfallen und sich in andere Atomarten umwandeln.

Damit hängt auch der Niedergang des damals recht zufrieden stellenden Atommodells von Thompson zusammen. Thompson hatte ein Atommodell vorgeschlagen, bei dem die gesamte Masse und die gesamte positive Ladung gleichmäßig über das ganze Atom verteilt waren, während die Elektronen im Atom wie Rosinen in einem Kuchen eingebettet waren. Die gegenseitige Abstoßung der Elektronen untereinander sorgte ebenfalls für ihre gleichmäßige Verteilung über das Atom. Die sich ergebende, enge Verknüpfung zwischen den positiven und negativen Ladungen war vernünftig. Die Ionisation konnte durch das Herauslösen einiger Elektronen aus dem „Kuchen“ erklärt werden, wonach ein massives, festes Atom mit einem Überschuss an positiver Ladung zurückbleibt.

1910 widerlegte Rutherford dieses Atommodell während einer Messung der Streuung von Alpha-Strahlen an extrem dünnen Metallfolien. Die eigentliche Messung wurde von Geiger und Mardsen, den Mitarbeitern von Rutherford, mit folgender Versuchsanordnung durchgeführt.

In einem Bleiblock befindet sich eine Quelle für Alpha-Teilchen. Die Teilchen treffen auf eine dünne Goldfolie (ca. 1000 Atomlagen dick). Rundherum steht ein Detektorschirm auf, um zu sehen, wohin die Alpha-Teilchen abgelenkt werden. Die Apparatur ist in einer evakuierten Kammer aufgestellt, um Zusammenstöße mit Molekülen der Luft zu verhindern. Im Originalversuch war es eine mit Zinksulfid beschichtete Platte, die beim Auftreffen eines Teilchens einen Lichtblitz aussendet (Fluoreszenzfilm).

Nach einiger Zeit zeigt sich, dass in direkter Linie zur Strahlenquelle ein etwas ausgefranst, aber dennoch runder Fleck zu erkennen ist. Er entspricht in etwa der Größe des Austrittslochs im Bleiblock. Ein Großteil der Partikel ändert also seine Flugbahn nicht oder nur sehr wenig. Einige Teilchen werden jedoch in Winkeln bis zu 90° abgelenkt, manche werden auch direkt zur Strahlenquelle reflektiert. Dabei fand Marsden heraus, dass der Anteil der reflektierten Teilchen proportional zur Dicke der Goldfolie wächst. Er kam zu dem Schluss, dass nur eines von 10^8 Partikeln einer Weitwinkelstreuung unterliegt. Dies war der erste experimentelle Beweis für eine Atomvorstellung im heutigen Sinne.

Um das Versuchsergebnis zu interpretieren und seine Bedeutung zu verstehen, muss man eine mikroskopische Sichtweise zurate ziehen. Wenn man annimmt, dass Atome kleine Kugeln sind, und man eine Folie herstellen könnte, die aus einer Schicht dieser Kugeln bestünde (also nur eine Atomlage dick wäre), so kann man folgendes Gedankenexperiment machen:

Welches Alpha-Teilchen reflektiert wird, unterliegt dem Zufall. Es geschieht jedoch aufgrund einer Kollision mit einem sehr dichten, positiv geladenen Teilchen. Da nur eins von 10^8 Teilchen dieser Kollision unterliegt, muss der Großteil eines Atoms leerer Raum sein. Der größte Teil der Masse von Atomen ist in einem sehr kleinen, positiv geladenen Kern konzentriert, dem Nukleus.

Doch wie groß ist dieser Ort? Wenn er halb so groß wäre wie das Atom, so würde jedes zweite Teilchen reflektiert, läge ein Verhältnis von 1 zu 10 vor, so wäre nur jedes 10. Teilchen betroffen. Da nur ein von 10^8 Teilchen reflektiert wurde, nahmen die Forscher an, dass ein Atom 10^8 mal größer ist als der Kern.

Hätte ein Atom die Größe der Erde, so müsste sein Kern so groß sein wie eine Kugel mit einem Radius von 6 m. Ein Atomkern ist außerordentlich dicht. Der Radius eines Protons (Wasserstoffkerns) beträgt ungefähr 10^{-15} m und seine Masse ist $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.

Rutherfords Atommodell, bei dem es einen kleinen, positiven Kern gibt, der von kreisenden Elektronen umgeben ist, bedeutete einen bemerkenswerten Fortschritt für

das Verständnis vom Aufbau der Atome. Es war die Grundlage aller weiteren Überlegungen, die in der Folgezeit angestellt worden sind.

- Fertigen Sie eine beschriftete Skizze zum prinzipiellen Aufbau des Rutherford'schen Streuversuchs an.
- Stellen Sie in einer Tabelle die Merkmale des alten (Thompson) und neuen (Rutherford) Atommodells gegenüber.

5 Anwendungen radioaktiver Nuklide

Stellen Sie Anwendungen radioaktiver Nuklide in der Technik für physikalische Laien anschaulich dar. Beschreiben Sie auch Bestrahlungs-, Durchstrahlungs- und Markierungsverfahren.

Nutzen Sie dazu das Internet und wissenschaftliche Zeitschriften.

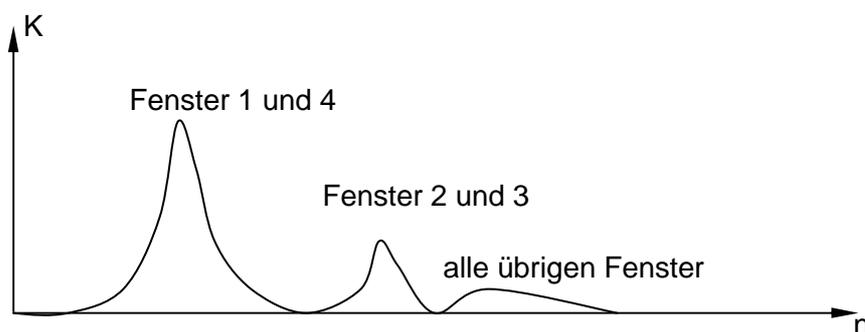
6 Der Superhebel

Als Archimedes mithilfe einer Vorrichtung aus Flaschenzügen und Hebeln allein ein Schiff zu Wasser gelassen hatte, äußerte er sich gegenüber der staunenden Menge: „Gib mir einen festen Punkt und ich bewege die Erde.“

Diskutieren Sie mit Ihren Mitschülerinnen und Mitschülern darüber, ob diese Aussage realisierbar wäre.

7 Die klirrende Busfensterscheibe

Als Fahrgast in Bussen bemerkt man, dass einige Busfensterscheiben bei bestimmten Fahrsituationen zu klirren anfangen. Zur Verbesserung des Fahrkomforts wird in einem Experiment der Zusammenhang der Stärke des Klirren K mit der Motordrehzahl n untersucht und folgendes Diagramm aufgenommen:



Beschreiben Sie den Diagrammverlauf so genau wie möglich.

2.4 Kompetenzbereich Bewertung

Physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Die Schülerinnen und Schüler

- zeigen an einfachen Beispielen die Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen bei inner- und außerfachlichen Kontexten auf,
- vergleichen und bewerten alternative technische Lösungen auch unter Berücksichtigung physikalischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte,
- nutzen physikalisches Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten, im Alltag und bei modernen Technologien,
- benennen Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen.

Aufgaben

1 Erzeugung von Tönen

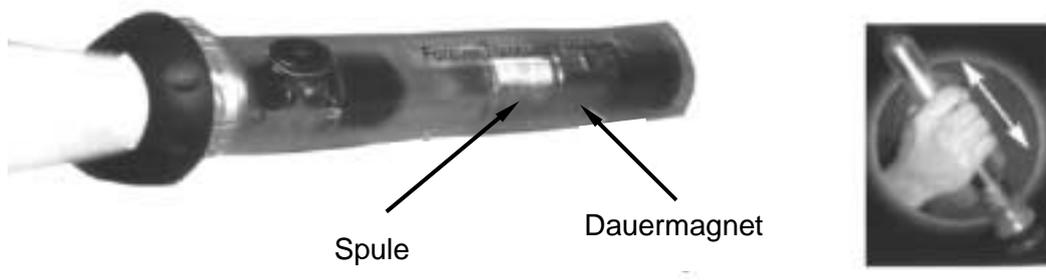
Erläutern Sie folgende Aussage:

Die Wissenschaft Physik kann zwar die Erzeugung und Ausbreitung einzelner Töne beschreiben, aber bei einem einfachen Kinderlied versagt sie.

2 Die Taschenlampe

In einem Katalog wird die abgebildete Taschenlampe mit dem Versprechen angepriesen: Immer einsatzbereit. Einfach nur kurz schütteln und schon hat man Dauerlicht.

Im Innern der Lampe sind ein Magnet und eine Spule zu erkennen.



Welcher dieser Bauteile sollte beweglich gestaltet werden? Begründen Sie Ihre Aussage.

3 **Energieversorgung**

Vergleichen Sie die Versorgung der Industrie und der Haushalte mit Elektroenergie durch Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen, aus Kernkraftwerken und Kraftwerken, die regenerative Energiearten nutzen. Berücksichtigen Sie bei Ihrem Vergleich folgende Aspekte: Versorgungssicherheit, Gestehungskosten, Umweltbelastung, Betriebssicherheit.

4 **Die Entdeckung elektromagnetischer Wellen durch Heinrich Hertz**

Beschreiben Sie, wie sich der Alltag der Menschen durch die Anwendung dieser Entdeckung verändert hat.

5 **Physik im Straßenverkehr**

Beschreiben Sie an je einem Beispiel, wie durch die Berücksichtigung physikalischer Erkenntnisse die aktive und passive Sicherheit von motorisierten Verkehrsteilnehmern erhöht werden kann.

6 **Der Energieerhaltungssatz**

Erläutern Sie an selbst gewählten Beispielen die Bedeutung des Energieerhaltungssatzes hinsichtlich

- der Verbindung der einzelnen Gebiete der Physik,
- der Gewinnung neuer Erkenntnisse in der Physik.

7 **Die Angst vor dem Vakuum**

Erläutern Sie, warum es in der Physikgeschichte recht intensive Auseinandersetzungen um die Existenz oder Nichtexistenz eines Vakuums gegeben hat. Gehen Sie dabei insbesondere auf das Fallen von Körpern und die Ausbreitung des Lichts ein.

8 **Messung der Lichtgeschwindigkeit**

Zur Bestimmung der Größe der Lichtgeschwindigkeit benutzte Olaf Roemer 1667 die natürlichen Unterbrechungen des Lichtstroms, die bei der Verfinsterung des innersten Jupitermondes Io entstehen. Als Messstrecke stand ihm der ganze Durchmesser der Erdbahn um die Sonne zur Verfügung.

Erläutern Sie die technischen Voraussetzungen und theoretischen Annahmen, die dieser Messung zugrunde liegen.

3 Kompetenzentwicklung in der Qualifikationsphase

In der Qualifikationsphase werden Kompetenzen in allen vier Kompetenzbereichen zielgerichtet auf das in den EPA beschriebene Abschlussniveau entwickelt. Allerdings kann auf dem in dieser Broschüre begrenzt zur Verfügung stehenden Raum nur auf wenige Kompetenzen skizzenhaft eingegangen werden.

3.1 Entwicklung eines strukturierten Basiswissens

Untersuchungen zeigen, dass Physikunterricht (u. a. bedingt durch eine starke Anlehnung in den Rahmenrichtlinien, in den Lehrbüchern und als Folge auch im Unterrichtsprozess an die Strukturierung der Fachwissenschaft) eine Vielzahl einzelner physikalischer Begriffe, Größen, Gesetze und Anwendung mit einem hohen technischen Aufwand fachlich systematisch vermittelt. Diese Vermittlung erfolgt aber oft so, dass sie bei den Schülerinnen und Schülern nicht zu einem strukturierten, flexibel anwendbaren Wissen führt. Sondern das Vermittelte existiert vielmehr als eine Anhäufung von isolierten Einzelinformationen, zwischen denen kaum eine Verbindung aufgebaut wurde und werden kann, insbesondere dann, wenn sie verschiedenen Teilgebieten der Physik entstammen. Auch die Übertragung auf Phänomene, die in anderen als aus dem Unterricht bekannten Kontexten auftreten, gelingt nur wenigen Schülerinnen und Schülern. Schließlich geraten diese Einzelinformationen auch recht schnell nach Beendigung der Schulzeit in Vergessenheit (vgl. z. B. /12/ und /13/).

Die Strukturen bzgl. des physikalischen Wissens sollten bei den Schülerinnen und Schülern so ausgebildet werden, dass sie die Einordnung neuen Wissens (Anschlussfähigkeit) und die Übertragung auf im Unterricht nicht behandelte Phänomene bzw. technische Anwendungen (Transfer und Problemlösen) ermöglichen. Die Ausbildung dieser Strukturen erfolgt nicht spontan, sondern muss im Unterricht nach den Grundprinzipien Ähnlichkeit, Häufigkeit und Wichtigkeit unterstützt werden (vgl. auch /14/, S. 37 f.).

Konstituierende Elemente dieser Struktur können die in den KMK-Bildungsstandards formulierten Basiskonzepte

- Materie,
- Wechselwirkung,
- System,
- Energie

sein (vgl. /7/, S. 8 f.).

Exemplarisch werden im Folgenden Anregungen zur Herausbildung von Wissensstrukturen um die Basiskonzepte „Materie“ und „System“ dargestellt.

3.1.1 Basiskonzept Materie

Viele Phänomene lassen sich erst dadurch erklären, dass in die verborgene Struktur der betrachteten Objekte vorgedrungen wird. Die Schülerinnen und Schüler müssen also bewusst einen Perspektivwechsel von der makroskopischen zur mikroskopischen Betrachtung vornehmen. Da Objekte dieser Größenordnungen den menschlichen Sinnen nicht direkt zugänglich sind, muss im Erkenntnisprozess von den realen Phänomenen zu einer Modellvorstellung (Teilchenmodell) gewechselt werden. Weil dieses Modell eine große Erklärungspotenz für sehr unterschiedliche Phänomene besitzt, aber nicht durch reale Erfahrungen erworben und in verschiedenen Kontexten angereichert werden kann, muss dies im Unterricht organisiert werden. In der Tabelle 4 sind Unterrichtsgegenstände aus der Sekundarstufe I aufgeführt, bei denen das Teilchenmodell genutzt werden kann.

Teilgebiet	Nutzung des Teilchenmodells zur
Mechanik	Erklärung von Adhäsion und Kohäsion
	Erklärung der elastischen Verformung (Hooke'sche Gesetz)
	Beschreibung der Schallausbreitung
	Erklärung unterschiedlicher Schallgeschwindigkeiten in Festkörpern und Gasen
Thermodynamik	Erklärung der Form flüssiger Körper
	Definition der Temperatur
	Erklärung der Reibungswärme
	Erklärung der Änderung von Aggregatzuständen
	Erklärung der Verdunstung
	Erklärung der Wärmeleitung
	Erklärung der Längenänderung bei Erwärmung
	Erklärung der Brown'schen Molekularbewegung

Tab. 4: Möglichkeiten der Nutzung des Teilchenmodells im Physikunterricht der Sekundarstufe I

Bei den nachstehend aufgeführten Beispielen werden die einzelnen Merkmale des Teilchenmodells in unterschiedlicher Ausprägung oder zum Teil gar nicht verwendet.

Merkmal	wird genutzt	wird nicht genutzt
Teilchen bewegen sich unterschiedlich schnell	Erklärung der Verdunstung	Erklärung der Reibungswärme
Teilchen bewegen sich in unterschiedliche Richtungen	Brown'sche Molekularbewegung	Erklärung der Schallausbreitung
zwischen den Teilchen wirken Kräfte	Erklärung der elastischen Verformung	Erklärung der Verdunstung

Tab. 5: Ausgewählte Merkmale des Teilchenmodells

Die wiederholte bewusste Anwendung dieses Modells im Unterricht in verschiedenen Kontexten kann zur Ausbildung folgender (vereinfachter) Wissensstruktur bei den Schülerinnen und Schülern führen:

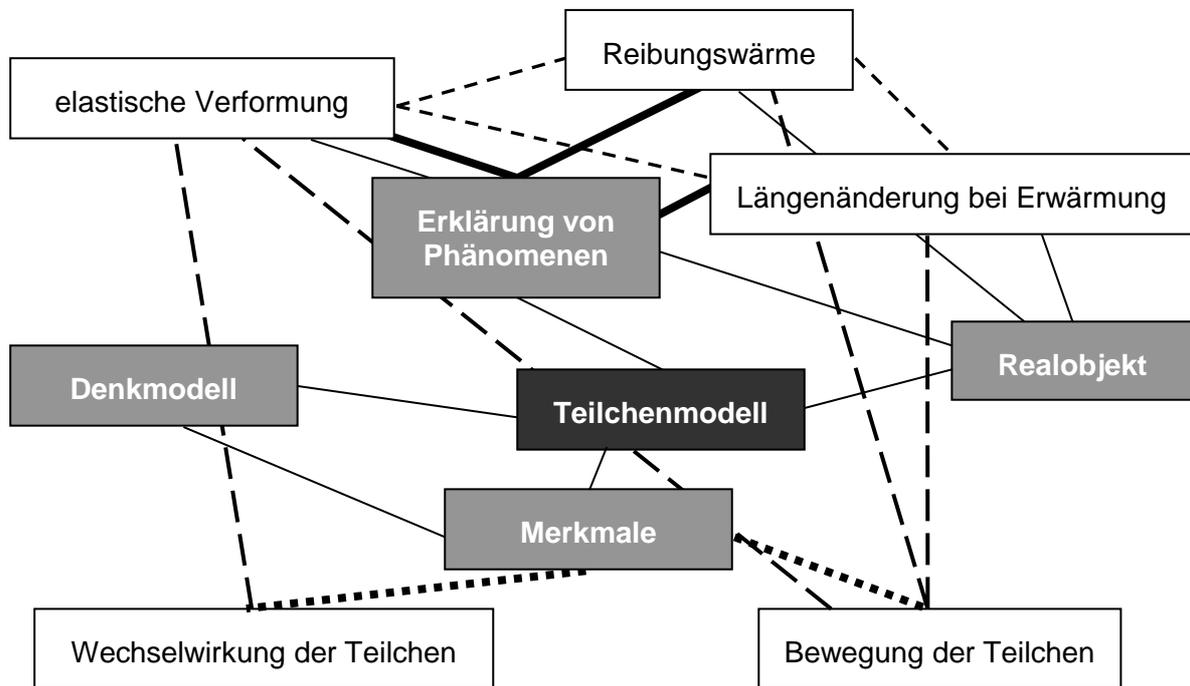


Abb. 2: Elemente und Beziehungen der Wissensstruktur zum Basiskonzept Materie (Ausschnitt)

Die Herausbildung derartiger Wissensstrukturen kann im Unterricht auch dadurch unterstützt werden, indem von den Schülerinnen und Schülern

- einzelne Zusammenhänge, Analogien, Ähnlichkeiten, z. B. mit Mind-Maps, dargestellt und erläutert werden,
- Fachaufsätze (Themaufgabe) zu dieser Thematik verfasst werden.

Anschlussfähig wird dieses Modell und damit auch diese Wissensstruktur, wenn im Unterricht wiederholt die Potenzen und Grenzen dieses Modells (z. B. zur Erklärung der Entstehung von Licht oder der Ionisation von Gasen) deutlich gemacht werden und insbesondere klar wird, in welchen Merkmalen das Modell mit der Realität übereinstimmt und welche Merkmale idealisiert oder gar nicht abgebildet werden.

In diese Wissensstruktur kann dann das Modell des idealen Gases und die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung „problemlos“ eingefügt werden. Dieses Einfügen erzeugt dann auch Einsichten in die neue Qualität des Modells „Ideales Gas“ gegenüber dem bisherigen Teilchenmodell und seine Bedeutung in der kinetisch-statistischen Thermodynamik.

Eine zweite Wissensstruktur, die mit der eben beschriebenen auf vielfältige Weise verknüpft ist, kann aufgebaut werden, wenn die Strukturierung der Materie für die Schülerinnen und Schüler bewusst schrittweise verfeinert wird. Das ist im Zusammenhang mit der Betrachtung

verschiedener physikalischer Phänomene sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Kursstufe möglich.

Struktur	Grundlage für Erklärung	RRL-Bezug	
		S I	S II
Moleküle, Atome (Teilchenmodell)	Aggregatzustände	6 7/8	11/12
	Reibungswärme	6 7/8 9/10	11/12
	Wärmeleitung	6 7/8	-
	Volumenänderung bei Erwärmung	7/8	-
	Gasgesetze	7/8	11/12
freie Elektronen Ionen	Leitungsvorgänge in Metallen, wässrigen Lösungen, Halbleitern, Gasen, Vakuum	7/8 9/10	-
Atomhülle und Atom- kern	Rutherford'scher Streuversuch	9/10	11/12
Aufbau der Atomhülle	Spektrallinien Entstehung von Licht, Laser	9/10	11/12
Aufbau Atomkern	verschiedene Isotope eines Elements	9/10	-
	Massenspektrograph	-	11/12
	Kernzerfall, Kernspaltung, Kernfusion	9/10	nur WPK

Tab. 6: Ebenen der Strukturierung der Materie

Folgende Aufgaben sollen Anregung geben, die beschriebenen Wissensstrukturen im Unterricht selbst zum Gegenstand zu machen.

Aufgaben

1 Horror vacui

- Erläutern Sie, warum die Anerkennung der Existenz kleinster Teilchen (Atome) auch die Anerkennung des Vakuums zur Folge hat.
- Stellen Sie die Argumente Aristoteles gegen die Existenz des Vakuums dar.
- Beschreiben Sie experimentelle Befunde, die die angebliche Angst der Natur vor dem Vakuum (horror vacui) belegen. Erklären Sie diese Befunde.
- Erläutern Sie Gründe für das Aufkommen der Ätherhypothese und wie diese Hypothese widerlegt wurde.

2 Atomodelle

Stellen Sie am Beispiel der Ihnen bekannten Atommodelle dar, welche Rolle Denkmodelle innerhalb der Entwicklung der Wissenschaft Physik spielen.

3 Was ist Wärme? (entnommen und angepasst aus /3/)

Ende des 18. Jahrhunderts stritten die Naturwissenschaftler über die Natur der Wärme.

Es bildeten sich zwei gegensätzliche Hypothesen heraus:

- (1) Die einen – mit dem englischen Physiker Joseph Black an der Spitze – behaupteten, dass Wärme ein besonderer Stoff sei, das so genannte „Caloricum“. Wenn ein Körper erwärmt wird, dann dringt dieser Stoff in den Körper ein. Er wird von diesem angezogen. Da die Wärmeteilchen sich aber gegenseitig abstoßen, verlassen sie nacheinander wieder den Körper – er kühlt sich ab.
- (2) Die anderen – unter der Führung von Graf Benjamin Rumford – lehnten diese Vorstellung ab. Sie behaupteten, Wärme hat etwas mit der Bewegung der kleinsten Teilchen zu tun, aus denen die Körper aufgebaut seien. Bewegen diese sich schnell, so hat der Körper eine hohe Temperatur. Da diese Teilchen ein Teil ihrer Bewegungsenergie an die Teilchen der Umgebung abgeben, verringert sich die Temperatur des Körpers – er kühlt sich ab.
 - a) Welche Eigenschaften müsste der Wärmestoff „Caloricum“ haben? Beschreiben Sie Experimente, mit denen Ihre Vermutungen überprüft werden können.
 - b) Versuchen Sie folgende Phänomene mit beiden Hypothesen zu erklären:
 - Verdunsten,
 - Reibung,
 - Längenausdehnung bei Erwärmung,
 - Wärmeleitung.
 - c) Die zweite Vorstellung geht von der Existenz kleinster Teilchen aus.

Geben Sie experimentelle Belege für diese Annahme an.

4 Nano-Welten

Gestalten Sie ein Poster, das systematisch und anschaulich über Objekte verschiedener Größenordnungen (von Objekten im Zentimeterbereich bis zu Objekten im Nanometerbereich) und ausgewählte technische Anwendungen informiert.

Recherchieren Sie dazu im Internet und dokumentieren Sie Ihre Vorgehensweise und Rechercheergebnisse.

3.1.2 Basiskonzept System

Physikalische Betrachtungen erfordern, dass aus der komplexen Realität ein ganz bestimmter Teil herausgegriffen und isoliert untersucht wird. Dieser jeweilige Teil wird als physikalisches System bezeichnet. Die Vorgänge in diesem System – insbesondere die Wechselwirkungen seiner Elemente – und an seinen Grenzen werden aus physikalischer Sicht (d. h. auch immer idealisiert und auf wenige Parameter beschränkt) beschrieben. Dabei zeigen sehr verschiedene Ausschnitte aus der Realität ein recht ähnliches Systemverhalten. So zum Beispiel kann die Wärme, die durch eine Außenwand eines Hauses strömt, mathematisch genauso beschrieben werden, wie die strömende Ladung beim Entladen eines Kondensators. Bei Kenntnis dieser Analogien kann das Wissen über das Verhalten eines physikalischen Systems relativ einfach auf das Verhalten anderer Systeme übertragen werden.

Der Physikunterricht thematisiert zwar den Systemgedanken, insbesondere im Zusammenhang mit dem Energieerhaltungssatz, aber das Denken in Analogien wird den Schülerinnen und Schülern in der Regel nicht bewusst gemacht.

Bei der Behandlung eines bestimmten physikalischen Systems sollten Ähnlichkeiten im Verhalten dieses Systems mit dem Verhalten anderer Systeme herausgearbeitet werden. Die folgende Übersicht zeigt Beispiele für solche Betrachtungen.

Analogie zwischen den Systemen	Analoge Systeme
Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung in offenen Systemen	Erde
	Kernkraftwerk
	Verbrennungsmotor
	Lebewesen
Erhaltung der Energie in abgeschlossenen Systemen	Fadenpendel
	Schwingkreis
	Wurfbewegungen
Erhaltung des Impulses in abgeschlossenen Systemen	mechanische Stoßprozesse
	äußerer lichtelektrischer Effekt
Zunahme der Entropie in abgeschlossenen Systemen	thermischer Kreisprozess (einschließlich Umgebung)
	Bewegung eines Körpers mit Reibung
Einstellung eines Gleichgewichts und damit Beendigung der jeweiligen physikalischen Vorgänge	kommunizierende Röhren
	Körper mit gleicher Temperatur
	Leiter auf gleichem Potenzial
	Gebiete gleichen Luftdrucks

Analogie zwischen den Systemen	Analoge Systeme
Ausgleichsströmung bei Störung des Gleichgewichts	elektrischer Stromkreis
	Temperaturströmung zwischen Körpern unterschiedlicher Temperatur
	aufsteigende Luftmassen über einem Heizkörper
Abnahme der Ausgleichsströmung bei Annäherung an das Gleichgewicht	Entladestrom beim Kondensator
	Ausfluss von Wasser aus einem Hochbehälter

Tab. 7: Analoge Merkmale in verschiedenen Systemen

Im Physikunterricht ist es also möglich, die im Folgenden skizzierte Wissensstruktur langfristig aufzubauen:

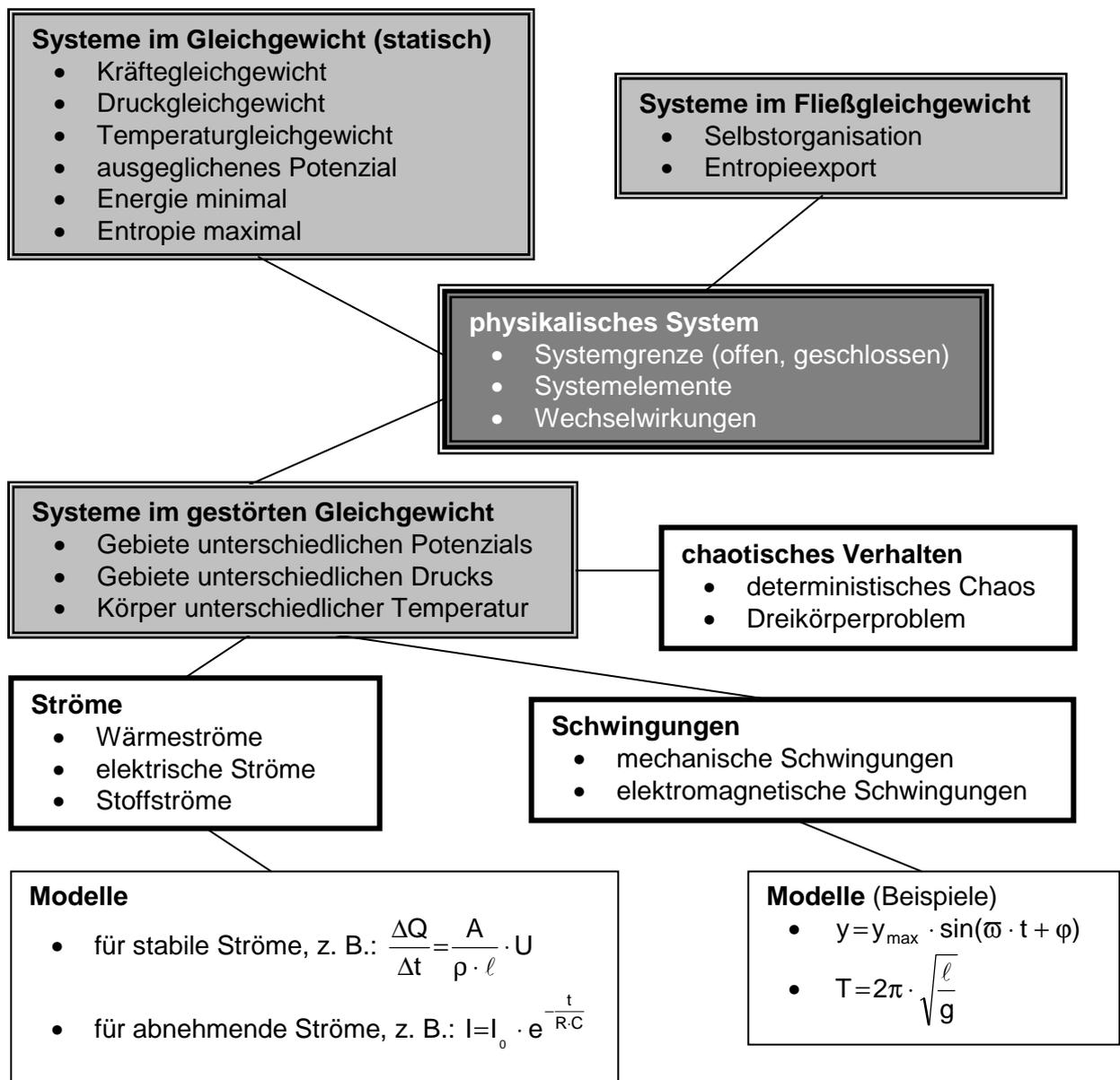


Abb. 3: Elemente und Beziehungen der Wissensstruktur zum Basiskonzept Systeme (Ausschnitt)

Wenn im Unterricht auf Analogien zwischen Systemen eingegangen wird, deren Betrachtungen in unterschiedliche Gebiete eingeordnet werden, können sich Wissensstrukturen entwickeln, die einen Transfer auf im Unterricht nicht behandelte Inhaltsbereiche ermöglichen. Unterstützt werden kann dieser Prozess durch Einbeziehung von Aufgaben folgender Art:

Aufgaben

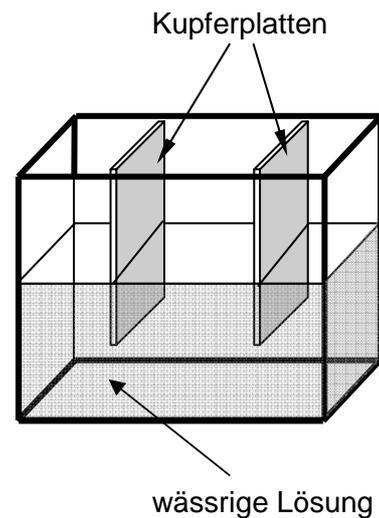
1 Elektrischer Strom in wässrigen Lösungen

Es soll untersucht werden, ob das Widerstandsgesetz auch für wässrige Lösungen zutrifft. Dazu wird u. a. die abgebildete Experimentieranordnung benutzt.

Dabei seien

- b die Breite der Platten
- h die Eintauchtiefe der Platten
- a der Abstand der Platten

- a) Stellen Sie eine Hypothese (Gleichung) durch Analogiebildung auf.
- b) Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen dem spezifischen Widerstand eines Leiters und der Konzentration der wässrigen Lösung.
- c) Beschreiben Sie das experimentelle Vorgehen. Vervollständigen Sie dazu die Experimentieranordnung.
- d) Überprüfen Sie die Hypothese experimentell.



BEISPIELE

2 Wärmeströmung durch eine Wand

Für den elektrischen Strom in einem Leiter gilt bei konstanter Spannung das folgende Gesetz:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{mit} \quad R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

Dabei kann der Strom auch als $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ und der spezifische Widerstand als $\rho = \frac{1}{\sigma}$

(σ spezifische Leitfähigkeit) geschrieben werden.

- a) Übertragen Sie durch Analogiebetrachtungen dieses Gesetz auf die Wärmeströmung durch eine Wand, die nur aus einem Material bestehen soll. Erläutern Sie, welche Größen sich jeweils entsprechen.

- b) Beschreiben Sie, wie die von Ihnen in Aufgabe a aufgestellte Hypothese experimentell geprüft werden könnte.
- c) Übertragen Sie eine weitere Gesetzmäßigkeit für elektrische Stromkreise auf die Wärmeströmung durch eine Wand, die aus mehreren Schichten (z. B. Putz, Dämmmaterial, Ziegel, Putz) besteht.

3 Der Treibhauseffekt

Der Mechanismus der Erwärmung der Erdatmosphäre wird oft als Treibhauseffekt bezeichnet.

Veranschaulichen Sie die Analogie zwischen den Vorgängen in einem Treibhaus und den Vorgängen in der Erdatmosphäre. Gehen Sie dabei auch auf die Grenzen dieser Analogie ein.

4 Modell Stromkreis

Für die Beschreibung der Vorgänge im Stromkreis wird in der Sekundarstufe I mitunter als Analogie der Wasserkreislauf im Haushalt benutzt.

- a) Zeigen Sie die Leistungsfähigkeit dieser Analogie hinsichtlich des Widerstandsgesetzes und der Gesetze bzgl. der Reihen- und Parallelschaltung.
- b) Zeigen Sie die Grenzen dieser Analogie für den Einfluss der Temperatur auf die Größe der Strömung.

5 Modell Planetensystem

In der Sekundarstufe I wird oft der Aufbau des Atoms mit dem Aufbau des Planetensystems verglichen.

Stellen Sie aus der Sicht der Quantenphysik dar, warum dieses Bild vom Aufbau des Atoms nicht zulässig ist.

6 Bewegung in Feldern

Stellen Sie in einer Übersicht die verschiedenen Bewegungsformen und -arten von Probekörpern mit kleiner Anfangsgeschwindigkeit in homogenen Feldern dar. Machen Sie dabei gleichartiges und unterschiedliches Verhalten der jeweiligen Probekörper in den einzelnen Feldern deutlich.

3.2 Nutzung analoger mathematischer Modelle

Völlig unterschiedliche natürliche Prozesse können mit analogen mathematischen Modellen beschrieben werden, dazu gehören

- Wachstumsprozesse mit e-Funktionen,
- Änderungsraten oder -geschwindigkeit mit Anstiegen von Graphen,
- Wirkung mehrerer gleichartiger Komponenten mit Vektoren,
- Abnahme der Wirkung mit dem Quadrat des Abstandes,
- Beschreibung von Feldern mit Äquipotentialflächen.

Die Anwendung physikalischen Wissens auf neue Phänomene oder Gebiete wird für die Schülerinnen und Schüler erleichtert, wenn einmal erkannte mathematische Modelle durch Analogien auf diese übertragen werden. Dazu ist aber die Reichweite der einzelnen mathematischen Modelle an Beispielen zu verdeutlichen.

An dieser Stelle soll exemplarisch nur auf die e-Funktion und den Anstieg von Graphen eingegangen werden.

3.2.1 Beschreibung natürlicher Wachstums- und Zerfallsprozesse

Natürliche Wachstumsprozesse, die ohne Begrenzung durch die gegebenen Bedingungen vor sich gehen, verlaufen in der Regel so, dass der Zuwachs in einer bestimmten Zeiteinheit der bestehenden Menge M proportional ist. Analog gilt für natürliche Zerfallsprozesse, dass die Abnahme proportional der jeweiligen Menge M ist.

Es gilt also: $\frac{dM}{dt} \sim M$.

Aus diesem Ansatz kann gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern einmal die zugehörige e-Funktion hergeleitet werden.

$$\begin{aligned}\frac{dM}{dt} &= -k \cdot M && \text{„-“ bei Zerfallsprozessen} \\ dM &= -k \cdot M \cdot dt \\ \frac{1}{M} \cdot dM &= -k \cdot dt \\ \int_{M_0}^{M_t} \frac{1}{M} dM &= -k \int_0^t dt \\ \ln M_t - \ln M_0 &= -k \cdot t \\ \ln \frac{M_t}{M_0} &= -k \cdot t \\ \frac{M_t}{M_0} &= e^{-k \cdot t} \\ M_t &= M_0 \cdot e^{-k \cdot t}\end{aligned}$$

Damit ist es möglich, folgende allgemeine Regel zu formulieren:

Immer dann, wenn die Änderungsrate proportional zur Ausgangsgröße ist, kann die Änderung der Ausgangsgröße mit einer e-Funktion beschrieben werden.

Diese Regel kann ohne erneute Herleitung angewendet werden, z. B. auf die

- Restmenge einer radioaktiven Substanz nach einer ganz bestimmten Zeit,
- Stromstärke bei der Entladung eines Kondensators,
- Temperatur einer sich abkühlenden Flüssigkeit,
- Intensitätsminderung von Strahlung beim Durchgang durch eine Schicht.

Damit erfahren die Schülerinnen und Schüler am Beispiel der e-Funktion die generelle Mächtigkeit mathematischer Modelle in den Naturwissenschaften und sie können dieses eine Modell auch auf Zusammenhänge übertragen, die nicht im Unterricht behandelt wurden. Dazu sollten sie erkennen, dass sich die konkreten mathematischen Modelle in den jeweiligen Anwendungen lediglich in der Bedeutung und Größe der Konstanten K unterscheiden, die z. B. durch bestimmte Materialeigenschaften beeinflusst wird.

Mit Aufgaben folgender Art kann die Herausbildung dieser Einsichten und Kompetenzen im Umgang mit diesem Modell unterstützt werden.

Aufgaben

1 Das digitale Thermometer

Um das Temperaturverhalten eines digitalen Thermometers zu untersuchen, wurde dieses in ein Gefäß mit warmem Wasser gehalten und in bestimmten Zeitabständen die Temperatur gemessen.

t in s	0	10	20	30	40	50	60
ϑ in °C	21,0	25,1	28,0	30,4	32,0	33,3	34,2

Das zeitliche Verhalten der Temperatur kann mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$(1) \quad \vartheta = \vartheta_W - (\vartheta_W - \vartheta_0) \cdot e^{-K \cdot t} .$$

Dabei sind ϑ_W die Temperatur des Wassers und ϑ_0 die ursprüngliche Temperatur des Thermometers.

- Stellen Sie die Messwerte in einem $\vartheta(t)$ -Diagramm dar und beschreiben Sie den Kurvenverlauf.
- Bestimmen Sie mithilfe der Messwerte die Konstante K.

- c) Bei digitalen Thermometern wird der Messprozess abgebrochen, wenn sich die Temperatur in der Zeitspanne von $\Delta t = 15 \text{ s}$ weniger als um $\Delta \vartheta = 0,1 \text{ }^\circ\text{K}$ verändert.

Äußern Sie sich zum Sinn dieser Maßnahme durch Vergleich mit der Grafik aus Aufgabe a.

Berechnen Sie für den oben dargestellten Messvorgang den Zeitpunkt für dessen automatische Beendigung.

- d) Die oben angegebene Gleichung gilt für den Fall, dass die ursprüngliche Thermometertemperatur kleiner ist als die Temperatur des Messobjektes.

Verändern Sie die Gleichung (1) so, dass sie folgenden Fall beschreibt: Die Thermometertemperatur ist größer als die Temperatur des Messobjektes.

- e) Bei den bisherigen Betrachtungen wurde angenommen, dass die Temperatur des Messobjektes konstant ist.

Erläutern Sie, wann diese Annahme berechtigt ist.

Skizzieren und begründen Sie den Temperaturverlauf des Wassers und des Thermometers für den Fall, dass diese Annahme nicht erfüllt ist.

2 Das Lambert-Beersche Gesetz

Lambert hat festgestellt, dass die Lichtabsorption beim Durchgang durch eine lichtdurchlässige Schicht exponential mit der Schichtdicke wächst. August Beer ergänzte dieses Gesetz 1832, indem er feststellte, dass bei Lösung eines Licht absorbierenden Stoffes in einem nicht absorbierenden Stoff die Absorption folgendermaßen von der Konzentration c abhängt: $I(c) = I(0) \cdot e^{-Kc}$. Die Konstante K wird durch die Substanzen und die Schichtdicke bestimmt. Das Lambert-Beersche Gesetz gilt in guter Näherung für kleine Konzentrationen und wird vielfach auch heute noch in der chemischen Industrie zur Konzentrationsbestimmung genutzt.

Bei der Untersuchung einer bestimmten Lösung wurden folgende Daten ermittelt:

$c \text{ in } \frac{\text{g}}{\ell}$	0	10	20	30	40	50
$\frac{I(c)}{I(0)}$	1	0,85	0,72	0,62	0,53	0,48

- a) Stellen Sie die Messwerte in einem $\ln\left(\frac{I(c)}{I(0)}\right)$ - c -Diagramm dar.

Zeigen Sie, dass das Lambert-Beersche Gesetz für diese Lösung zutrifft und bestimmen Sie die Konstante K.

- b) Ermitteln Sie die Konzentrationen der Lösung für die Verhältnisse $\frac{I(c)}{I(0)} = 0,65$ bzw. $\frac{I(c)}{I(0)} = 0,04$. Begründen Sie die Berechtigung der von Ihnen gewählten Art der Ermittlung.

3 Zerfallsreihen

Viele radioaktive Nuklide zerfallen in Kerne, die wiederum radioaktiv sind. Ein Beispiel dafür ist die Thoriumreihe, in der $^{232}_{90}\text{Th}$ über mehrere Zwischenkerne in $^{208}_{81}\text{Tl}$ zerfällt. Wird aus dieser Zerfallsreihe ein Nuklid (Mutterkern) isoliert und nur dessen Zerfall in ein anderes Nuklid (Tochterkern) betrachtet, so kann man die Anzahl der Tochterkerne in Abhängigkeit von der Zeit mit folgender Gleichung beschreiben:

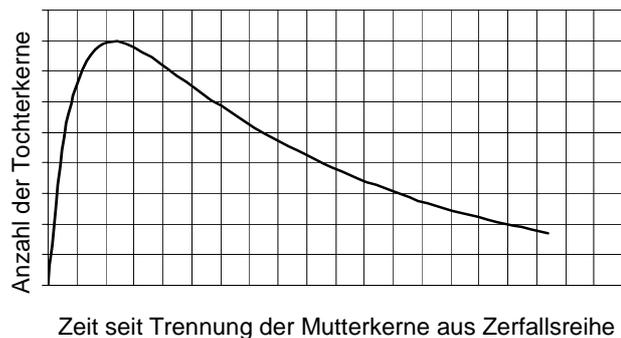
$$N_T(t) = \frac{\lambda_M}{\lambda_M - \lambda_T} \cdot N_M(0) \cdot (e^{-\lambda_M t} - e^{-\lambda_T t}).$$

Dabei bedeuten:

- $N_T(t)$ Anzahl der Tochterkerne zur Zeit t
- $N_M(0)$ Anzahl der Mutterkerne zur Zeit t = 0
- λ_T Zerfallskonstante der Tochterkerne
- λ_M Zerfallskonstante der Mutterkerne

Das $N_T(t)$ -Diagramm hat dann das abgebildete Aussehen.

Im Folgenden werden als Mutterkern $^{212}_{82}\text{Pb}$ (Halbwertzeit 10,6 h) und als Tochterkern $^{212}_{83}\text{Bi}$ (Halbwertzeit 60,5 min) betrachtet.



- a) Bestimmen Sie den Zeitpunkt, an dem die Anzahl der Tochterkerne maximal ist (Hinweis zur Kontrolle: $t_{\max} = 3,78 \text{ h}$).
- b) Weisen Sie mithilfe der oben angegebenen Gleichung nach, dass sich unter der Bedingung $\lambda_M \ll \lambda_T$ nach langer Zeit ein Gleichgewicht zwischen den neu gebildeten und den zerfallenen Tochterkernen ausbildet, das mit der Gleichung

$$N_T(t) = N_M(0) \cdot \frac{\lambda_M}{\lambda_T}$$

3.2.2 Beschreibung von Änderungsraten

Bei vielen Untersuchungen interessieren nicht nur die aktuellen Werte physikalischer Größen, sondern auch ihre zeitliche oder örtliche Veränderung. Beispiele dafür findet man bei der Untersuchung

- des Anfahr- und Bremsverhaltens von öffentlichen Verkehrsmitteln (Änderung der Beschleunigung – Ruck),
- von Luftströmungen (örtliche Druckveränderungen),
- von Kennlinien elektronischer Bauelemente (Stromstärkeveränderungen durch äußere Einflüsse).

Wenn die betreffenden Vorgänge durch Messwerte erfasst oder mit einer Funktion beschrieben werden können, dann ist es möglich, den zeitlichen oder örtlichen Verlauf oder den Einfluss bestimmter Größen in einem entsprechenden Diagramm darzustellen. Die gesuchten Veränderungsrate können dann anhand des Graphen ermittelt werden (vgl. Abb. 4).

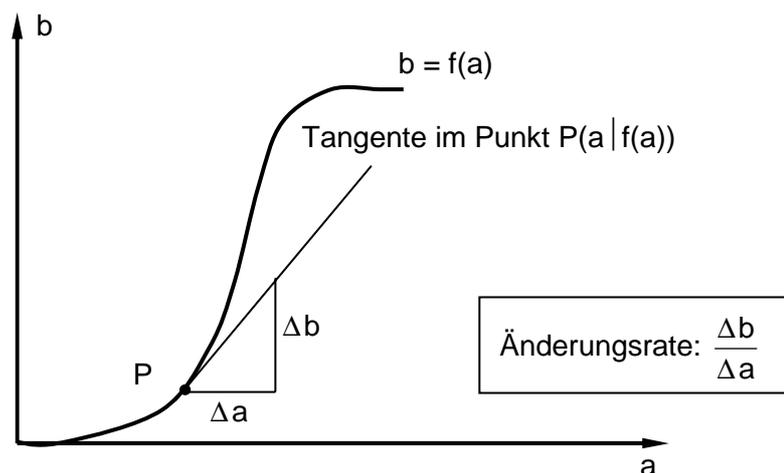


Abb. 4: Ermittlung der Änderungsrate an der Stelle a

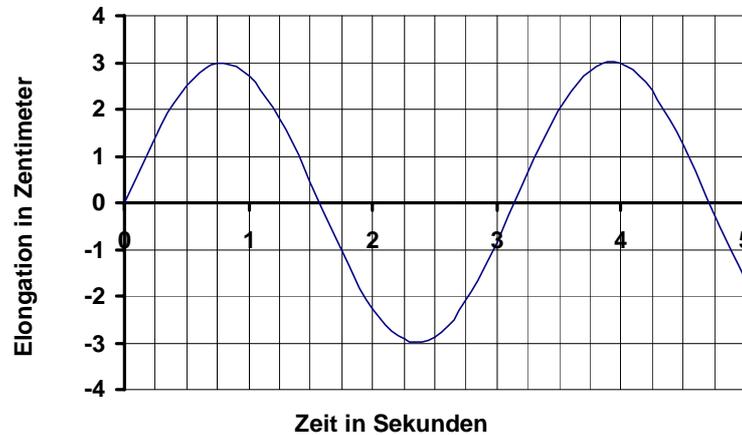
Falls der Zusammenhang zwischen den Größen b und a durch eine Funktion $f(a)$ beschrieben wird, dann kann die Änderungsrate auch über deren Ableitung $f'(a)$ ermittelt werden.

Den Schülerinnen und Schülern ist die jeweilige physikalische Bedeutung dieser Änderungsrate an einer Reihe unterschiedlicher Zusammenhänge zu verdeutlichen. Die folgenden Beispiele sollen dazu Anregung sein.

Aufgaben

1 Das Fadenpendel

Für ein Fadenpendel wurde das abgebildete Ort-Zeit-Diagramm aufgenommen.



- Bestimmen Sie daraus die maximale Geschwindigkeit des Pendels.
- Geben Sie für den dargestellten Vorgang den Zeitpunkt an, an dem das Pendel zum ersten Mal seine größte Beschleunigung erreicht. Begründen Sie Ihr Vorgehen.

2 Das Schweizer Taschenmesser

Seit einigen Jahren gibt es Schweizer Taschenmesser zu kaufen, die mithilfe eines eingebauten Barometers die jeweilige Höhe anzeigen. Diese Messer müssen nur zu Beginn der Wanderung auf einer bekannten Höhe geeicht werden.

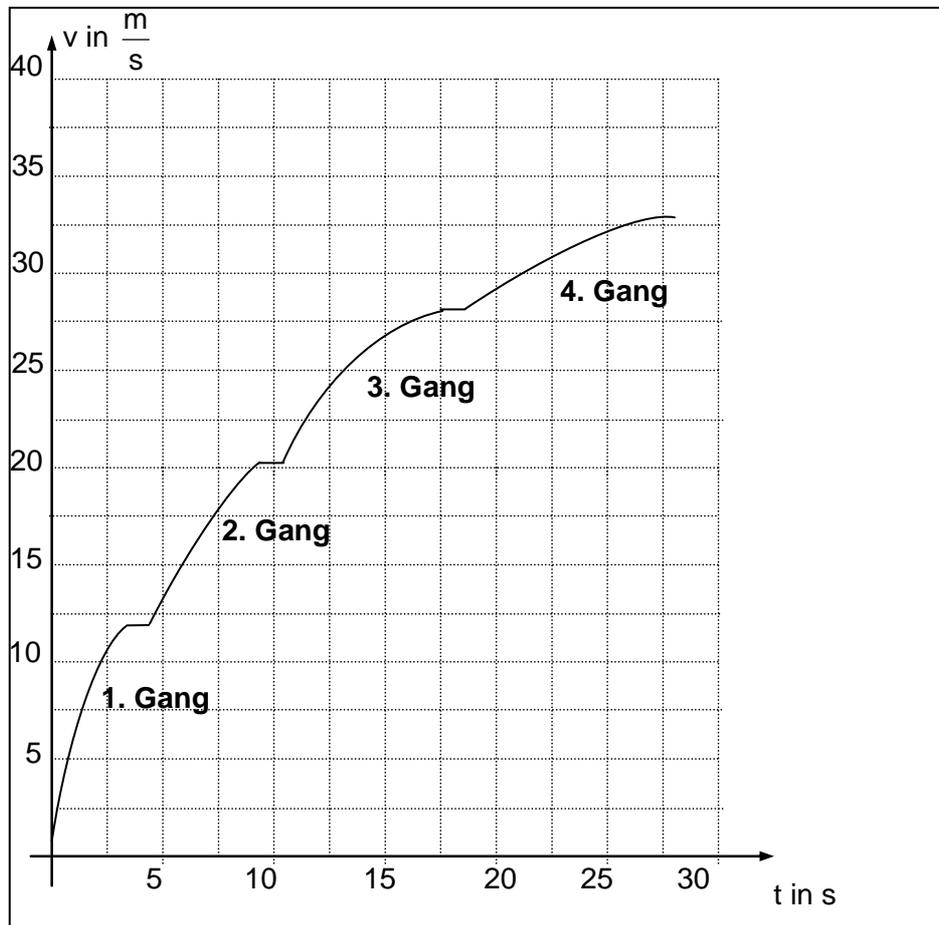
Die physikalische Grundlage für diese Höhenmessung ist die barometrische Höhen-

formel: $p = p_0 \cdot e^{-\frac{h}{7992 \text{ m}}}$. Dabei ist h die Höhe über dem Meeresspiegel und p_0 der Luftdruck in der Höhe $h = 0$.

- Ermitteln Sie, wie genau dieses Messer den Luftdruck messen muss, wenn in einer Höhe von $h_1 = 1000 \text{ m}$ der Messfehler $\Delta h < 1,0 \text{ m}$ sein soll. (Hinweis zur Kontrolle: Der Druck muss mit einer Genauigkeit von $\Delta p < 11,3 \text{ Pa}$ gemessen werden.)
- Bestimmen Sie den Fehler in der Höhenmessung, wenn das Messer in einer Höhe $h_2 = 6000 \text{ m}$ benutzt wird.

3 Untersuchung der Fahrt eines PKW

Bei einem PKW mit Vierganggetriebe wurde beim Anfahren die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt und in dem abgebildeten $v(t)$ -Diagramm dargestellt.



- Beschreiben Sie das aufgenommene Diagramm.
- Ermitteln Sie die mittleren Beschleunigungen in den vier Gängen. Begründen Sie, warum diese kleiner werden.

3.3 Entwicklung kommunikativer Fähigkeiten

Die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler wird sich in ihrem späteren Leben über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen in einer Form auseinandersetzen, die im Unterricht, aber insbesondere in Klausuren noch nicht immer den notwendigen Stellenwert einnimmt, nämlich folgende:

Die Darstellung von Zusammenhängen, Wirkungen oder Bedingungen in zusammenhängenden Texten ggf. unter Einbeziehung von Skizzen, Diagrammen und selten mit Formeln.

Die in den KMK-Bildungsstandards (vgl. /7/, S.10) und den EPA (vgl. /8/, S.7) beschriebenen kommunikativen Kompetenzen sind deshalb langfristig bei den Schülerinnen und Schülern zu entwickeln. Wertvolle Anregungen werden dazu auch in den didaktischen Fachzeitschriften gegeben (vgl. z. B. /15/ und /16/).

Dabei sollte eine zielgerichtete Zusammenarbeit mit den Lehrkräften des Faches Deutsch organisiert werden, um auf entsprechende Vorleistungen (lt. Rahmenrichtlinien) dieses Faches zurückgreifen zu können.

Schuljahrgänge	Inhalte	Hinweise zum Unterricht
5/6	Sachbericht, Kurzvortrag	chronologische oder kausale Gliederung Stichwortzettel
	Vorgangsbeschreibung, Anleitung	Erfassen wesentlicher Merkmale Gestaltungsmöglichkeiten (strukturelle, funktionale Aspekte)
7/8	Bericht, Kurzvortrag	adressatenbezogen Zweck, Ziel Regeln des freien Sprechens
	Verlaufsprotokoll	Sachverhaltsdarstellung (Thema, Standpunkte, Resultat) formale Gestaltung
	Beschreibung	wesentliche Merkmale komplexer Gegenstände, Vorgänge Gliederungsmöglichkeiten Fachsprache Nutzung von Skizzen, Graphen, Tabellen
	Stellungnahme, Streitgespräch	Argument/Gegenargument Meinungen/Begründungen/Schlussfolgerungen logische Verknüpfung und folgerichtige Anordnung Funktion des Moderierens
9	Kurzvortrag	Aufbau: Einstieg, Informationsanordnung, Logik der Zusammenhänge Grundregeln der Rhetorik Möglichkeiten der Präsentation
	Ergebnisprotokoll	zusammenfassende Darstellung der Sachverhalte Aspekte: Thema, wesentliche Standpunkte, Zwischenergebnisse, Resultate formale und sprachliche Gestaltung
	Argumentation	These-Gegenthese, Argument, Beweis logisches Entwickeln: Grund, Ursache, Folge, Wirkung, Argumentationskette

Schuljahrgänge	Inhalte	Hinweise zum Unterricht
10	Diskussion	Diskussionsregeln Rolle der Diskussionsleitung Funktion und Gestaltung von Diskussionsbeiträgen sprachliche Mittel des Beeinflussens, des Überzeugens bzw. Überredens
	Facharbeit	Aufgabenanalyse Reflexion des Themas Stoffsammlung Entwurf einer Gliederung Manuskriptgestaltung (Schriftbild, Absätze, Fußnoten, Literaturverzeichnis)
	Erörterung	Problem, Sachverhalt, Behauptung Unterscheidung: steigende (einsträngige) oder dialektische Erörterung Themenanalyse, Stoffsammlung, Argumentation, strukturelle Elemente
11/12	Referat, Rede, Vortrag	Strategien und Techniken des Redeaufbaus Strategien des Argumentierens argumentationssteuernde Mittel (Pro- und Kontra-Debatte)
	freie Erörterung	Phasen und Stufen des Formulierens gedanklich-sprachliches Verknüpfen: Argumentationsketten, Überordnung bzw. Unterordnung, sprachliche Mittel des Begründens Aufbau: Einleitung, mehrgliedriger Hauptteil, Wertung/Urteil, Lösungsvorschlag, Schluss

Tab. 8: Vorleistungen des Faches Deutsch zur Entwicklung kommunikativer Kompetenzen (Auszug, vgl. /17/)

Werden in Aufgaben Aufträge an die Schülerinnen und Schüler erteilt, die u. a. dem Nachweis kommunikativer Kompetenzen dienen, so ist es zweckmäßig, diese mit den entsprechenden Signalwörtern zu formulieren. In den niveaubestimmenden Aufgaben wurden die für den Physikunterricht bedeutsamen Aufträge definiert,

- was unter dem jeweiligen Signalwort verstanden wird und
- welche Schrittfolge zur Bearbeitung des Auftrages sich als günstig erwiesen hat (vgl. /5/ und /6/).

Exemplarisch soll das an zwei Aufträgen verdeutlicht werden.

Begründen

Das Begründen ist das Rechtfertigen von Entscheidungen durch Angabe und Abwägung von Gründen, z. B. für ein bestimmtes forschungsmethodisches Vorgehen, für einen speziellen Aufbau und die Durchführung eines Experiments oder die besondere Art der technischen Nutzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse.

Für das **Begründen** wird diese **Schrittfolge** empfohlen:

- 1 Angeben der zu begründenden Entscheidung
- 2 Angeben von Gründen (Argumenten), die für und die gegen diese Entscheidung sprechen
- 3 Abwägen der Gründe
- 4 Darstellen der Begründung

Bewerten¹

Insbesondere die Anwendung physikalischer Erkenntnisse in der Technik erfordert eine Bewertung der gewünschten Wirkungen, aber auch der ungewollten Nebenerscheinungen. Das ist auch dann notwendig, wenn zwischen alternativen technischen Lösungen entschieden werden muss. Jede Bewertung ist ein Ist-Soll-Vergleich, d. h. sie setzt beschriebene gegenwärtige oder zukünftige Zustände in Beziehung zu gesetzten Zielen. Damit diese Bewertung möglichst rational erfolgt, d. h. objektiv, verlässlich, transparent und nachvollziehbar ist, werden bestimmte Methoden verwendet.

Die Bewertung von Handlungen, Vorhaben oder technischen Artefakten könnte nach dieser **Schrittfolge** erfolgen:

- 1 Beschreibung des zu bewertenden Sachverhaltes auf der Sachebene
- 2 Beschreibung der für den Sachverhalt zutreffenden Wertvorstellungen (Wünsche, Normen, Gesetze)
- 3 Auswahl von Bewertungskriterien und eines geeigneten Bewertungsverfahrens zur Nutzung der Kriterien
- 4 Anwendung des Bewertungsverfahrens auf den Sachverhalt
- 5 Formulierung eines zusammenfassenden Urteils

¹ Um Arbeitsaufträge für Schülerinnen und Schüler eindeutig zu formulieren, sollte immer dann, wenn ein reines (objektives) Sachurteil gefordert ist, das Signalwort „Beurteile“ verwendet werden. Sollen die Schülerinnen und Schüler dagegen auch ihre individuellen Wertmaßstäbe einfließen lassen, dann sollte das Signalwort „Bewerte“ benutzt werden.

Es sei aber darauf hingewiesen, dass in gesellschaftlichen, insbesondere politischen Bewertungsprozessen ein objektives Sachurteil nicht möglich ist, da z. B. auch die Experten und Gutachter in ihr verwendetes Kriteriensystem bestimmte Normen und Werte einfließen lassen.

Damit wird klar, dass im Unterricht mit den Schülerinnen und Schülern nicht nur vereinbart werden muss, was unter dem jeweiligen Auftrag (Signalwort) verstanden wird, sondern es müssen auch bestimmte Verfahren an unterschiedlichen Gegenständen geübt werden.

Das betrifft zum Beispiel auch die Vermittlung einfacher Bewertungsverfahren. Exemplarisch wird an dieser Stelle die Bewertungsmatrix vorgestellt. Weitere Bewertungsverfahren werden in /18/, /19/ und /20/ erläutert.

Bewertungsmatrix dient z. B. der Bewertung verschiedener Varianten von Experimenten oder von technischen Anwendungen	
Phasen	Erläuterungen
Festlegung von Bewertungskriterien	Kriterien beziehen sich sowohl auf Anforderungen an das Endprodukt (Messergebnis, Gerät) als auch auf Bedingungen (materielle, personelle, zeitliche) zu dessen Realisierung
Wichtung der Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> – Diskussion der Grenzen und Wichtung für jedes Kriterium/Konsensfindung – Die Wichtung kann man formal festlegen (z. B. eine Höchstpunktzahl) oder durch Faktoren für jedes einzelne Kriterium berücksichtigen.
Bewertung der verschiedenen Varianten	<ul style="list-style-type: none"> – Festlegen einer Skalierung – Die Bewertung kann individuell mit anschließender Mittelwertbildung oder durch Diskussion in der Gruppe erfolgen. – Für die Untersuchung einzelner Kriterien sollten z. B. Vorexperimente (bei technischen Anwendungen technische Experimente) durchgeführt werden.
Entscheidung für eine Variante	<ul style="list-style-type: none"> – Darstellen der Bewertungsergebnisse in übersichtlicher Form, z. B. Matrix oder Polarkoordinaten – Summieren der Bewertungsergebnisse zu einem Gesamtergebnis, Vergleich ergibt beste Variante bzgl. der gestellten Anforderungen – Ermitteln einer optimalen Variante durch Abwägung der einzelnen Ergebnisse

Tab. 9: Einsatz einer Bewertungsmatrix im Bewertungsprozess

Folgende Aufgaben sollen dazu anregen, die Schülerinnen und Schüler im Unterricht, in häuslicher Arbeit und in Klausuren kürzere, aber auch umfangreichere zusammenhängende Fachtexte erarbeiten zu lassen und mit ihnen zu besprechen. Dazu sind unterschiedliche Varianten denkbar:

- Erarbeitung unter Nutzung von Quellen (Fachbücher, Fachzeitschriften, Internet),
- Erarbeitung unter Einbeziehung bereitgestellten Materials,
- Erarbeitung ohne Hilfsmittel.

Aufgaben

1 Magnetfeld der Erde

Die Größe des Magnetfeldes auf dem Hof Ihrer Schule soll möglichst genau bestimmt werden.

Beschreiben Sie ein dazu geeignetes Experiment. Begründen Sie, warum Sie sich für dieses Experiment entschieden haben.

2 Die Untersuchung der Fallgesetze durch Galilei

In seinen Discorsi beschreibt Galilei, dass er bei seinen Experimenten auf der geneigten Ebene mit einer Wasseruhr gemessen habe. Diese ist im Deutschen Museum nachgebaut: Ein Wassereimer ist an der Decke aufgehängt. Das kleine Loch an seinem Boden wird zu Beginn der Zeitmessung geöffnet und am Ende wieder verschlossen. Das ausfließende Wasser wird in einem Glas aufgefangen und sorgsam gewogen.

Bewerten Sie dieses Zeitmessverfahren auch unter Einbeziehung des im Material dargestellten Experimentes.

Material:

In einem Experiment wird der Zusammenhang zwischen der Füllhöhe eines Gefäßes und der Auslaufzeit untersucht. Dabei werden folgende Werte gemessen:

Füllstand in cm	1	2	5	10	20	30	40	50
Auslaufzeit in s	5,1	6,9	11,2	15,8	22,3	27,3	31,6	35,3

3 Bewegungen im Gravitationsfeld

Bei einem neu entdeckten Kometen sind meist nur kurze Bahnelemente sichtbar. Deshalb wird aus diesen Daten zunächst eine Parabelbahn berechnet. Nach einem langen Beobachtungszeitraum entscheidet sich dann, ob es sich wirklich um eine Parabel oder eine Ellipse bzw. eine Hyperbel handelt. Von den ca. 660 untersuchten Kometen zeigt sich folgende Verteilung: 43 % Parabeln, 25 % langperiodische Ellipsen (Umlaufzeit über 200 Jahre), 17 % kurzperiodische Ellipsen und 15 % Hyperbeln. Der hohe Anteil an Parabeln ist jedoch auf den zu kurzen



Aufnahme des Kometen Hale Bopp im Jahre 1997

Beobachtungszeitraum vieler Kometenerscheinungen zurückzuführen, bei denen lang gestreckte Ellipsen nicht von Parabeln unterschieden werden können.

Erläutern Sie, unter welchen Bedingungen im Gravitationsfeld der Erde die verschiedenen Bahnformen entstehen können. Leiten Sie die dazu notwendigen Gleichungen her.

4 Experimente zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

Beschreiben Sie in einer sprachlich zusammenhängenden Darstellung die Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit in der Physik. Gehen Sie dabei u. a. auf folgende Schwerpunkte ein:

- Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit durch Römer und Fizeau oder Foucault
- Wellen- und Teilchentheorie des Lichtes
- Lichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit

5 Der Determinismus in der Physik

Beginnend mit den Erfolgen des Newton'schen Gravitationsgesetzes bei der Vorhersage von Sonnen- und Mondfinsternissen oder Kometenbahnen erreichten die Naturwissenschaften, insbesondere die Physik, den Ruf, bei genauer Kenntnis kann der Mensch die Natur beherrschen.

Diskutieren Sie diesen Anspruch aus heutiger Sicht. Gehen Sie bei Ihrer Darstellung u. a. auf das Material und folgende Schwerpunkte ein:

- Erkenntnisse der Relativitätstheorie (Konstanz der Lichtgeschwindigkeit),
- Erkenntnisse der Quantenphysik (Heisenberg'sche Unschärferelation),
- Erkenntnisse der Chaosforschung (Berechnungsgrenzen).

Material:

„Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Weltalls als die Wirkung seines früheren Zustandes und andererseits als die Ursache dessen, der folgen wird, betrachten. Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle Kräfte, von denen die Natur belebt ist, sowie die gegenseitige Lage der Wesen, die sie zusammen setzen, kennen würde, und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen Größen einer Analyse zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Weltkörper wie die des leichtesten Atoms ausdrücken: nichts würde für sie ungewiss sein und Zukunft wie Vergangenheit ihr offen vor Augen liegen.“

Quelle: Laplace, Pierre Simon de: Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeiten. – Duncker & Humblot, 1886)

4 Erstellung und Bewertung von Abituraufgaben

4.1 Gesetzliche Grundlagen

Bei der Vorbereitung und Durchführung der Abiturprüfung in Physik sind folgende gesetzliche Grundlagen in der jeweils geltenden Fassung zu berücksichtigen:

- (1) Vereinbarung der Kultusministerkonferenz über die Abiturprüfung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II (vgl. /21/)

In dieser Vereinbarung werden auf sehr allgemeiner Ebene die wichtigsten organisatorischen Regelungen für die Abiturprüfung festgehalten. Das betrifft die Aufgaben der Prüfungsgremien, Vorgaben für die Erstellung und Genehmigung der Prüfungsaufgaben und die Dauer der Prüfungen, die Korrektur der schriftlichen Prüfung und Durchführung der mündlichen Prüfung, die besondere Lernleistung sowie besondere Vorkommnisse.

- (2) Erlass des Kultusministeriums zur Vorbereitung und Durchführung der Abiturprüfung (vgl. /22/ und /23/)

In diesem Erlass werden die Regelungen der Vereinbarung für Sachsen-Anhalt übernommen und z. T. konkretisiert. Das betrifft die Aufgaben der Prüfungsgremien, Vorgaben für die Erstellung und Genehmigung der Prüfungsaufgaben und die Dauer der Prüfungen, die Korrektur der schriftlichen Prüfung und Durchführung der mündlichen Prüfung, die besondere Lernleistung sowie besondere Vorkommnisse. Hier werden auch die notwendigen Begleitdokumente der Abiturprüfungen in ihrer Form vorgegeben.

- (3) Verordnung über die gymnasiale Oberstufe (vgl. /24/)

Diese Verordnung beschreibt sehr detailliert die Aufgaben der Prüfungskommission und der Fachprüfungsausschüsse, die mögliche Wahl der Prüfungsfächer, die Zulassung zur Prüfung, die Vorbereitung, Durchführung und Bewertung der schriftlichen und mündlichen Prüfung, die Ermittlung der Gesamtqualifikation und die Regelungen für Nachprüfungen.

- (4) Rahmenrichtlinien Gymnasium Physik (vgl. /11/)

Die Rahmenrichtlinien beschreiben, welche Qualifikationen die Schülerinnen und Schüler bis zum Ende ihrer Schulzeit im Physikunterricht erworben haben sollen. Insbesondere, welche Inhalte verbindlich zu behandeln waren und damit Gegenstand einer Prüfung mit zentraler Aufgabenstellung sein können.

(5) Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) (vgl. /8/)

In den EPA werden die zu prüfenden Qualifikationen und Inhalte sowie die drei Anforderungsbereiche sehr detailliert beschrieben. Für die Erstellung der Aufgaben und deren Bewertung werden sowohl für die schriftliche als auch mündliche Prüfung Vorgaben gemacht. Vielfältige Beispiele verdeutlichen den in den EPA beschriebenen und eingeforderten Anspruch.

4.2 Schriftliche Prüfung

4.2.1 Struktur der Prüfung

Mit der Verabschiedung der „Vorläufigen Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik“ für das Land Sachsen-Anhalt (vgl. /25/) im Jahre 1995 wurden die Struktur der schriftlichen Abiturprüfung und die Aufgabenarten neu festgelegt. So wurden den Prüflingen drei Themen zur Wahl gestellt, die sich im Wesentlichen durch den physikalischen Gegenstand unterschieden, an denen bestimmte Qualifikationen nachgewiesen werden sollten. In der Regel enthielt ein Wahlthema ein Schülerexperiment, ein anderes eine Themaufgabe, eine mit der Landes-EPA 1995 neu eingeführte Aufgabenart: Diese Aufgabeart besteht nur aus einem Arbeitsauftrag, der ggf. ergänzende Hinweise zu Schwerpunkten und zur Gliederung enthält.

Im Zusammenhang mit der Neugestaltung der gymnasialen Oberstufe und der Überarbeitung der Rahmenrichtlinien im Jahre 2003 wurde auch die Struktur der schriftlichen Abiturprüfung in Physik geändert. Wesentliche Gründe dafür waren

- die Anpassung der Struktur der schriftlichen Abiturprüfung in den drei naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik,
- eine konsequentere Ausrichtung der Wahlmöglichkeiten an den nachzuweisenden Kompetenzen,
- die Möglichkeit, bei gleichem Unterricht, eine Abiturprüfung auf Grund- oder auf Leistungskursniveau ablegen zu können.

Diese veränderte Struktur wird seit der Abiturprüfung 2005 realisiert und soll im Folgenden kurz charakterisiert werden.

(1) Struktur

Die Prüfungsaufgaben sind in zwei Blöcke geteilt; aus jedem Themenblock hat der Prüfling ein Thema zu bearbeiten.

Themenblock Grundlegendes (G)

Dieser Themenblock beinhaltet Aufgaben, zu deren Bearbeitung die Anwendung physikalischen Grundwissens und grundlegender Methoden notwendig sind. Deshalb sind die Arbeitsaufträge im Wesentlichen an den Anforderungsbereichen I und II orientiert. Diese sollten in 200 Minuten in der Prüfung auf Leistungskursniveau und in 150 Minuten in der Prüfung auf Grundkursniveau zu bearbeiten sein.

Thema G1

Zu einer thematischen Einheit werden mehrere, inhaltlich zusammenhängende Teilaufgaben gestellt. Die Prüflinge sollen sich mit den darin aufgeworfenen physikalischen Problemstellungen argumentativ und numerisch auseinandersetzen.

Thema G2

Das Thema G2 besteht aus mehreren, inhaltlich zusammenhängenden Teilaufgaben.

- In einigen Teilaufgaben sollen sich die Prüflinge mit physikalischen Fragestellungen argumentativ und numerisch auseinandersetzen.
- In einer weiteren Teilaufgabe ist ein Schülerexperiment zu bearbeiten.

Themenblock Vertiefendes (V)

Dieser Themenblock beinhaltet Aufgaben, bei deren Bearbeitung vertieftes physikalisches Wissen und entsprechende Methoden auf neuartige bzw. komplexere Problemstellungen anzuwenden sind. Deshalb sind die Arbeitsaufträge im Wesentlichen an den Anforderungsbereichen II und III orientiert. Diese sollten in 100 Minuten in der Prüfung auf Leistungskursniveau und in 60 Minuten in der Prüfung auf Grundkursniveau zu bearbeiten sein.

Thema V1

Bei der Bearbeitung dieses Themas sollen sich die Prüflinge mit physikalischen Fragestellungen numerisch, aber auch argumentativ anspruchsvoll auseinandersetzen. Dies gilt auch für Zusammenhänge, deren mathematische Beschreibungen aus dem Unterricht nicht bekannt sind.

Thema V2

Diese Aufgabe ist eine Themaufgabe, bei der die Prüflinge zu einem physikalischen Sachverhalt eine sprachlich zusammenhängende Darstellung anfertigen sollen.

Thema V3

Mit dieser Aufgabe sollen die Prüflinge vorgegebene, experimentell gewonnene Daten, auch von im Unterricht nicht behandelten Experimenten, auswerten.

(2) Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei den Aufgaben der schriftlichen Prüfungen auf Grundkursniveau (GKN) und Leistungskursniveau (LKN)

Aufgaben ohne Schülerexperiment

- Aufgaben zur Bearbeitung grundlegender physikalischer Inhalte (wie Begriffe, Gesetze, Verfahren, Anwendungen) können identisch sein.
- Aufgaben zur Bearbeitung komplexerer oder weiterführender physikalischer Inhalte sind differenziert gestaltet, z. B. durch
 - Angabe von einschränkenden Bedingungen auf GKN (z. B. Diskussion ausgewählter Spezialfälle),
 - Vorgabe von zusätzlichen Hilfen auf GKN (z. B. Angabe von Vergleichskriterien, Vorgabe von unterstützenden Materialien, feinere Strukturierung der Aufgabenstellung),
 - tiefer gehende weiterführende theoretische Betrachtungen auf LKN,
 - offenere Aufgabenstellungen auf LKN.
- Bei Aufgaben, die im Wesentlichen mathematisch zu bearbeiten sind, erfolgt die Differenzierung z. B. durch
 - die verstärkte Nutzung der Infinitesimalrechnung auf LKN und entsprechender Näherungsverfahren auf GKN,
 - Vorgaben zusätzlicher Hilfen auf GKN (z. B. Vorgabe von herzuleitenden Gleichungen oder Angabe von Zwischenergebnissen),
 - allgemeine Lösungen auf LKN und Berechnung konkreter Fälle auf GKN,
 - quantitative Betrachtungen auf LKN und qualitative Betrachtungen (z. B. als Tendenzaussage) auf GKN.

Aufgaben mit Schülerexperiment

Um den materiell-technischen Aufwand der Lehrkräfte in Vorbereitung und bei der Durchführung der Prüfungen in realistischen Grenzen zu halten, werden die Experimente so gestaltet, dass mit einem fast identischen Versuchsaufbau gearbeitet werden kann. So sind von der Lehrkraft nicht zwei, sondern nur ein Experiment in zwei wenig veränderten Varianten vorzubereiten.

- Wenn mit einer identischen Experimentieranordnung gearbeitet wird, so kann die Differenzierung so erfolgen, dass auf LKN
 - eine umfangreichere und anspruchsvollere Vorbetrachtung bearbeitet werden muss,
 - umfangreichere Messreihen aufzunehmen sind,
 - andere Arten der Ergebnisdarstellung verlangt werden.
- Zusätzlich kann zur Differenzierung die Experimentieranordnung so variiert werden, dass andere Materialien untersucht oder zusätzliche Parameter variiert werden.
- Eine weitere Möglichkeit der Differenzierung kann darin bestehen, dass auf GKN zusätzliche Hilfen (z. B. Skizze der Versuchsanordnung, Vorgaben für die Durchführung und Auswertung) angeboten werden.

(3) Orientierung für die Zuteilung der Bewertungseinheiten (BE)

Die Schwerpunktsetzung zwischen den Qualifikationen, die grundlegend und die vertiefend geprüft werden sowie die Gleichwertigkeit der zur Wahl stehenden Themen verlangen eine genaue Festlegung der Bewertungseinheiten.

	Themenblock G			Themenblock V
	G1	G2.1	G2.2 (Experiment)	V1, V2, V3
Grundkursniveau	35 BE	20 BE	15 BE	15 BE
Leistungskursniveau	50 BE	30 BE	20 BE	20 BE

Tab. 10: Aufteilung der Bewertungseinheiten auf die einzelnen Themen bzw. Teilaufgaben

Im Folgenden wird die Verknüpfung struktureller Vorgaben mit dem Prüfen bestimmter Kompetenzen dargestellt. Insbesondere wird auf zwei spezielle Prüfungsanforderungen,

- das Planen, Durchführen und Auswerten von Schülerexperimenten und
- die Bearbeitung von Themaufgaben,

genauer eingegangen.

4.2.2 Kompetenzen, die zum Gegenstand der Abiturprüfung gemacht werden

(1) Breites Kompetenzspektrum

Damit der Prüfling seine physikalische Bildung in angemessener Breite nachweisen kann, wird in den EPA festgelegt, dass in der schriftlichen Abiturprüfung Anforderungen gestellt werden, die Kompetenzen aller vier im Folgenden aufgeführten Kompetenzbereiche enthalten, wobei der Schwerpunkt auf den Bereichen Fachkenntnisse und Fachmethoden liegen sollte (vgl. /8/, S. 18):

- Kompetenzbereich Fachkenntnisse: Physikalisches Wissen erwerben, wiedergeben und nutzen (W)
- Kompetenzbereich Fachmethoden: Erkenntnismethoden der Physik sowie Fachmethoden beschreiben und nutzen (M)
- Kompetenzbereich Kommunikation: In Physik und über Physik kommunizieren (K)
- Kompetenzbereich Reflexion: Über die Bezüge der Physik reflektieren (R)

Abituraufgaben sind also so zu konstruieren, dass die Prüflinge möglichst vielfältige Kompetenzen – an unterschiedlichen physikalischen Gegenständen und auf verschiedenen Niveaustufen – nachweisen können.

Es sind also Abituraufgaben zu vermeiden, die einige Kompetenzen wiederholt in gleicher Weise (z. B. die Berechnung physikalischer Größen in ein und demselben Zusammenhang, die mehrmalige analoge graphische Darstellung des Zusammenhangs physikalischer Größen) prüfen und andere bedeutsame Kompetenzen oder ganze Kompetenzbereiche gar nicht zum Gegenstand der Prüfung machen.

An folgendem Beispiel wird illustriert, wie eine Aufgabe bewusst so konstruiert wurde, dass ein möglichst breites Spektrum an Kompetenzen getestet werden konnte. Es ist bei diesem Beispiel aus dem Jahre 2004, aber auch bei weiteren aus zurückliegenden Abiturprüfungen zu beachten, dass durch die Anpassung der Rahmenrichtlinien an die Verkürzung der Schulzeit einige der damals geprüften Inhalte nicht mehr verpflichtend sind.

In der Tabelle 11 werden zu jeder Aufgabe die geprüfte Kompetenz (in der Formulierung der EPA), der zugehörige Kompetenzbereich (als Buchstabe, z. B. W für Fachkenntnisse) und der Anforderungsbereich (z. B. mit AFB I) angegeben. Die genaue Zuordnung der Anforderungsbereiche kann jedoch nur im Erwartungshorizont der jeweiligen Lehrkraft auf der Basis des von ihr erteilten Unterrichts erfolgen.

Abitur 2004/13k Leistungskurs Thema 2: Energiegewinnung und Radioaktivität	geprüfte Kompetenzen
<p>1 Energiegewinnung aus Kernvorgängen</p> <p>Otto Hahn und seinen Mitarbeitern gelang 1938 die erste Kernspaltung. Bis zu diesem Zeitpunkt glaubte man, dass maximal zwei Protonen und zwei Neutronen von einem Kern abgespalten werden können.</p> <p>Stellen Sie die Gleichung für die Kernspaltung von Uran-235 zu Barium-144 und Krypton-89 auf. Berechnen Sie, wie viel Energie bei der Spaltung von einem Uran-235-Atom durch ein thermisches Neutron maximal gewonnen werden kann und erläutern Sie, wie es zur Energiegewinnung kommt.</p> $m_{\text{U} 235} = 235,04392 \text{ u} \quad m_{\text{Ba} 144} = 143,92294 \text{ u}$ $m_{\text{Kr} 89} = 88,91763 \text{ u} \quad m_n = 1,00866 \text{ u}$ $u = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	<p>Wiedergeben von einfachen Gesetzen und Formeln sowie deren Erläuterung (W, AFB I)</p> <p>begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines einfachen physikalischen Sachverhaltes (M, AFB II)</p>
<p>2 Energiegewinnung mit Kernkraftwerken (Themaufgabe)</p> <p>Stellen Sie in einer sprachlich geschlossenen und zusammenhängenden Form die Energiegewinnung in Kernkraftwerken dar.</p> <p>Beziehen Sie dabei u. a. folgende Schwerpunkte und Materialien ein:</p> <ul style="list-style-type: none"> – physikalische Grundlagen der Kernenergiegewinnung, – Erzeugung thermischer Neutronen und Kettenreaktion, – Kernbrennstoffe und Steuereinrichtungen, – Moderatoren, – Sicherheitsmaßnahmen, – Für und Wider der Betreibung von Kernkraftwerken, – Material 1: Kernbindungsenergiekurve, – Material 2: Siedewasserreaktor oder Druckwasserreaktor (prinzipieller Aufbau). <p>(Die Materialien wurden hier nicht mit angegeben.)</p>	<p>Strukturieren und schriftliches Präsentieren komplexer Sachverhalte (K, AFB II)</p> <p>Beziehen einer Position zu einem physikalischen Sachverhalt (R, AFB III)</p> <p>Einordnen von Sachverhalten in gesellschaftliche Bezüge (R, AFB II)</p>

3 Medizinische Anwendung der Radioaktivität	geprüfte Kompetenzen														
<p>3.1 Zur Schilddrüsenfunktionsprüfung wird dem Patienten eine bestimmte Menge des radioaktiven Technetiums Tc 99 injiziert, welches eine Halbwertszeit von sechs Stunden hat. Das Radionuklid Technetium wird wie Jod in der Schilddrüse gespeichert und kann deshalb zur Diagnostik bei Schilddrüsenerkrankungen benutzt werden. Nach zwanzig Minuten erfolgt die Auswertung (Szintigraphie). Um zu aussagefähigen Werten zu gelangen, muss zu diesem Zeitpunkt eine Aktivität von 57 MBq vorliegen. Errechnen Sie die Aktivität, die zum Zeitpunkt der Injektion vorlag und berechnen Sie, welche Masse des radioaktiven Präparats dem Patienten verabreicht wurde.</p> <p>Hinweis: $A = \lambda \cdot N$</p> <p>Tc 99 ist ein reiner γ-Strahler.</p> <p>Beschreiben Sie eine Wechselwirkung von γ-Strahlung mit Materie.</p> <p>Begründen Sie, weshalb keine α-Strahlung für eine Schilddrüsenszintigraphie benutzt wird.</p>	<p>begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines einfachen physikalischen Sachverhaltes (M, AFB II)</p> <p>fachgerechtes Wiedergeben von komplexen Zusammenhängen (W, AFB II)</p> <p>Herausfinden von physikalischen Aspekten aus Fragekomplexen anderer Fachgebiete (R, AFB III)</p>														
<p>3.2 Die Abschwächung von Strahlung erfolgt nach folgendem Gesetz: $I(d) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$, wobei I die Intensität, μ der Abschwächungskoeffizient und d die Materialdicke sind.</p> <p>Folgende Werte wurden bei der Absorption von γ-Strahlung einer bestimmten Energie durch Blei in Abhängigkeit von der Materialdicke des Bleis ermittelt. Die Werte sind bereits um die Nullrate korrigiert.</p> <table border="1" data-bbox="360 890 1453 965"> <tbody> <tr> <td>d in cm</td> <td>0</td> <td>0,5</td> <td>1,0</td> <td>1,5</td> <td>2,0</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>I in min^{-1}</td> <td>650</td> <td>350</td> <td>200</td> <td>115</td> <td>60</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p>Zeichnen Sie das I(d)-Diagramm und entnehmen Sie daraus die Halbwertsdicke für Blei dieser bestimmten Strahlung. Dabei versteht man unter Halbwertsdicke, die Dicke des Materials, bei der von der ursprünglichen Strahlung die Hälfte absorbiert wird.</p> <p>Bestimmen Sie unter Einbeziehung aller Messwerte den mittleren Abschwächungskoeffizienten.</p> <p>Erklären Sie mögliche Abweichungen vom Mittelwert.</p> <p>Berechnen Sie die Anzahl der Impulse je Minute, wenn die Materialdicke 2,5 cm beträgt.</p>	d in cm	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	I in min^{-1}	650	350	200	115	60	20	<p>Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen (K, AFB I)</p> <p>Auswerten von Ergebnissen nach einfachen Verfahren (W, AFB I)</p> <p>Erörtern von Fehlerquellen bei Experimenten (M, AFB II)</p> <p>Berechnen von Größen aus Formeln (M, AFB I)</p>
d in cm	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0									
I in min^{-1}	650	350	200	115	60	20									

4 Stirlingmotor	geprüfte Kompetenzen
<p>Es wird ein ideales Gas während eines reinen reversiblen Stirling-Prozesses betrachtet. Das Gas nimmt die Volumina zwischen 2000 cm³ und 8000 cm³ ein. Die Temperaturen liegen zwischen 75 °C und 400 °C, der maximale Druck beträgt 400 kPa.</p> <p>4.1 Berechnen Sie die im Zylinder befindliche Stoffmenge. Zeichnen Sie das zugehörige p(V) - Diagramm und berechnen Sie die dazu erforderlichen Werte.</p>	<p>begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhaltes (M, AFB II)</p> <p>Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen (K, AFB I)</p>
<p>4.2 Berechnen Sie die pro Zyklus verrichtete mechanische Arbeit und den thermischen Wirkungsgrad dieses theoretischen Prozesses. Vergleichen Sie den idealen Stirling-Prozess mit dem realen Prozess. Diskutieren Sie dabei die Entropieänderung.</p>	<p>mathematisches Beschreiben physikalischer Phänomene (M, AFB II)</p> <p>Beziehen einer Position zu einem physikalischen Sachverhalt (M, AFB III)</p>



Tab. 11: Beispiel für die Zuordnung einzelner Teilaufgaben zu Kompetenzen, Kompetenzbereichen und Anforderungsbereichen

(2) Aufgaben mit Schülerexperimenten (SE)

Besondere Aufmerksamkeit verlangen in diesem Zusammenhang die in den Abiturprüfungen durchzuführenden Schülerexperimente, da mit ihnen wesentliche Kompetenzen im Bereich Fachmethoden überprüft werden sollen. Dazu gehören insbesondere:

- Planen eigener Experimente für vorgegebene Fragestellungen,
- Aufbauen eines einfachen Experiments nach vorgelegtem Plan,
- Durchführen von Messungen nach einfachen Verfahren,
- Auswerten von Experimenten für vorgegebene Fragestellungen,
- Erörtern von Fehlerquellen und Abschätzen des Fehlers bei Experimenten.

Diese Kompetenzen sollen im Unterricht an den in den Rahmenrichtlinien ausgewiesenen Schülerexperimenten und in den beiden Praktika erworben werden. Die Schülerinnen und Schüler haben damit allgemeine, also auch auf andere Experimente anwendbare Kenntnisse und Fähigkeiten erworben. Anliegen der Abiturprüfung ist es u. a., diese Anwendbarkeit zu prüfen. Deshalb waren in den zentralen Aufgabenstellungen auch zunehmend Experimente von den Prüflingen zu bearbeiten, die nicht zu den verbindlichen Schülerexperimenten gehören. Dies wird in folgender Übersicht deutlich:

Schuljahr	Abitur	Experiment	verbindliches SE
1999/00	12	Entladekurve eines Kondensators	ja
2000/01	12	Induktivität und Permeabilität einer Spule	nein
2001/02	12w	Das Trägheitsmoment eines Rotationskörpers	nein
2002/03	13k	Die Entladekurve eines Kondensators	ja
2002/03	13n	Phasenverschiebung im Wechselstromkreis (Induktivität)	nein
2003/04	13k	Induktivitätsbestimmung mit Resonanzkurve	ja
2003/04	13n	Geschwindigkeit eines Körpers vor unelastischem Stoß	nein
2004/05	Beispiel	Dispersion von Licht	nein
2004/05	13k	Entladekurve eines Kondensators (Q, E)	ja
2004/05	13n	Waagerechter Wurf	nein
2005/06	13k	Bestimmung von g (Atwood'sche Fallmaschine)	nein

Tab. 12: Schülerexperimente in schriftlichen Abiturprüfungen

13k – Abitur nach 12,5 Jahren (kompakt), 13n – Abitur nach 13 Jahren (normal),
12w – Abitur für Wiederholer

Diese Umorientierung machte es notwendig, die experimentelle Aufgabenstellung mit entsprechenden Aufträgen zur Vorbetrachtung und Auswertung für die Prüflinge gedanklich einzubetten. Die prinzipiell neue Gestaltung dieses Aufgabenteils soll durch das exemplarische Nebeneinanderstellen einer bisherigen Aufgabenstellung (Abitur 2003) und der neuen (Abitur 2006) verdeutlicht werden.

Abiturprüfung 13n 2003 Leistungskurs

Thema 1: Experimente in der Physik (Aufgabe mit Schülerexperiment)

1.2 Bestimmen Sie experimentell die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke einer gegebenen Spule mit Eisenkern und deren Induktivität.

Zur Spule wird ein Kondensator bekannter Kapazität in Reihe geschaltet.

Berechnen Sie die sich damit ergebende Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke unter Verwendung der Messergebnisse.

Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

Abiturprüfung 13k 2006 Leistungskursniveau

4 Bestimmung der Fallbeschleunigung g (Schülerexperiment)

In dieser Aufgabe ist ein Experiment durchzuführen und auszuwerten. Beantworten Sie dazu die Fragen zur Vorbetrachtung und führen Sie das Experiment durch. Die Auswertung erfolgt nach den angegebenen Vorgaben. Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

Auftrag

Bestimmen Sie die Größe der Fallbeschleunigung g an Ihrem Schulort mithilfe der Atwood'schen Fallmaschine.

Vorbetrachtungen

- 1 Nennen Sie zwei Bedingungen, die den Wert der Fallbeschleunigung im Allgemeinen beeinflussen.
- 2 Das Experiment wird Ihnen entsprechend dem im Bild 1 dargestellten Aufbau zur Verfügung gestellt. Durch die Masse m_R soll die Reibung ausgeglichen werden. Durch die Masse m_B werden die über einen Faden verbundenen, gleich großen Massen m_1 und m_2 in Bewegung gesetzt. Aus der Zeit t , die zum Durchlaufen der Strecke s benötigt wird, kann die Fallbeschleunigung ermittelt werden.

Zeigen Sie, dass zur Berechnung von g aus den Messwerten folgende Gleichung gilt:

$$g = \frac{2s}{t^2} \cdot \frac{m_1 + m_2 + m_R + m_B}{m_B}$$

Ablauf des Experiments

- 1 Wählen Sie für die Massen m_1 und m_2 jeweils mindestens 100 g sowie für die Ablaufstrecke s mindestens 0,50 m.
- 2 Ermitteln Sie aus den bereitgestellten Massestücken eine geeignete Masse m_R so, dass sich die über den Faden verbundenen Massen nach dem einmaligen Anschieben annähernd gleichförmig bewegen.
- 3 Messen Sie für drei verschiedene Massen m_B die jeweiligen Durchlaufzeiten. Wiederholen Sie die Einzelmessungen noch mindestens zweimal.

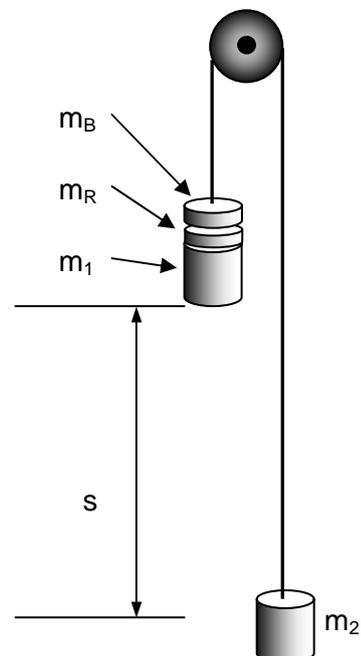


Bild 1

Auswertung

- 1 Berechnen Sie aus den Messwerten den Mittelwert \bar{g} für die Fallbeschleunigung.
- 2 Vergleichen Sie den von Ihnen ermittelten Wert mit dem Tabellenwert für g und gehen Sie auf systematische und zufällige Fehler bei der Durchführung des Experiments ein.
- 3 Beschreiben Sie kurz ein weiteres Experiment zur Ermittlung der Fallbeschleunigung.

(3) Themaufgaben

Den Forderungen der KMK-Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (vgl. /7/, S. 10) und den Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (vgl. /8/, S. 7) nach Entwicklung kommunikativer Kompetenzen auch im Physikunterricht kommt das Land Sachsen-Anhalt seit der Verabschiedung der Vorläufigen Einheitlichen Prüfungsanforderungen im Jahr 1995 durch die Aufnahme von Themaufgaben nach.

Die folgenden Beispiele machen das Spektrum der bisherigen Themaufgaben deutlich. Es kommen Aufgaben mit Material (Aufgabe 1) ebenso vor wie Aufgaben ohne Material. Aufgaben zu technischen Anwendungen (Aufgabe 1, 2 und 3) sind ebenso vertreten wie Aufgaben zu physikalischen Grundbegriffen (Aufgabe 4 und 5) oder Aufgaben zur Bedeutung von Modellen im Erkenntnisprozess (Aufgabe 6).

1 **Energiegewinnung mit Kernkraftwerken** (Abitur 2004/13k, vgl. S. 49)

2 **Elektromagnetische Schwingungen und Wellen** (Abitur 2002 13k)

Erläutern Sie ausführlich und in einer geschlossenen sprachlichen Darstellung die Entstehung, Ausbreitung und Anwendung elektromagnetischer Schwingungen und Wellen.

Berücksichtigen Sie dabei:

- Aufbau und Wirkungsweise eines geschlossenen Schwingkreises,
- Erweiterung zum offenen Schwingkreis,
- Entstehung, Abstrahlung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.

3 **Laser** (Abitur 2003/13n)

Zur Bestimmung von Weiten und Zeiten im Sport wird auch Laserlicht eingesetzt.

Stellen Sie in einer sprachlich zusammenhängenden Form die Erzeugung und Anwendungen von Laserlicht dar. Gehen Sie dabei u. a. auf folgende Schwerpunkte ein:

- prinzipieller Aufbau eines Lasers,
- Wirkungsweise (induzierte Emission, Besetzungsinversion, metastabiler Zustand),
- Eigenschaften des Laserlichts.

4 Felder – Physikalische Grundlagen (Abitur 2004/13n)

Stellen Sie in einer sprachlich geschlossenen und zusammenhängenden Form die Grundlagen zeitlich unveränderlicher physikalischer Felder als Teil der physikalischen Realität dar.

Wählen Sie dazu entweder Gravitationsfelder und elektrische Felder **oder** Gravitationsfelder und magnetische Felder aus, die Sie u. a. mithilfe von Analogiebetrachtungen in die Erörterung einbeziehen.

Zur Darstellung der beiden Felder gehören insbesondere folgende Schwerpunkte:

- Feldbegriff,
- Erzeugung der Felder,
- Feldformen,
- Nachweis der Felder,
- Beschreibung der Felder,
- Materie im Feld,
- Feldenergie.

5 Drehimpuls (Abitur 2003/13n)

Stellen Sie in einer sprachlich zusammenhängenden Form die Bedeutung des Drehimpulses dar. Gehen Sie insbesondere auf folgende Schwerpunkte ein:

- Modell „starrer Körper“,
- Trägheitsmoment,
- Winkelgeschwindigkeit,
- Drehmoment,
- Vektorcharakter des Drehimpulses,
- Drehimpulserhaltungssatz,
- eine Anwendung aus Astronomie oder Technik oder Sport.

6 Grenzen der klassischen Physik (Abitur 2000)

Die klassische Physik hat einerseits ein breites Anwendungsfeld, andererseits auch ihre Grenzen. Zeigen Sie anhand der Entwicklung von Vorstellungen über das Atom, dass mit den Gesetzen der klassischen Physik das Verhalten von Mikroobjekten nicht widerspruchsfrei beschrieben werden kann.

Schwerpunkte:

- die Atommodelle von Rutherford und Bohr,
- die Bohr'schen Postulate,
- das Versagen des Bohr'schen Atommodells,
- die Aufgabe des Bahnbegriffs („Teilchenbahn“) bei Mikroobjekten im Zusammenhang mit der berühmten Heisenberg'schen Unschärferelation,
- das Orbitalmodell.

Die Bewertung von Themaufgaben erweist sich (wie die Bewertung von offenen Aufgaben überhaupt) als besonders schwierig und aufwändig. Deshalb sollten die Erfahrungen von Lehrkräften anderer Fachrichtungen und regionale Fortbildungen genutzt werden, um Kriterien und Maßstäbe zu erarbeiten (vgl. auch /26/, S. 31 f.).

4.2.3 Kriterien für die Auswahl der Inhalte**(1) Verbindlich für alle**

Es können nur solche physikalischen Inhalte Gegenstand der Abiturprüfung mit zentraler Aufgabenstellung sein, die durch die Rahmenrichtlinien zum verbindlichen Inhalt erklärt werden. Das betrifft alle physikalischen Begriffe, Gesetze, Verfahren, Experimente oder

technischen Geräte, die bei den einzelnen Themen in der Spalte „Inhalte“ aufgeführt sind. Dagegen sollten spezielle Inhalte, die in der Spalte „Hinweise zum Unterricht“ aufgeführt wurden, nicht oder nur mit zusätzlichen Erläuterungen zum Gegenstand der Abiturprüfung mit zentraler Aufgabenstellung gemacht werden. Dazu gehören die Attraktordarstellungen von chaotischen Bewegungen, die dritte kosmische Geschwindigkeit bzw. die Hohlraumstrahlung.

Da von den Addita der Qualifikationsphase im Unterricht eines Kurses jeweils immer nur eins ausgewählt und behandelt wird, können diese Inhalte ebenfalls nicht Gegenstand in den zentralen Aufgabenstellungen sein.

(2) In der Qualifikationsphase fortgeführt

Der Physikunterricht in der Sekundarstufe I bildet mit den dort vermittelten allgemeinen physikalischen Begriffen und Gesetzen sowie den Denk- und Arbeitsweisen die Grundlage für den Physikunterricht der Qualifikationsphase. Insofern sind diese Inhalte auch immer implizit Gegenstand der Abiturprüfung. Dennoch ergibt sich für einige spezielle physikalische Inhalte die Frage, inwieweit sie explizit in Aufgaben der Abiturprüfung aufgenommen werden sollten. Für diese Inhalte sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Fall 1

Die Inhalte werden im Unterricht der Sekundarstufe I eingeführt und in der Qualifikationsphase in den Themen der Fundamenta fortgeführt. Diese Inhalte können zum Gegenstand der Abiturprüfung gemacht werden.

Beispiel 1:

Thema: Ausbreitung, Eigenschaften und Entstehung des Lichtes

Inhalt: Wellenmodell des Lichtes, Interferenz am Doppelspalt

Das Doppelspaltexperiment mit Elektronen und damit das grundlegend andere Denken in der Quantenphysik sind ohne Verständnis des Doppelspaltexperiments mit Licht nicht möglich.

Beispiel 2:

Thema: Atome - Atomkerne - Kernenergie

Inhalt: Isotope, Eigenschaften radioaktiver Strahlung

Das Verständnis der Wirkungsweise eines Massenspektrometers bzw. eines Zyklotrons erfordert die Kenntnis dieser physikalischen Inhalte.

Beispiel 3:

Thema: Sonne, Wärmestrahlung, Wind und Wolken

Inhalt: Längen- und Volumenänderung von Körpern durch Erwärmung

Die Behandlung der Zustandsänderungen von Gasen in der Kursstufe setzt die Betrachtung auf einer allgemeinen Ebene fort.

Fall 2

Die Inhalte werden nur im Unterricht der Sekundarstufe I behandelt. Diese Inhalte sollten, auch aus Gründen der Fairness, nicht zum Gegenstand der Abiturprüfung gemacht werden.

Beispiel 1:

Thema: Schwimmen, Schweben, Fliegen - Ergebnisse von Kraftwirkungen
 Inhalt: dynamischer Auftrieb, Kräfte am Flugzeugflügel

Während der statische Auftrieb, z. B. im Zusammenhang mit Kraftbetrachtungen, Wärmeaustauschprozessen oder dem Millikanversuch, wiederholt aufgegriffen wird, bleibt der dynamische Auftrieb eine singuläre Betrachtung.

Beispiel 2:

Thema: Elektrische Leitungsvorgänge
 Inhalt: Eigenleitung und Störstellenleitung in Halbleitern

Auf Leitungsvorgänge in Metallen, Gasen und im Vakuum wird, z. B. im Zusammenhang mit der Behandlung der Elektronenstrahlröhre oder dem Laser, wiederholt eingegangen; dagegen sind Leitungsvorgänge in Halbleitern nur in diesem Thema Gegenstand des Unterrichts.

Beispiel 3:

Thema: Atome - Atomkerne - Kernenergie
 Inhalt: Kernkraftwerk

Das Verständnis des prinzipiellen Aufbaus und der Wirkungsweise eines Kernkraftwerkes einschließlich der damit verbundenen Probleme ist zwar ein bedeutender Gegenstand physikalischer Allgemeinbildung, aber diese Inhalte werden in der Kursstufe nur in Additum V „Kernphysik“ wieder aufgegriffen und vertieft. Eine Aufnahme dieses Inhalts in zentrale Aufgabenstellungen würde den Gleichheitsgrundsatz verletzen.

(3) Kurshalbjahresübergreif

In der Abiturprüfung kann nur ein Teil der im Unterricht vermittelten Bildung überprüft werden, dennoch sollte dieser Teil exemplarisch die grundlegenden Kompetenzen testen und sich nicht nur einem begrenzten Thema zuwenden. Deshalb wurde festgelegt, dass die von den Prüflingen zu bearbeitenden Aufgaben

- sich nicht auf die Sachgebiete eines Kurshalbjahres beschränken (vgl. /19/, § 5 Abschnitt 4),
- mindestens zwei der vier in den EPA ausgewiesenen grundlegenden Sachgebiete Felder, Wellen, Quanten und Materie berücksichtigen müssen (vgl. /8/, S. 17).

Da die Strukturierung der physikalischen Inhalte in den Sachgebieten der EPA eine andere ist als in den Themenbereichen der Rahmenrichtlinien von Sachsen-Anhalt können sich bei der Erstellung der Abituraufgaben Probleme ergeben, beide der oben genannten Kriterien gleichzeitig zu berücksichtigen. Zur Unterstützung dieses Prozesses sind im Folgenden **die wichtigsten physikalischen Inhalte, die entsprechend den Rahmenrichtlinien Gegenstand der schriftlichen Abiturprüfung sein können**, dargestellt. Da in den EPA festgelegt

ist, dass sich die Hälfte aller Anforderungen auf die grundlegenden fachlichen Inhalte beziehen muss, sind diese durch Unterstreichen kenntlich gemacht. In einer Abituraufgabe (das ist die Gesamtheit dessen, was ein Prüfling zu bearbeiten hat) muss sich also **die Hälfte aller Anforderungen auf diese unterstrichenen Inhalte** beziehen.

Mechanik

- Kinematik und Dynamik der Punktmasse: Newton'sche Axiome, Bewegungsgesetze, Kraft, Arbeit, Leistung, Überlagerung von Bewegungen
- Gravitationsfeld: Feldbeschreibung, Gravitationsgesetz, 1. und 2. kosmische Geschwindigkeit, Verschiebungsarbeit
- Erhaltungssätze: Erhaltung der Energie und des Impulses in der Mechanik

Thermodynamik

- Thermodynamisches Verhalten von Stoffen: Wärme, Stoffmenge, Wärmekapazität, Mischtemperatur, Energiebilanzen
- Betrachtungsweisen
- Gasgesetze: Zustandsgleichung und Zustandsänderungen
- kinetische Gastheorie: Verteilung, Grundgleichung kinetischer Gastheorie
- 1. Hauptsatz: innere Energie, Volumenarbeit, Wärme
- 2. Hauptsatz: Entropieproduktion

Elektrodynamik

- elektrisches Feld: Ladung, Feldstärke, Energie, Spannung, Kapazität
- magnetisches Feld: Ursachen, Feldgröße B, Energie, Lorentzkraft
- Bewegung von Ladungsträgern in Feldern, Millikanversuch, e/m-Bestimmung
- elektromagnetische Induktion: magnetischer Fluss, Induktionsgesetz, Induktivität, Selbstinduktion

Spezielle Relativitätstheorie

- Relativistische Masse: Energie-Masse-Beziehung, relativistische Massenzunahme, Ruhemasse
- Ausbreitung von Licht: Postulate Einsteins
- relativistische Effekte: Zeitdilatation, Längenkontraktion

Quantenphysik

- Natur des Lichtes: klassische Beschreibung, quantenphysikalische Beschreibung
- Grenzen der Anwendbarkeit klassischer Begriffe: Doppelspaltexperiment mit Elektronen, De-Broglie-Wellenlänge, Unschärferelation
- Modelle der Atomhülle: Energiequantelung, Linienspektrum, Franck-Hertz-Versuch

Besonders gut gelingt die Realisierung beider Teile dieses Kriteriums, wenn eine Aufgabe stoffgebietsübergreifend angelegt ist, wie folgendes Beispiel zeigt.

BEISPIELE

Thema 3: Impulserhaltung in Mechanik und Quantenphysik (Abitur 2003/13k)

1 Kraftstoß, Impuls- und Impulserhaltungssatz

Die Erhaltung des Impulses stellt eine der grundlegendsten physikalischen Gesetze dar, deren Anwendung in allen Teilgebieten der Physik zu finden ist.

- 1.1 Definieren Sie den Impuls eines Körpers und formulieren Sie den Satz von der Erhaltung des Impulses in Wort- und Gleichungsform. Erläutern Sie diesen fundamentalen Satz anhand zweier Beispiele. Gehen Sie dabei sowohl auf einen elastischen als auch auf einen unelastischen Stoß ein und wenden Sie in diesem Zusammenhang auch den Energieerhaltungssatz an.
- 1.2 Ein Pendel wird um den Winkel α aus seiner Ruhelage ausgelenkt und stößt mit seinem Pendelkörper (1) elastisch und zentral auf eine ruhende Kugel (2). Diese bewegt sich dann entlang der im Folgenden dargestellten parabelförmigen Bahn und fällt in einen tiefer gelegenen mit Sand gefüllten ruhenden Wagen.

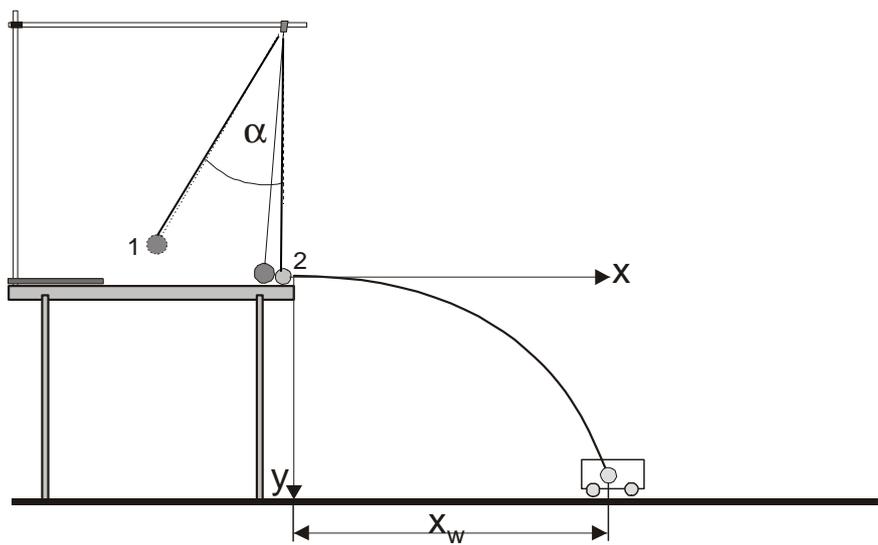


Bild 1

Daten:

- Länge des Pendels: $\ell = 1,0 \text{ m}$
- Pendelmasse (1): $m_p = 150 \text{ g}$
- Pendelauslenkung: $\alpha = 35^\circ$
- Masse der Kugel (2): $m_k = 150 \text{ g}$
- Masse des Wagens: $m_w = 250 \text{ g}$
- Reibungszahl: $\mu = 0,06$

Analysieren Sie die Vorgänge vom Loslassen der Kugel im Punkt 1 bis zum Stillstand des Wagens.

Berechnen Sie, wie weit der Wagen rollt, wenn die Reibungszahl μ zwischen den Rädern und dem Untergrund konstant bleibt.

(Zwischenergebnis zur Kontrolle: Geschwindigkeit der Kugel nach dem Zusammenstoß mit dem Pendel im Punkt 2 $U_k = \sqrt{2 \cdot g \cdot \ell (1 - \cos \alpha)}$)

2 Raketenantrieb

Konstantin Ziolkowski gilt als ein bedeutender Pionier der Raumfahrt und des Raketenantriebs.

- 2.1 Erklären Sie das Prinzip des Raketenantriebs unter Anwendung des Impulserhaltungssatzes.
- 2.2 Ziolkowski entwickelte eine Gleichung (Raketengleichung), die die Raketenstartmasse m_0 , die zeitlich abnehmende Raketenmasse $m(t)$, und die Ausströmgeschwindigkeit der Antriebsgase c_{Gas} zur erzielbaren Geschwindigkeitsänderung Δv in Beziehung setzt:

$$\Delta v = c_{\text{Gas}} \cdot \ln \frac{m_0}{m(t)}.$$

Begründen Sie mithilfe dieser Gleichung, dass heutige Raketen, die ein Verhältnis von Start- und Leermasse von etwa 6:1 haben und deren Feststoffantrieb Gas mit einer Geschwindigkeit von $2800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ausstößt, mit einer Raketenstufe nicht in eine Erdumlaufbahn gelangen können.

Begründen Sie ferner, dass eine mehrstufige Rakete diese Fluchtgeschwindigkeit erreichen kann.

- 2.3 Leiten Sie die zweite kosmische Geschwindigkeit her.

3 Photonenimpuls

Dem Physiker R. Frisch ist es gelungen, den Impuls von Photonen qualitativ und quantitativ nachzuweisen. In einer Vakuumröhre (Bild 2) verdampfte er flüssiges Natrium bei einer Temperatur von $360 \text{ }^\circ\text{C}$ und erzeugte durch ein Blendensystem S_1 und S_2 einen feinen thermischen Na-Atomstrahl.

Nach einer Strecke von $\ell = 50 \text{ cm}$ traf der Strahl auf der kalten Anode auf und hinterließ bei A_0 einen Niederschlag. Durch seitliches Einstrahlen von Licht einer Na-Dampflampe ($\lambda = 588 \text{ nm}$) senkrecht zum Atomstrahl konnte ein zweiter Niederschlag bei A_1 erzielt werden. Dies konnte als Nachweis für die Absorption der Photonen durch Na-Atome interpretiert werden.

Berechnen Sie aus der Temperatur des erhitzten Natriums die mittlere kinetische Energie der Natriumatome im Strahl sowie deren Impuls.

Berechnen Sie mithilfe des Photonenimpulses den mittleren Abstand der Auftrefforte $\overline{A_0 A_1}$.

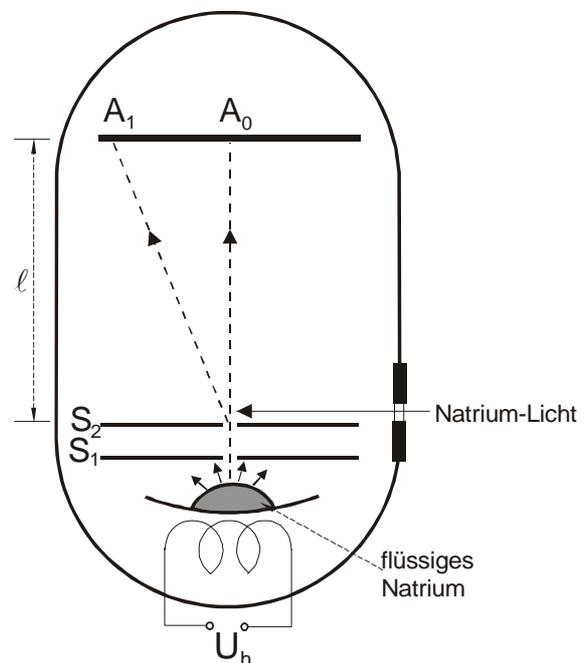


Bild 2

Werden die ausgewählten Teilaufgaben nach den beiden Aspekten des Kriteriums eingeordnet, ergibt sich folgendes Bild:

Teilaufgaben	Themenbereiche RRL	Sachgebiete EPA
1	Mechanik	Dynamik
2	Mechanik	Felder
3	Ausgewählte Gebiete der nichtklassischen Physik	Quanten

Tab. 13: Zuordnung der einzelnen Teilaufgaben

Während der erste Aspekt (Kurshalbjahresübergreif) mit einer der Kombinationen der Teilaufgaben 1 und 3 bzw. 2 und 3 realisiert wird, gelingt die Berücksichtigung des zweiten Aspektes (zwei grundlegende Sachgebiete) nur durch die Verbindung der Aufgaben 2 und 3.

4.2.4 Aspekte der Bewertung

Nach § 29 der Oberstufenverordnung des Landes Sachsen-Anhalts ist der Fachprüfungsausschuss für die Erstellung des Erwartungshorizontes unter Berücksichtigung der zentralen Bewertungshinweise und der unterrichtlichen Voraussetzungen verantwortlich (vgl. /24/).

Erst diese Regelung ist die Voraussetzung dafür, dass die durch die Rahmenrichtlinien gegebenen Möglichkeiten einer unterschiedlichen Schwerpunktsetzung, z. B. im Zusammenhang mit der Wahl des jeweiligen Additums, und damit auch eine differenzierte Behandlungstiefe des einen oder anderen Inhaltes bei einem Abitur mit zentraler Aufgabenstellung genutzt werden können.

Die Erstellung des Erwartungshorizontes durch verschiedene Fachprüfungsausschüsse vor dem Hintergrund eines unterschiedlich erteilten Unterrichts führt natürlich auch zu Abweichungen der einzelnen Erwartungshorizonte hinsichtlich der Vergabe der Bewertungseinheiten auf einzelne Teilaufgaben und damit auch hinsichtlich der Erwartungen, wann eine Leistung voll, nur teilweise oder gar nicht erbracht wurde. Das soll im Folgenden am Beispiel der Abiturprüfung 2005/13n auf Leistungskursniveau auf der Basis der Auswertung einer Stichprobe von 51 Gymnasien exemplarisch verdeutlicht werden.

Die extremen Unterschiede zeigen sich auch bei unterschiedlichen Kompetenzanforderungen.

Zugeordnete Anzahl von Bewertungseinheiten			maximal	minimal	Durchschnitt
G1	1.1	Berechnen der Geschwindigkeiten nach elastischem Stoß	15	6	12,0
	1.2.2	Berechnen der Endgeschwindigkeit der Elektronen	5	2	3,3
	2.3	Berechnen der Impulse des Photons und des Elektrons	8	3	6,1
G2	1.1	Berechnen der Laufzeiten der Signale	6	2	3,3
	2.1	Berechnen der relativistischen Masse und Energie	8	4	5,1
	2.2	Berechnen der Flusssdichte	9	4	7,3

Tab. 14: Berechnung physikalischer Größen

Zugeordnete Anzahl von Bewertungseinheiten			maximal	minimal	Durchschnitt
G1	2.2	Diagramm mit Einstein'scher Geraden zeichnen	4	2	3,3
G2	2.1	m(v)-Diagramm darstellen	6	2	4,2
	3	Zeichnen des x(h)-Diagramms	4	2	2,4
		Zeichnen der Idealkurve	4	1	2,0

Tab. 15: Darstellen von physikalischen Zusammenhängen in Diagrammen

Zugeordnete Anzahl von Bewertungseinheiten			maximal	minimal	Durchschnitt
G1	1.2.1	Aufbau und Durchführung Franck-Hertz-Versuch	12	4	7,2
G2	2.1	Beschreiben der Durchführung des Michelson-Experiments	6	3	4,7

Tab. 16: Beschreibung der Durchführung physikalischer Experimente

Zugeordnete Anzahl von Bewertungseinheiten			maximal	minimal	Durchschnitt
G1	1.2.2	Diskussion der Stöße Elektronen-Quecksilberatome	4	1	2,6
	1.2.3	Begründung des Stromabfalls bei 4,9 V und 9,8 V	6	2	3,6
	2.2	Begründen der Nichteignung eines Zyklotrons für große Geschwindigkeiten	3	1	1,5
	3	Begründen der Abweichung real-ideal	3	1	1,9

Tab. 17: Diskussion, Erklärungen oder Begründungen im Zusammenhang mit physikalischen Phänomenen bzw. Erkenntnissen

Die unterschiedliche Wichtung der einzelnen Teilaufgaben im Erwartungshorizont durch die kontrollierenden Lehrkräfte hat sicherlich mehrere Ursachen:

- unterschiedliche Schwerpunktsetzung im vorangegangenen Unterricht (das wird auch in der z. T. sehr verschiedenen Zuordnung zu den Anforderungsbereichen deutlich),
- unterschiedliche Einschätzung der Bedeutsamkeit des zu erbringenden Wissens und Könnens bzgl. der physikalischen Allgemeinbildung,
- mehr oder weniger große Berücksichtigung der tatsächlich erbrachten oder erwarteten Schülerleistung (geringe Leistung – wenig Bewertungseinheiten),
- eine teilweise Überbewertung von Aufgaben mit klar strukturierter und nach formalen Kriterien leicht zu korrigierenden Antwort (z. B. numerische Aufgaben) gegenüber Aufgaben mit offener Antwort (z. B. Diskutiere ...).

Durch den schulinternen und regionalen Erfahrungsaustausch, insbesondere in den Fortbildungsveranstaltungen der Fachbetreuerinnen und Fachbetreuer, sollten die z. T. extremen Abweichungen abgebaut werden.

4.3 Mündliche Prüfung

4.3.1 Struktur der Prüfung

Die mündliche Prüfung besteht aus zwei gleichgewichtigen Teilen, die etwa auch gleiche Zeitanteile haben sollten:

- 1. Teil: zusammenhängender Vortrag
- 2. Teil: Prüfungsgespräch

Vortrag

Die mündliche Prüfungsaufgabe ist dem Prüfling schriftlich zu übergeben. Das Thema der Aufgabe sollte einer Problemerkörterung entsprechen. Die einzelnen Teilaufträge sollten

- eindeutig (z. B. mit Signalwörtern) formuliert sein,
- den Prüfling hinsichtlich seines Vortrages eine Orientierung geben,
- einen einfachen Einstieg ermöglichen und
- sich zumindest in einigen Teilaufgaben so öffnen, dass dem Prüfling eine besondere Chance eröffnet wird, den Umfang seiner Fähigkeiten und die Tiefe seines physikalischen Verständnisses darzustellen.

In die Prüfungsaufgaben können Material (z. B. Texte, Tabellen, Grafiken) oder Experimente einbezogen werden. Bei der Auswahl des Materials (insbesondere Umfang und Komplexität) ist die dem Prüfling zur Verfügung stehende Vorbereitungszeit angemessen zu berücksichtigen.

Zugelassene Hilfsmittel können neben dem in der Schule verwendeten Tafelwerk und einem nicht grafikfähigen, nicht programmierbaren Taschenrechner - im Gegensatz zur schriftlichen Prüfung - in Abhängigkeit vom vorangegangenen Unterricht z. B. auch folgende sein:

- Fachliteratur,
- Simulationssoftware.

Dem Prüfling können für seinen Vortrag auch Hilfsmittel zur Präsentation (z. B. Folien, Modelle, Originalobjekte) zur Verfügung gestellt werden.

Prüfungsgespräch

Das Prüfungsgespräch soll an den Vortrag anknüpfen und diesen vertiefen bzw. erweitern oder den Transfer auf einen weiteren Problemkreis ermöglichen. Dazu sollte die prüfende Lehrkraft zwei oder drei schriftlich verfasste Impulse oder Aufgabenstellungen vorbereitet haben, die in einem größeren fachlichen Zusammenhang stehen und die Grundlage für das Gespräch bilden. Ein kurzschrittiger Frage-Antwort-Wechsel ist zu vermeiden.

4.3.2 Kompetenzen, die zum Gegenstand der Prüfung gemacht werden

Die mündliche Prüfung muss alle vier in den EPA aufgeführten Kompetenzbereiche umfassen, wobei der Schwerpunkt auf den Kompetenzbereichen Kommunikation und Reflexion liegt. Dabei sollte die Aufgabenstellung so sein, dass sie

- physikalische Kompetenzen kurz, auskunftssicher und in verschiedenen Anforderungsbereichen überprüft,
- vielfältige fachliche Methoden tangiert,
- verschiedene Stoffgebiete verbindet,
- eine Fachkommunikation ermöglicht, in der diskursiv diskutiert wird.

Bei der Erstellung der Prüfungsaufgabe ist zu beachten, dass es Prüflinge in drei „Varianten“ gibt, die es sowohl hinsichtlich des Niveaus der nachzuweisenden Kompetenzen als auch bzgl. der auszuwählenden Inhalte zu beachten gilt (vgl. dazu auch Abschnitt 4.3.3):

- (1) Prüflinge, die eine schriftliche Prüfung auf **Leistungskursniveau** absolviert haben und eine zusätzliche mündliche Prüfung ablegen müssen,
- (2) Prüflinge, die das **Profilfach** (vierstündiger Kurs) Physik belegt haben und eine mündliche Prüfung (als zusätzliche oder fünfte Prüfung) auf **Grundkursniveau** ablegen,
- (3) Prüflinge, die das **Wahlpflichtfach** (zweistündiger Kurs) Physik belegt haben und eine mündliche Prüfung auf **Grundkursniveau** als fünftes Prüfungsfach in Physik gewählt haben.

Unterschiede zwischen Pflichtfach und Wahlpflichtfach

Die Unterschiede in der Kompetenzausprägung für Schülerinnen und Schüler, die das Profilfach Physik (PF) belegt haben, im Vergleich zu denen, die das Wahlpflichtfach (WPF) besuchten, bestehen vor allem in Folgendem:

- Im PF werden die Grundlagen der klassischen Physik in allen wesentlichen Gebieten im Zusammenhang und sehr systematisch behandelt. Diese werden durch zwei nichtklassische Gebiete ergänzt. Dadurch wird angestrebt, dass sich bei den Schülerinnen und Schülern ein vielfältig vernetztes physikalisches Wissen ausbildet, das sich auf gebietsübergreifenden Begriffen und Prinzipien gründet. Sie sollten die Leistungsfähigkeit und Grenzen einzelner physikalischer Theorien erkannt haben und an Beispielen erläutern können.
- Im WPF wird in zwei Gebieten der Physik exemplarisch dargestellt, wie die Wissenschaft Physik Erkenntnisse gewinnt und wie diese Erkenntnisse vielfältig genutzt werden. Dadurch haben die Schülerinnen und Schüler dieses Faches in den jeweils

gewählten Gebieten ein sehr anwendungsorientiertes, aber auf eingegrenzte Bereiche beschränktes Wissen.

- Durch die doppelte Unterrichtszeit und insbesondere durch das Praktikum in der Qualifikationsphase sind die Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler des PF zum selbstständigen Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten wesentlich tiefer ausgeprägt als das von den Prüflingen des WPF erwartet werden kann.
- Durch den mehr theoretischen Ansatz des PF gegenüber dem mehr anwendungsorientierten Ansatz des WPF sind die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler des PF zur Beschreibung physikalischer Phänomene bzw. Zusammenhänge mit mathematischen Modellen stärker entwickelt. Das betrifft sowohl die Ableitung der jeweiligen Modelle als auch die Sicherheit in der Handhabung.

Die Unterschiede zwischen den Prüfungsaufgaben auf Grundkursniveau und denen auf Leistungskursniveau bei gleichem vorangegangenen Unterricht (PF) stimmen im Wesentlichen mit den für die schriftliche Prüfung beschriebenen überein (vgl. S. 54).

Im Folgenden sind Aufgabenstellungen als Teile möglicher Prüfungsaufgaben dargestellt, die einerseits die in den EPA genannten Möglichkeiten zur Gestaltung von Aufgaben illustrieren und andererseits die unterschiedlichen „Varianten“ von Prüflingen berücksichtigen:

	Prüfungsaufgaben für Prüflinge entsprechend der		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Aufgabe mit Experiment	Aufgabe 2	Aufgabe 1 (Möglichkeit 1)	Aufgabe 1 (Möglichkeit 2)
Aufgabe mit Material	Aufgabe 5 (Möglichkeit 1)	Aufgabe 3 Aufgabe 5 (Möglichkeit 2)	Aufgabe 6 Aufgabe 7
Aufgabe ohne Material		Aufgabe 4	

Tab. 18: Zuordnung der Aufgaben zu Aufgabenarten und Prüflingsvarianten

Da die Prüfungsleistung in Umfang und Tiefe wesentlich durch den vorangegangenen Unterricht geprägt wird, sind die anderen Mitglieder der Prüfungskommission bei der Bewertung der Prüfungsleistung auf die Darstellungen im Erwartungshorizont angewiesen. Deshalb soll exemplarisch am Thema 1 (Möglichkeit 1) verdeutlicht werden, wie ein solcher Erwartungshorizont gestaltet werden kann.

Beispiele

Thema 1: Prozesse der Energieumwandlung

Vortrag

Stellen Sie in einem Kurzvortrag verschiedene Möglichkeiten der Erzeugung einer Induktionsspannung dar.

Demonstrieren Sie einige dieser Möglichkeiten. Gehen Sie dabei auf die zugrunde liegenden Gesetze und technischen Anwendungen ein.

Dem Prüfling werden folgende **Geräte** zur Verfügung gestellt:

Spulen, Eisenkern, Potentiometer, Schalter, Stromversorgungsgerät, Verbindungsleiter, Motor-Generator-Modell, Spannungsmessgerät.

Prüfungsgespräch

Möglichkeit 1:

Erläutern Sie an einem selbst gewählten Beispiel, dass im Mikrokosmos Energie gequantelt übertragen wird.

Möglichkeit 2:

- Zur Elektroenergieversorgung können verschiedene Energiequellen genutzt werden. Geben Sie die für Deutschland wesentlichen an und erläutern Sie Vor- und Nachteile der einzelnen Kraftwerksarten.
- Erläutern Sie aus physikalischer Sicht die Begrenztheit des Wirkungsgrades von Wärmekraftwerken.
- Stellen Sie Möglichkeiten dar, den Gesamtwirkungsgrad bei der Nutzung fossiler Brennstoffe zu erhöhen.

Erwartungshorizont

a) unterrichtliche Voraussetzungen

Der Prüfling hat sich im Profulfach Physik mit den Inhalten des Additums „Elektromagnetische Schwingungen und Wellen“ auseinandergesetzt. Er hat sich entschieden, sich in diesem Kurs auf Grundkursniveau prüfen zu lassen. Der Unterricht wurde entsprechend den Rahmenrichtlinien durchgeführt.

b) Beschreibung der erwarteten Prüfungsleistung

Beschreibung der fachlichen Erwartungen

Vortrag:

Aus $U_i = - \frac{d(B \cdot A)}{dt}$ folgen die Spezialfälle

- (1) Änderung der Flussdichte bei konstanter Fläche $U_i = - A \cdot \frac{dB}{dt}$
- (2) Änderung der Fläche bei konstanter Flussdichte $U_i = - B \cdot \frac{dA}{dt}$

Experimentelle Demonstration von mehreren Möglichkeiten zur Realisierung von (1), z. B. Schaltvorgänge, Veränderung der Stromstärke, Abstandsveränderung von Feld- oder Induktionsspule
Erklärung der einzelnen Vorgänge, z. B. mithilfe der Aussage: Jedes sich ändernde Magnetfeld erzeugt ein elektrisches Wirbelfeld.

Experimentelle Demonstration von mehreren Möglichkeiten zur Realisierung von (2), z. B. Drehung der Induktionsspule im Feld der Feldspule, Bewegen eines Drahtes senkrecht zum Feld

Erklärung der einzelnen Vorgänge, z. B. mithilfe der Lorentzkraft

Erläuterung, wie die Möglichkeiten (1) und (2) in verschiedenen technischen Geräten realisiert werden

mögliche Beispiele: Generator, Transformator, Induktionsherd, Antenne, Induktionsschleifen im Straßenverkehr

AFB		
I	II	III
10 %		
	15 %	
		10 %
	15 %	
20 %	20 %	10 %
30 %	50 %	20 %

Prüfungsgespräch:

mögliche Beispiele: Lichtemission und -absorption, Phänomene des Franck-Hertz-Versuch

Beschreibung des Phänomens

Erläuterung der Daten, an denen eine Energiequantelung erkennbar ist

Beschreibung der Energiequantelung mithilfe des Wirkungsquantums

Beschreibung der kommunikativen Erwartungen (vgl. Hinweise im Abschnitt 4.3.4)

Vortrag:

- klare Strukturierung
- Auswahl treffender Beispiele
- Schlüssigkeit der Darstellung
- gute Einbindung der Experimente in Darstellung
- korrekte Verwendung der Fachsprache
- Einbeziehung von erläuternden Skizzen

Prüfungsgespräch:

- Eingehen auf Gesprächsimpulse
- produktiver Umgang mit Kritik

+	-

Bei besonders positiver oder negativer Gesamteinschätzung der kommunikativen Kompetenz wird die Fachleistung bis zu zwei Notenpunkten korrigiert.

Thema 2: Das Fallen von Körpern**Vortrag**

Fast 2000 Jahre galt die Lehrmeinung von Aristoteles: Schwere Körper fallen schneller als leichte. Mit seinen Untersuchungen hat Galilei festgestellt: Im Vakuum fallen alle Körper gleich schnell.

- Untersuchen Sie mit einer Simulation den Einfluss der Masse des Körpers auf seine Endgeschwindigkeit, wenn er in Luft fällt.
- Stellen Sie in einem Vortrag Ihr Vorgehen, Ihre Ergebnisse und Ihre Schlussfolgerungen bzgl. der Lehrmeinungen von Aristoteles und Galilei dar.

Prüfungsgespräch

Vergleichen Sie die Rolle eines Simulationsexperiments und eines Realexperiments hinsichtlich ihrer Rolle bei der Erkenntnisgewinnung an einem Beispiel aus der Relativitätstheorie oder Quantenphysik.

Bemerkung: Aus dem vorangegangenen Unterricht ist dem Prüfling die Arbeit mit dem Simulationsprogramm vertraut.

Thema 3: Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums**Vortrag**

Das Planck'sche Wirkungsquantum wird mithilfe des äußeren lichtelektrischen Effektes und der Gegenfeldmethode bestimmt. Dabei wurden folgende Werte ermittelt:

Frequenz des einfallenden Lichtes f in 10^{14} Hz	5,19	5,50	6,88	7,41
Spannung U in V	0,13	0,27	0,81	1,02

- Erläutern Sie, was man unter dem äußeren lichtelektrischen Effekt versteht und die verwendete Messmethode.
- Stellen Sie die Messwerte in einen $E_{\text{kin}}(f)$ -Diagramm in dem bereitgestellten Koordinatensystem dar und erläutern Sie, wie man daraus die Konstante h ermitteln kann.
- Charakterisieren Sie allgemein, was zufällige und was systematische Fehler sind. Wenden Sie Ihre Aussagen auf dieses Experiment an.

Material: unbeschriftetes Koordinatensystem (günstig als Folie)

Prüfungsgespräch

Durch die Erklärung des äußeren lichtelektrischen Effektes gelangte Einstein zu einem neuen Modell über das Licht.

Charakterisieren Sie weitere Modelle für Licht. Geben Sie für jedes Modell Anwendungen und Grenzen an.

Thema 4: Bewegung von Körpern

Vortrag

Geben Sie einen Überblick über mögliche Bewegungen von Körpern im Gravitationsfeld der Erde. Gehen Sie dabei auf die jeweiligen Bedingungen ein und berücksichtigen Sie auch Bewegungen, die im Vergleich zur Erde klein bzw. groß sind.

Prüfungsgespräch

Bisher wurden Bewegungen makroskopischer Körper untersucht.

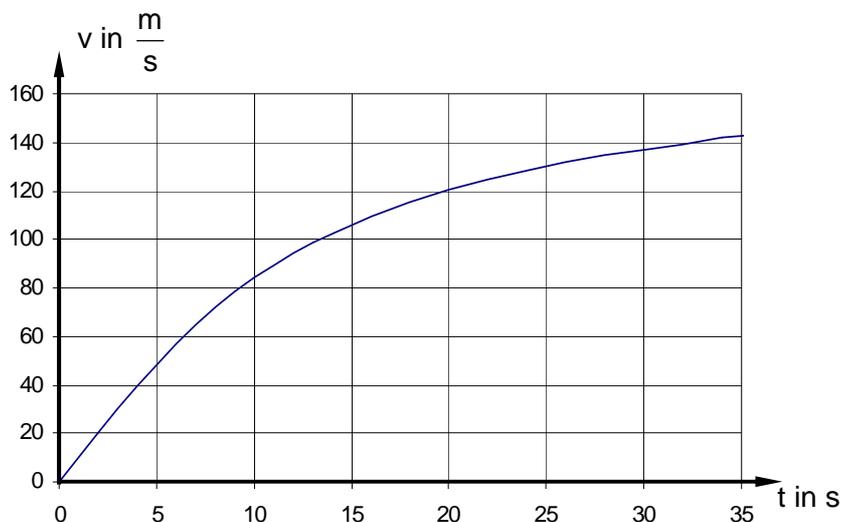
Erläutern Sie an einem Beispiel, welche Besonderheiten bei der Beschreibung der Bewegung mikroskopischer Körper auftreten.

Thema 5: Diagramme zur Auswertung physikalischer Experimente

Vortrag

Experimentelle Daten werden in der Physik zur Auswertung häufig in Diagrammen dargestellt.

In einem Experiment wurde beim Fallen eines Körpers aus großer Höhe seine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Fallzeit gemessen und graphisch dargestellt.



- Interpretieren Sie dieses Diagramm. Begründen Sie insbesondere den Kurvenverlauf.
- Erläutern Sie, wie man mithilfe dieses Diagramms die Beschleunigung ermitteln kann, die der Körper zum Zeitpunkt $t = 20$ s erreicht hat.
- Erläutern Sie, wie man mithilfe dieses Diagramms den vom Körper in den ersten 30 Sekunden zurückgelegten Weg bestimmen kann.

Prüfungsgespräch

Möglichkeit 1:

Häufig ist der Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen nicht linear. Er kann aber z. B. mit einer Exponentialfunktion beschrieben werden.

- Nennen Sie Beispiele für derartige Zusammenhänge aus verschiedenen Gebieten der Physik.
- Beschreiben Sie das prinzipielle Vorgehen der Linearisierung zur Ermittlung des mathematischen Zusammenhangs.

Möglichkeit 2:

Obwohl der theoretische Zusammenhang zwischen zwei Größen linear ist, weichen die Messwerte im Diagramm von dieser Geraden ab.

- Erläutern Sie Ursachen für diese Erscheinung am Beispiel der Einstein'schen Geraden.
- Beschreiben Sie, wie man trotz der Streuung der Messwerte den linearen Zusammenhang ermitteln kann.

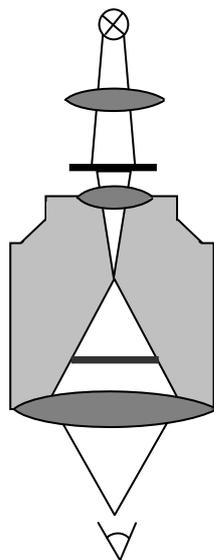
Hinweis: Zur Bearbeitung der Teilaufgabe a sollte dem Prüfling ein entsprechendes Diagramm mit Messpunkten zur Verfügung gestellt werden.

Thema 6: Untersuchung von Mikro- und Makroobjekten**Vortrag**

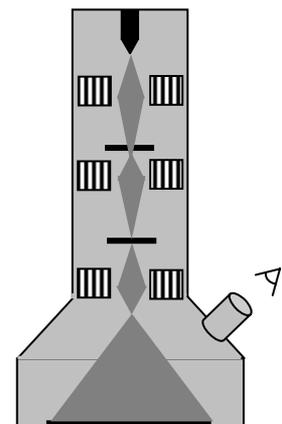
Stellen Sie in einem Kurzvortrag den prinzipiellen Aufbau und die Anwendungen eines Lichtmikroskops bzw. eines Elektronenmikroskops vergleichend gegenüber. Gehen Sie dabei auch auf die jeweiligen Grenzen des Auflösungsvermögens ein. Nutzen Sie für Ihren Vortrag die im Material enthaltenen Abbildungen.

Material

Lichtmikroskop



Elektronenmikroskop



Hinweis: Die Abbildungen sollten dem Prüfling auf einer Folie zur Verfügung gestellt werden.

Prüfungsgespräch

Durch die Verwendung der Elektronen zur Mikroskopie wird die besondere Natur von Mikroobjekten genutzt.

- a) Erläutern Sie, worin sich die Natur von Mikro- und Makroobjekten unterscheidet.
- b) Beschreiben Sie Phänomene, an denen deutlich wird, dass auch Licht (Photonen) diese besondere Natur besitzt.

Thema 7: Die Entstehung von Licht

Vortrag

Sichtbares Licht kann auf zwei prinzipiell verschiedene Arten entstehen: Wärmestrahlung und Quantensprünge von Elektronen in der Atomhülle.

- a) Stellen Sie unter Einbeziehung von Skizzen dar, wodurch das jeweils entstehende Licht charakterisiert ist.
- b) Ordnen Sie die im Material bereitgestellten Spektren den jeweiligen Entstehungsarten begründet zu und erläutern Sie, wie die herrschenden Bedingungen das Spektrum beeinflussen.
- c) Beschreiben Sie an je einem Beispiel, wie die Spektren in der Forschung oder Technik genutzt werden.

Material

- farbige Abbildung des kontinuierlichen Spektrums einer Glühlampe
- farbige Abbildung eines Linienspektrums einer Spektralröhre

Prüfungsgespräch

Möglichkeit 1:

- a) Die Linienspektren werden auf quantenhafte Vorgänge in der Atomhülle zurückgeführt.
- b) Beschreiben Sie weitere Belege für die quantenhafte Natur von Vorgängen in der Mikrowelt.

Möglichkeit 2:

Sonnenkollektoren und Solarzellen nutzen das Sonnenlicht, aber mit einem niedrigen Wirkungsgrad.

Erläutern Sie, warum beide technischen Geräte nur jeweils einen Teil des Spektrums nutzen können und beschreiben Sie für eines dieser Geräte Möglichkeiten zur Erhöhung des Wirkungsgrades.

4.3.3 Kriterien für die Auswahl der Inhalte als Gegenstände der mündlichen Abiturprüfung

(1) Verbindlichkeit für alle

Im Gegensatz zur schriftlichen Prüfung ist es möglich, alle Inhalte der Rahmenrichtlinien – sofern sie Gegenstand des Unterrichts waren – zum Gegenstand der mündlichen Prüfung zu machen. Das gilt ausdrücklich auch für das gewählte Additum und die in der Spalte Hinweise zum Unterricht aufgeführten Inhalte.

(2) In der Qualifikationsphase fortgeführt

Hier gilt das auf den Seiten 62 und 63 für die schriftliche Prüfung Ausgeführte.

(3) Kurshalbjahresübergreifend

Auch die mündlichen Abiturprüfungen müssen folgenden zwei Bedingungen genügen:

- Sie dürfen sich nicht auf die Themenbereiche eines Kurshalbjahres beschränken.
- Sie müssen mindestens zwei der vier in den EPA ausgewiesenen grundlegenden Sachgebiete Felder, Wellen, Quanten und Materie berücksichtigen.

Bei der Aufgabenkonstruktion für Prüflinge, die das Profulfach gewählt haben, kann dieser Forderung durch Berücksichtigung der Addita (die vielfach zu dem in den EPA ausgewiesenen Kern zugerechnet werden) leichter entsprochen werden.

Damit die Aufgaben für Prüflinge, die das Wahlpflichtfach belegt haben, dieser Forderung entsprechen, ist die Übersicht S. 64 entsprechend den gewählten Themen abzuändern und zu ergänzen. Dabei wird deutlich, dass bei der Wahl des Themenbereiches Thermodynamik die zweite Bedingung nur für einige wenige Aufgaben gelingen wird.

Für die im Abschnitt 4.3.2 angeführten Beispiele soll gezeigt werden, wie die beiden Bedingungen der Forderung in der Vortragsaufgabe oder im anschließenden Prüfungsgespräch erfüllt werden.

Aufgabe	Themenbereiche der RRL				Grundlegende Sachgebiete der EPA			
	Mechanik	Thermodynamik	Elektrodynamik	nichtklassische Physik	Felder	Wellen	Quanten	Materie
1								
2								
3								
4								
	Mechanik	Thermodynamik	Elektrodynamik	nichtklassische Physik	Felder	Wellen	Quanten	Materie
5								
6								
7								

Tab. 19: Übersicht über die in den einzelnen Aufgaben einbezogenen Themenbereiche bzw. Sachgebiete

4.3.4 Aspekte der Bewertung

Da in der mündlichen Prüfung sowohl im ersten als auch im zweiten Prüfungsteil kommunikative Kompetenzen wesentlicher Bestandteil der Prüfungsleistung sind, müssen sie bei der Bewertung entsprechend berücksichtigt werden. In die Bewertung der Prüfungsleistung fließen also zwei Komponenten ein:

- (1) Die sachliche Korrektheit des Dargebotenen
- (2) Die Präsentation im ersten Teil der Prüfung und die Gesprächsführung im zweiten Teil

Insbesondere sollten sich alle Mitglieder des Fachprüfungsausschuss darüber einig sein, unter welchen Bedingungen die Note „ausreichend“ gegeben werden kann.

- Bei einer Gesamtnote, die besser als „ausreichend“ ist, muss verlangt werden, dass die fachliche Leistung alleine mindestens „ausreichend“ ist. Der Prüfling kann keine Gesamtnote „ausreichend“ oder besser erhalten, wenn die fachlichen Teilleistungen schlechter sind, auch wenn er eine gelungene Präsentation dieser „nicht ausreichenden“ Inhalte geboten hat.

- Umgekehrt kann eine ordentliche fachliche Leistung nicht aufgrund einer schlechten Präsentation mit weniger als „ausreichend“ bewertet werden.

In einer Prüfung, die mit „befriedigend“ bewertet wird, muss der Prüfling den Nachweis erbracht haben, dass er wesentliche Techniken der Präsentation und Gesprächsführung beherrscht. Soll die Prüfung besser als „befriedigend“ bewertet werden, muss der Bereich der Präsentation und Gesprächsführung mehr und mehr an Bedeutung gewinnen. Im Extremfall kann eine sachlich vollständig richtige Darstellung nicht mehr als „gut“ bewertet werden, wenn selbst die elementarsten Regeln des Präsentierens oder des Führens von Gesprächen nicht eingehalten wurden (vgl. /26/, S. 8).

Für die Mitglieder eines Fachprüfungsausschuss ist es in einer mündlichen Prüfung äußerst schwierig, alle wesentlichen Aspekte sowohl aus fachlicher Sicht als auch hinsichtlich der Art und Weise der Darstellung zu erfassen und zu notieren. Deshalb ist es hilfreich, wenn dafür unterstützende Materialien vorbereitet werden.

Das betrifft den Erwartungshorizont, der insbesondere bei relativ offenen Aufgabenstellungen den Mitgliedern der Prüfungskommission ein Bild darüber vermittelt, was vom Prüfling auf der Grundlage des vorangegangenen Unterrichts optimal erwartet werden kann. In diesem Erwartungshorizont sind also die unterrichtlichen Voraussetzungen mit aufzuführen. Im Erwartungshorizont wird auch jeder Teilaufgabe ein Anforderungsbereich und eine Gewichtung innerhalb der Gesamtleistung zugeordnet.

Es hat sich als günstig erwiesen, wenn zur Einschätzung der Leistungen hinsichtlich der Präsentation und Gesprächsführung ein Kriterienkatalog in der Fachschaft erarbeitet und mit den Prüflingen im Vorfeld besprochen wird. Folgende Kriterien könnten, in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung, Bestandteile dieses Katalogs sein:

Prüfungsteil 1 (Vortrag) – Anforderungen an die Präsentation

- Aufbau, Gliederung
- Folgerichtigkeit, Schlüssigkeit
- Komplexität der Darstellung
- Beschränkung auf wesentliche Aussagen
- Auswahl treffender Beispiele
- Verwendung der Fachsprache einschließlich fachspezifischer Darstellungsformen
- Einbindung von Experimenten
- Nutzung von medialen Mitteln
- Einhaltung des Zeitbudgets
- ggf. Darstellung des eigenen Standpunktes

Prüfungsteil 2 (Gespräch) – Anforderungen an Gesprächsführung

- Eingehen auf Gesprächsimpulse
- situationsgerechte Argumentations- und Urteilsfähigkeit
- Akzeptanz konträrer Standpunkte/Argumente
- produktiver Umgang mit Kritik

Für jede mündliche Prüfung kann ein jeweils zutreffender Kriterienkatalog bereitgestellt werden, sodass die Ausschussmitglieder die Kriterien nur noch ankreuzen (trifft zu/trifft nicht zu) oder auf einer Skala (z. B. schlecht ... sehr gut) einschätzen müssen.

Mit beiden Dokumenten gemeinsam wird die Einschätzung der Gesamtleistung des Prüflings wesentlich erleichtert.

5 Literatur

- /1/ Olbertz, Jan-Hendrik: Wir müssen den Kindern etwas abverlangen (Interview). – In: FOCUS Heft vom 20.02.2006. FOCUS Magazin Verlag. München.
- /2/ OECD (Hrsg.): Measuring student knowledge and skills: A new framework for assessment. OECD. Paris 1999.
- /3/ Prenzel, Manfred et al. (Hrsg.): PISA 2003 - Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. Waxmann. Münster, New York, München, Berlin 2004.
- /4/ Prenzel, Manfred et al. (Hrsg.): PISA 2003 – Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland – Was wissen und können Jugendliche? Waxmann. Münster, New York, Berlin 2005.
- /5/ Landesinstitut für Lehrerfortbildung, Lehrerweiterbildung und Unterrichtsforschung von Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Niveaubestimmende Aufgaben für den naturwissenschaftlichen Unterricht Schuljahrgang 6. 2005.
Quelle: <http://www.rahmenrichtlinien.bildung-lsa.de/forum/niveau/nivueb.html>
- /6/ Landesinstitut für Lehrerfortbildung, Lehrerweiterbildung und Unterrichtsforschung von Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Niveaubestimmende Aufgaben für den naturwissenschaftlichen Unterricht Schuljahrgang 8 Teil: Physik. 2005.
Quelle: <http://www.rahmenrichtlinien.bildung-lsa.de/forum/niveau/nivueb.html>
- /7/ KMK (Hrsg.): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Luchterhand. München 2005.
- /8/ KMK (Hrsg.): Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik. Luchterhand. München 2004.
- /9/ Klieme, Eckhard et al.: Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Eine Expertise. DIPF. Frankfurt am Main 2003.
- /10/ Muckenfuß, Heinz: Lernen im sinnstiftenden Kontext – Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Cornelsen. Berlin 1995.
- /11/ Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Rahmenrichtlinien Gymnasium Physik Schuljahrgänge 6 – 12. Quedlinburg Druck GmbH. Quedlinburg 2003.
- /12/ Willer, Jörg: Didaktik des Physikunterrichts. Harri Deutsch. Frankfurt am Main 2003.
- /13/ Braun, Jan Peter: Physikunterricht neu denken. Harri Deutsch. Frankfurt am Main 1999.
- /14/ Spitzer, Manfred: Selbstbestimmen – Gehirnforschung und die Frage: Was sollen wir tun? Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin 2004.
- /15/ Leisen, Josef: Bildungsstandards Physik: der Kompetenzbereich „Kommunikation“. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik Heft 87. Friedrich. Velber 2005.
- /16/ Leisen, Josef: Förderung des Sprachlernens durch den Wechsel von Symbolisierungsformen im Physikunterricht. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik Heft 2/47. Aulis. Köln 1998.
- /17/ Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Rahmenrichtlinien Gymnasium Deutsch Schuljahrgänge 6 - 12. Quedlinburg Druck GmbH. Quedlinburg 2003.
- /18/ <http://www.mfk.uni-erlangen.de/~bewerten/bewertungsverfahren.html>
(Stand: 03.08.2006)

- /19/ <http://www.treffpunkt-ethik.de/default.asp?id=770> (Stand: 03.08.2006)
- /20/ http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/uin/kap_33.html
(Stand: 03.08.2006)
- /21/ KMK (Hrsg.): Vereinbarung über die Abiturprüfung der gymnasialen Oberstufe. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 13.12.1973 i. d. F. vom 16.06.2000).
- /22/ Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Vorbereitung und Durchführung der Abiturprüfung. RdErl. des MK vom 17.01.2001. In: SVBl. LSA Nr. 3/2001 vom 20.03.2001.
- /23/ Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Vorbereitung und Durchführung der Abiturprüfung: Änderung. RdErl. des MK vom 21.09.2004. In: SVBl. LSA Nr. 12/2004 vom 20.10.2004.
- /24/ Ministerium für Justiz des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Verordnung über die gymnasiale Oberstufe (Oberstufenverordnung) vom 24.03.2003. In: GVBL LSA Nr. 8/2003, ausgegeben am 28.03.2003.
- /25/ Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Vorläufige Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik. Druckerei und Verlag Gebr. Garloff. Magdeburg 1995.
- /26/ Pommeranz, Hans-Peter: Von guten Aufgaben zu anspruchsvollen Klassenarbeiten. LISA. Halle 2005.
- /27/ Kranzinger, Franz et al.: Vorbereitung und Durchführung der mündlichen Abiturprüfung im Fach Physik. Unter: http://www.schule-bw.de/schularten/gymnasium/abitur/abitur2/handreichungen_mue/physik_alle.pdf
(Stand: 16.04.2006)