

Sicher experimentieren in Physik

Fachliche Grundlagen und
praktische Hinweise zur Erstellung
von Gefährdungsbeurteilungen

Gymnasium





STAATSINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT
UND BILDUNGSFORSCHUNG
MÜNCHEN



Akademie
für Lehrerfortbildung
und Personalführung

SICHER EXPERIMENTIEREN IN PHYSIK

Fachliche Grundlagen und praktische Hinweise
zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen

München/Dillingen 2017

Vorwort	3
1. Unfallprävention und Sicherheitserziehung	4
2. Ziele dieser Handreichung	5
3. Gefährdung und Risikoeinschätzung – theoretischer Hintergrund	7
4. Unterweisungen, Betriebsanweisungen und Tätigkeitsbeschränkungen	11
4.1 Die Unterscheidung von Lehrerexperiment, Experiment mit Schülerbeteiligung und Schülerexperiment.....	11
4.2 Unterweisungen, Betriebsanweisungen und die Aufsichtspflicht.....	12
4.3 Tätigkeitsbeschränkungen beim Experimentieren.....	15
5. Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten	17
5.1 Gefährdung durch mechanische Einwirkung.....	17
5.2 Elektrische Gefährdung.....	20
5.3 Thermische Gefährdung.....	28
5.4 Gefährdung durch elektromagnetische Strahlung im nahen IR-, optischen und nahen UV-Bereich.....	31
5.5 Gefährdung durch ionisierende Strahlung.....	35
5.6 Gefährdung durch Lärm.....	42
5.7 Gefährdung durch Tätigkeiten mit Maschinen und Geräten.....	44
5.8 Gefahrstoffe.....	46
6. Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis	53
6.1 Grundsätzliches zu Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis.....	53
6.2 Erstellen von Gefährdungsbeurteilungen (Formular).....	54
6.3 Die Bedeutung von Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis.....	56
7. Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen	58
7.1 Übersicht.....	58
7.2 Beispiele für Gefährdungsbeurteilungen.....	59
Anhang	
I Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen (Druckvorlage).....	102
II Betriebsanweisungen für Schülerinnen und Schüler: Verhalten in Fachräumen der Physik, Verhalten beim Experimentieren.....	103
III Linkliste zum Thema Sicherheit.....	105



Vorwort

Als zu Beginn des Schuljahres 2013/14 in Bayern die bundesweiten neuen Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) i. d. F. vom 27.02.2013 in Kraft gesetzt wurden (KWMBI Nr. 15 vom 19. August 2013), kam unter den Physiklehrkräften des Gymnasiums, z. B. an Fachbetreuer tagungen in den verschiedenen Regierungsbezirken, eine lebendige Diskussion darüber in Gang, wie bestimmte Vorgaben der neuen RiSU für das Fach Physik in der Praxis umzusetzen seien. Insbesondere war vielen Kolleginnen und Kollegen unklar, wie die schriftliche Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen effektiv im Unterrichtsalltag zu erfolgen hat. Die Vorgabe, bei Experimenten auftretende Gefährdungen und Schutzmaßnahmen dokumentieren zu müssen, erschien einer Reihe von Lehrkräften, angesichts eines als gering eingeschätzten Unfallaufkommens im Physikunterricht einerseits und eines befürchteten hohen Zeitaufwands zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen andererseits, als nicht gerechtfertigt.

Die Broschüre „Schülerunfallgeschehen 2013“¹ weist für das Jahr 2013 insgesamt rund 1,2 Mio. meldepflichtige Unfälle² auf, davon ca. 180 000 an Gymnasien in Deutschland. Das Unfallgeschehen im Fach Physik wird nicht eigens ausgewiesen, allerdings wird das Merkmal „Art der Verletzung“ statistisch erfasst. Nach Auskunft der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung ereigneten sich an Gymnasien in Deutschland im Durchschnitt der letzten fünf Jahre mit der Merkmalsausprägung „Elektrizitätseinwirkung“ rund 50 meldepflichtige Unfälle pro Jahr und mit der Merkmalsausprägung „Verletzungsbewirkender Gegenstand“ (z. B. heißer Gegenstand) rund 440 meldepflichtige Unfälle pro Jahr. Wenn eine Lehrkraft ein Unfallereignis beim Experimentieren im eigenen Physikunterricht nicht vermeiden konnte, so ist die erstellte Gefährdungsbeurteilung ein wichtiger Beleg für die eingehaltene Sorgfaltspflicht bei der Vorbereitung und Durchführung des Experiments.

Diese Handreichung bietet den Lehrkräften, zugeschnitten auf den Physikunterricht am bayerischen Gymnasium, Umsetzungshilfen zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen sowie ein Kompendium hierfür notwendigen Fachwissens zu den verschiedenen Gefährdungsarten. Die Autoren möchten mit dieser Veröffentlichung die große Bedeutung von Unfallprävention und Sicherheitserziehung (siehe Kapitel 1), die im Unterricht grundgelegt wird und auf das Freizeitverhalten der Schülerinnen und Schüler einwirkt, herausstellen.

Der Entschluss, die Handreichung „Sicher experimentieren in Physik“ zu erstellen, geht auf eine Initiative der MB-Fachreferenten und Seminarlehrer des Faches Physik auf der Frühjahrstagung 2014 in Dillingen zurück und wurde in der Folge durch eine intensive Zusammenarbeit des Staatsinstituts für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) und der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) zielstrebig umgesetzt.

Bedanken möchte sich das Redaktionsteam bei allen Unterstützern dieser Handreichung, insbesondere bei Herrn Walter Schreiber von der Kommunalen Unfallversicherung Bayern und bei anderen externen Beratern, u. a. vom Bayerischen Landesamt für Umwelt und vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, die das Kapitel „Gefährdung durch ionisierende Strahlung“ bzw. das Kapitel „Gefahrstoffe“ begutachtet und für fachlich einwandfrei erachtet haben.

München/Dillingen 2017

Das Redaktionsteam

1 http://www.dguv.de/medien/inhalt/zahlen/documents/schueler/statistik_info_2013.pdf (Stand 02.06.2016)

2 Als meldepflichtiger Unfall wird gezählt, wenn der Versicherte nach dem Unfall ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen musste. Kleinere „Bagatelunfälle“ sind also nicht Bestandteil der Schülerunfallstatistik.

1 Unfallprävention und Sicherheitserziehung

Im Wesentlichen lassen sich zwei Gründe anführen, weshalb Physiklehrkräfte dem Thema „Sicherheit“ einen hohen Stellenwert einräumen sollten. Einerseits sind die Physiklehrerinnen und -lehrer dazu verpflichtet, Sorge zu tragen, dass im Unterricht niemand, weder die Schülerinnen und Schüler noch die eigene Person, gefährdet oder gar geschädigt wird (Unfallprävention). Andererseits ist es ein zentrales Bildungs- und Erziehungsziel des Physikunterrichts, dass Schülerinnen und Schüler sicherheitsgerechtes Handeln erlernen und sowohl im Unterricht als auch außerhalb der Schule zunehmend selbständig für die eigene Sicherheit und die Sicherheit anderer Personen Verantwortung übernehmen (Sicherheitserziehung) ([2], 6.1).

Beide Gesichtspunkte - Unfallprävention und Sicherheitserziehung - sind eng miteinander verbunden. Indem die Physiklehrkraft im Unterricht ein besonderes Augenmerk auf sicherheitsrelevante Aspekte (insbesondere beim Experimentieren) legt, prägt sie aufgrund ihrer Vorbildfunktion das Sicherheitsverhalten der Schülerinnen und Schüler. Um dieses implizite pädagogische Wirken zu unterstützen, sollte an geeigneten Stellen des Unterrichts auch eine explizite Anleitung der Schülerinnen und Schüler zum sicherheitsgerechten Verhalten in der jeweiligen Situation (z. B. Durchführung eines bestimmten Schülerexperiments) erfolgen ([2], 6.3). Nur so kann der Blick der Jugendlichen für Gefahren, z. B. beim Umgang mit technischen Geräten, geschärft werden. Das Fach Physik vermittelt viele Kenntnisse, u. a. zur Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Optik und Kernphysik, die unerlässlich sind, um Gefahren erkennen und einschätzen zu können. Entsprechend viele Chancen bieten sich für die Lehrkraft, Sicherheitsaspekte selbst zum Thema des Unterrichts zu machen, z. B. durch kontextbezogene Einstiege in neue Themengebiete, durch Übungsaufgaben, Lehrervorträge oder Unterrichtsgespräche. Das Thema „Sicherheit“ kann Schülerinnen und Schüler für das Fach Physik motivieren, da es ihnen die große Bedeutung physikalischer Erkenntnisse sowohl für die Gewährleistung des Personenschutzes in vielen Alltagssituationen als auch für die Bewältigung zukünftiger gesellschaftlicher Herausforderungen aufzeigt.

Die Sicherheit von Personen zu gewährleisten, bedeutet auch Umweltschäden zu vermeiden, die mittelbar die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen beeinträchtigen. So sollte die Lehrkraft, insbesondere was die Abfallvermeidung sowie die Entsorgung von Gefahrstoffen und nicht mehr reparierbaren Geräten angeht, den Schülerinnen und Schülern „im Kleinen zeigen, was im Großen unumgänglich ist“ ([1], S. 185). Unfallprävention und Sicherheitserziehung stehen somit in enger Verbindung mit den Zielen der Gesundheits-, Sozial- und Umwelterziehung.

Quellen:

- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
- [2] Sicherheit in der Schule und gesetzliche Schülerunfallversicherung, Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus vom 11. Dezember 2002 Nr. III/1-S4361-6/101826, KWMBI I Nr. 1/2003



2 Ziele dieser Handreichung

Mit dieser Handreichung werden folgende Ziele verfolgt:

- Das Bewusstsein der Lehrkräfte für die große Bedeutung der Unfallprävention und Sicherheitserziehung (siehe Kapitel 1) soll anhand möglichst vieler Anregungen für die Unterrichtspraxis gestärkt werden.
- Die Autoren möchten Fachwissen zu den auftretenden Gefährdungen im Physikunterricht vermitteln, z. B. zur elektrischen Gefährdung, zur Gefährdung durch Laser- und UV-Licht sowie zur Gefährdung durch ionisierende Strahlung. Das Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“ kann als Quelle im Rahmen der Referendarausbildung verwendet werden, ist aber nicht nur für Berufseinsteiger interessant. Für alle Physiklehrerinnen und -lehrer ist es wichtig, von Zeit zu Zeit ihre Kenntnisse zu sicherheitsrelevanten Aspekten beim Experimentieren aufzufrischen und sich über Neuerungen zu informieren.
- Die Autoren möchten ihren Kolleginnen und Kollegen praktische Hinweise für die schriftliche Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen geben, die durch die In-Kraft-Setzung der KMK-Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (in der Fassung vom 27. Februar 2013) mit Beginn des Schuljahres 2013/14 an allen allgemeinbildenden Schulen in Bayern als verbindliche Vorschrift eingeführt wurde (KWMBI Nr. 15 vom 19. August 2013). Das Kapitel 6 „Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis“ möchte den Lehrkräften die Bedeutung von Gefährdungsbeurteilungen vermitteln und ihnen vor Augen führen, welche Vorteile für sie (und ihre Schülerinnen und Schülern) bei vertretbarem Aufwand durch die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen entstehen.
- Die im Kapitel 7 „Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen“ aufgeführten Beispiele für Gefährdungsbeurteilungen
 - sollen den Lehrkräften möglichst viele Anregungen für sicherheitsbewusstes Experimentieren im Physikunterricht geben,
 - können als Muster für Gefährdungsbeurteilungen von einer einzelnen Lehrkraft, aber auch von allen Mitgliedern einer Fachschaft gemeinsam genutzt werden. Hierbei müssen stets die spezifischen Bedingungen der jeweiligen Schule (z. B. Geräteausstattung) sowie „Reifegrad und Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler“ ([1], S. 14) der jeweiligen Klasse berücksichtigt werden.

Das im Kapitel 7 eingesetzte Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen, dessen Aufbau im Kapitel 6.2 näher erläutert wird, ist universell konzipiert. Dadurch kann es auch bei Experimenten bzw. Geräteeinsätzen, die im Folgenden nicht angesprochen werden, zur Dokumentation einer Gefährdungsbeurteilung eingesetzt werden. Das Formular steht im Anhang I als Druckvorlage zur Verfügung und (zusammen mit dieser Handreichung) auch in digitaler Form auf der Homepage des ISB zum Fach Physik am Gymnasium.

Diese Handreichung kann nicht alle Gefahrensituationen thematisieren, die im Physikunterricht auftreten bzw. auftreten könnten. Mit der „Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen“ in Kapitel 7 werden zwar an konkreten Experimenten alle wichtigen Gefährdungsarten sowie die jeweiligen Schutzmaßnahmen vorgestellt, diese Sammlung darf aber dennoch nicht als vollständig bzw. abgeschlossen aufgefasst werden¹, was angesichts der Vielfalt der experimentellen Möglichkeiten unmittelbar nachvollziehbar ist. Es wird auch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Aussagen dieser Veröffentlichung keinen rechtsverbindlichen Charakter besitzen, sondern vor dem Hintergrund der KMK-Sicherheitsrichtlinien als Anregungen bzw. Umsetzungshilfen für die Praxis aufzufassen sind. Außerdem gilt es zu beachten, dass in der Zukunft, aufgrund notwendig werdender Änderungen von Gesetzen und Verordnungen, voraussichtlich neue Bestimmungen zur Sicherheit im Physikunterricht erlassen werden. Diese Handreichung nimmt weitestgehend auf die aktuellen KMK-Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (in der Fassung vom 27. Februar 2013) Bezug².

1 Auf der ISB-Homepage zum Fach Physik am Gymnasium stehen (zusammen mit dieser Handreichung) die im Kapitel 7 abgedruckten Gefährdungsbeurteilungen in editierbarer Form zum Download bereit. Eine Übersicht zu den insgesamt beurteilten Experimenten befindet sich auf den Seiten 58 und 59.

2 Es wird darauf hingewiesen, dass in dieser Handreichung der Wortlaut der KMK-Sicherheitsrichtlinien stellenweise unverändert übernommen wird (ohne dies stets zu kennzeichnen).

Da die Autoren Gymnasiallehrer sind, ist an vielen Stellen ein direkter Bezug zum gymnasialen Unterricht zu erkennen. Die erstellten Gefährdungsbeurteilungen gehen von einer Durchführung der Experimente am Gymnasium aus. Die auf den Seiten 58 und 59 abgedruckte Übersicht der Gefährdungsbeurteilungen zeigt dementsprechend eine Zuordnung der einzelnen Experimente zu den gymnasialen Jahrgangsstufen. Dieser Zuordnung liegt der LehrplanPLUS, der im Schuljahr 2017/18 am Gymnasium in Kraft gesetzt werden soll, zu Grunde. Grundsätzlich versucht diese Handreichung allerdings, insbesondere im Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“, dem Informationsbedarf von Physiklehrkräften aller Schularten zum Thema „Sicherheit“ Rechnung zu tragen. Auch das bereits angesprochene Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen ist schulartübergreifend einsetzbar.

Neben den Lehrkräften sind verschiedene andere Personengruppen im Rahmen ihrer jeweiligen Zuständigkeit angehalten, die Vorgaben der KMK-Sicherheitsrichtlinien bestmöglich in der Praxis umzusetzen, u. a. Schulleiterinnen und Schulleiter, Verantwortliche bei den Sachaufwandsträgern der Schulen und auch Fachbetreuer bzw. Sammlungsleiter. Diese Handreichung richtet sich vorrangig an Physiklehrerinnen und -lehrer. Dementsprechend finden sich im Folgenden z.B. keine detaillierten Hinweise zur Ausstattung von Fachräumen oder zu Aufgaben von Schulleiterinnen und Schulleitern sowie von Sammlungsleitern im Zusammenhang mit den KMK-Sicherheitsrichtlinien. Mit dieser Veröffentlichung sollen primär die Lehrkräfte dabei unterstützt werden, einem an sie gestellten hohen Anspruch an Professionalität bestmöglich gerecht zu werden, wie er z.B. in den folgenden Worten der KMK-Sicherheitsrichtlinien deutlich wird: „Für Tätigkeiten bei der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung des eigenen Unterrichts, einschließlich der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung ist die Lehrkraft verantwortlich“ ([1], S. 14).

Quellen:

[1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013



3 Gefährdung und Risikoeinschätzung – theoretischer Hintergrund

Eine *Gefährdung* liegt im Allgemeinen dann vor, wenn eine Person räumlich und zeitlich in Kontakt mit verletzungsbewirkenden Faktoren (Gefahren, Gefahrenquellen) kommen kann. Der Begriff Gefährdung erfasst somit die Möglichkeit eines Schadens bzw. Unfalls oder einer gesundheitlichen Beeinträchtigung einer Person, ohne dass bestimmte Anforderungen an deren Ausmaß oder die Eintrittswahrscheinlichkeit gestellt werden. In dieser Handreichung werden die nachfolgend aufgeführten *Gefährdungsarten* für den Physikunterricht als besonders relevant erachtet. Im Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“ werden diese im Einzelnen praxisnah erläutert:

- Gefährdung durch mechanische Einwirkung
- Elektrische Gefährdung
- Thermische Gefährdung
- Gefährdung durch elektromagnetische Strahlung im nahen IR-, optischen und nahen UV-Bereich
- Gefährdung durch ionisierende Strahlung
- Gefährdung durch Lärm
- Gefährdung durch Tätigkeiten mit Maschinen und Geräten
- Gefahrstoffe

Bei der Durchführung eines Experiments treten häufig mehrere Gefährdungsarten gleichzeitig auf.

Beispiel: Bei der Demonstration des Hallwachs-Effekts unter Einsatz einer Quecksilberdampf Lampe und Zink-Platte tritt eine Gefährdung durch UV-Strahlung, eine thermische Gefährdung, eine elektrische Gefährdung und im Falle eines Bruchs der Lampe zusätzlich eine mechanische Gefährdung sowie eine Gefährdung durch Gefahrstoffe auf (siehe S. 88).

Eine *Gefährdungsbeurteilung* beginnt mit der systematischen Ermittlung der beim Experiment vorliegenden Gefährdungsarten. Anschließend ist das Risiko bezüglich jeder auftretenden Gefährdung zu beurteilen, um später angemessene Maßnahmen treffen zu können. Das Risiko (R) kann als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit (W), dass ein Schaden eintritt, und den Folgen (F) (bzw. dem Ausmaß des Schadens oder der gesundheitlichen Beeinträchtigung) erfasst werden.

$$\text{Risiko (R)} = \text{Wahrscheinlichkeit (W)} \times \text{Folgen (F)}$$

Das Risiko ist eine „quantifizierte Gefährdung“, die sowohl die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Schadens als auch das Ausmaß der Folgen berücksichtigt.

Die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen ist nicht neu und bekommt im modernen Arbeitsschutz einen zunehmend höheren Stellenwert. Um den theoretischen Hintergrund noch besser zu verdeutlichen, wird im Weiteren ein Verfahren zur *Risikoeinschätzung* (Risikobeurteilung) vorgestellt, wie es in der Information „Leitfaden zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung im Feuerwehrdienst“ ([2]) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung angewendet wird. Es sei ausdrücklich betont, dass dieser Exkurs das Verständnis für grundlegende Begriffe und Denkweisen stärken soll. Keinesfalls wird intendiert, das nachfolgend beschriebene Verfahren zur Risikoeinschätzung in all seiner Ausführlichkeit auf die Situation beim Experimentieren im Physikunterricht zu übertragen (siehe Kapitel 6 „Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis“).

Die Eintrittswahrscheinlichkeit (W) und die Folgen (F) werden jeweils in fünf Kategorien eingeteilt:

Eintrittswahrscheinlichkeit (W)		Folgen (F)	
0	nie (absolut keine Gelegenheit, auf die Gefahr zu treffen)	0	ohne Folgen
1	ausnahmsweise	1	gering leichte, reversible Verletzungen, z. B. kleine Schnittwunden, Abschürfungen, Verstauchungen
2	gelegentlich	2	mäßig schwere Verletzungen, z. B. Knochenbrüche, Verbrennungen 2. Grades
3	wahrscheinlich	4	hoch lebensbedrohliche Verletzungen, schwere bleibende Gesundheitsschäden, z. B. Querschnittslähmung, Erblindung
4	immer	8	Extremfall Tod

(Quelle der Abb.: [2], S. 14)

Mithilfe der Risikomatrix wird nun das Produkt aus dem ermittelten W- und F-Wert gebildet und somit das Risiko R abgeschätzt.

			Risiko R = W x F				
Wahrscheinlichkeit (W)	immer	4	0	4	8	16	32
	wahrscheinlich	3	0	3	6	12	24
	gelegentlich	2	0	2	4	8	16
	ausnahmsweise	1	0	1	2	4	8
	nie	0	0	0	0	0	0
			0	1	2	4	8
			ohne Folgen	gering	mäßig	hoch	Extremfall (Tod)
			Folgen (F)				

(Quelle der Abb.: [2], S. 15)

Es werden vier Risikogruppen **0** **1-2** **3-6** **8-32** eingeführt:

Risikogruppe	Risiko	Maßnahmen
8 - 32	groß	Maßnahmen mit erhöhter Schutzwirkung dringend notwendig
3 - 6	mittel	Maßnahmen mit normaler Schutzwirkung dringend notwendig
1 - 2	klein	Organisatorische und personenbezogene Maßnahmen ausreichend
0	-	keine zusätzlichen Maßnahmen notwendig

(Quelle der Abb.: [2], S. 15)

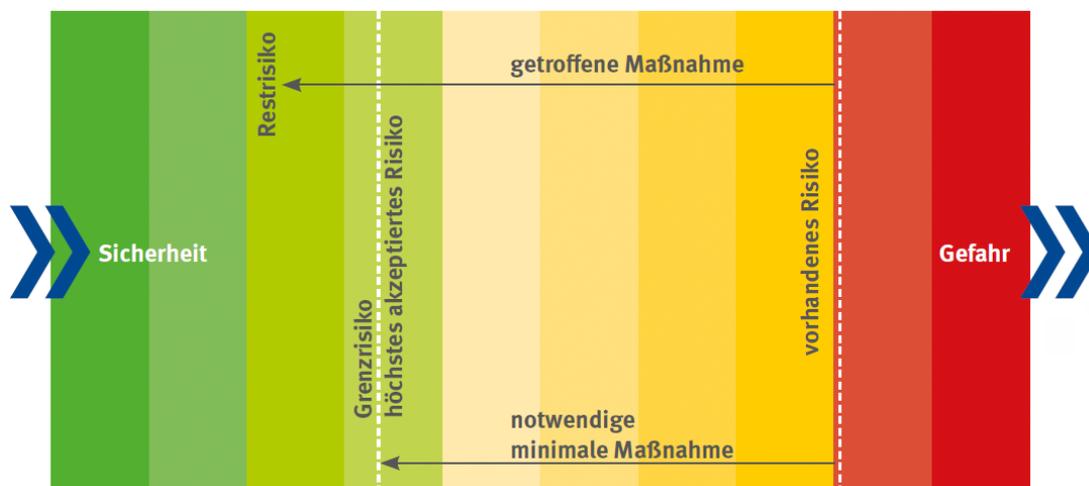


Die Risikogruppe lässt Rückschlüsse auf die Dringlichkeit und die Reichweite der erforderlichen Maßnahmen (siehe S. 55) zu.

Bei der Vorbereitung eines Experiments für den Unterricht führt die Lehrkraft in der Regel zunächst unbewusst eine Risikoabschätzung durch. Die meisten Gefährdungen werden schnell erkannt (z. B. eine Gefährdung beim Einsatz von Laserlicht, eine Gefährdung durch heiße Gegenstände oder hervorstehende Stativstangen) und das Risiko intuitiv als „gering“, „mittel“ oder „hoch“ eingeschätzt, das Risiko also vermutlich eher mit drei Kategorien statt wie oben mit vier Kategorien beurteilt. Erscheint der Lehrkraft das Risiko zu hoch, wird sie über Maßnahmen nachdenken, die das vorhandene Risiko so weit minimieren, dass die Durchführung des Experiments im Unterricht – bei jetzt „geringem Risiko“ – möglich ist.

Getroffene Maßnahmen können sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit (W) für einen Schaden als auch die Folgen (F) (das Schadensausmaß) und entsprechend das Risiko R als Produkt aus W und F minimieren. Beim Versuch mit dem Hörnerblitztransformator (siehe S. 74), bei dem die Folgen als extrem hoch einzustufen sind, muss z. B. die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Lehrkraft umfallende, unter Spannung stehende Hörner im Reflex auffangen will, mit geeigneten Maßnahmen soweit wie möglich minimiert werden. Besteht die Gefahr, dass sich eine Person bei einem Versuchsaufbau an hervorstehenden Teilen beim Vorbeigehen stoßen kann (mechanische Gefährdung), so kann beispielsweise eine angebrachte Polsterung die Folgen F und ein angebrachtes Warnschild die Eintrittswahrscheinlichkeit W herabsetzen. Liegt nach der Einschätzung der Lehrkraft trotz des Ergreifens dieser Maßnahmen immer noch ein nicht akzeptables Restrisiko dafür vor, dass sich eine vorbeilaufende Person z. B. am Auge verletzt, so wird sie nicht umhin kommen, den Versuchsaufbau grundlegend zu überdenken. Die erfahrene Lehrkraft wird eine solche Ersatzprüfung in der Regel bereits vor dem Aufbau des Experiments durchführen, um bereits im Vorfeld Gefährdungen auszuschließen bzw. Risiken zu minimieren und später keine Änderungen des experimentellen Aufbaus vornehmen zu müssen. Dementsprechend wird das im Kapitel 6 „Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis“ vorgestellte Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen (Anhang I) die Ersatzprüfung noch vor einer Tabelle zur Notation der getroffenen Schutzmaßnahmen aufführen.

Mit der folgenden Graphik werden wesentliche Ausführungen dieses Kapitels zusammengefasst.



(Quelle der Abb.: [2], S. 16)

Unter Betrachtung dieser Abbildung können im Hinblick auf die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen folgende Gesichtspunkte reflektiert werden:

- Wird davon gesprochen, dass ein bestimmtes Experiment gefährlich ist, so soll dies im Moment der Durchführung nicht mehr gelten. Nach dem Ergreifen von Schutzmaßnahmen soll das Risiko stets gering sein.
- Einschätzungen zum anfangs vorhandenen Risiko, zum Niveau des höchstens akzeptierten Risikos und zum Restrisiko lassen sich nicht ausschließlich an objektiven Kriterien (z. B. der Klasse eines eingesetz-

ten Lasers, den Kenndaten einer Elektrizitätsquelle oder der Ausstattung des Fachraums) festmachen, sondern sind ebenfalls von personalen Aspekten abhängig (z. B. der Berufserfahrung und den Fachkenntnissen der Lehrkraft sowie der pädagogischen Situation in der Klasse), die von der jeweiligen Lehrkraft in die Beurteilung eingebracht werden. Deshalb sind prinzipielle Aussagen wie „der Versuch ist bedenkenlos durchführbar“ oder „der Versuch ist zu gefährlich“ nicht sachgerecht. Auch als kurz ausgesprochene Empfehlungen, z. B. unter Mitgliedern einer Fachschaft, greifen diese Aussagen zu kurz. Das im Kapitel 6.2 vorgestellte Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen weist für die Ergebnisformulierung deshalb folgenden Schlusssatz auf: „Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse zum Experiment sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation, Verhalten der Schülerinnen und Schüler) durchgeführt/nicht durchgeführt werden.“

- Es gibt keine absolute Sicherheit, was im Begriff Restrisiko deutlich wird.
- Sicherheitsbewusstsein zeichnet sich durch die Vermeidung von Leichtsinn ebenso wie von Überängstlichkeit aus. Dementsprechend sind weder Maßnahmen mit zu geringer („Tropfen auf den heißen Stein“) noch Maßnahmen mit übertriebener Reichweite („mit Kanonen auf Spatzen schießen“) angemessen. Das experimentelle Geschick einer Lehrkraft zeigt sich nicht nur darin, dass sie stimmige Messwerte erhält und Phänomene für alle Schülerinnen und Schüler gut sichtbar experimentell präsentiert, sondern sollte auch im Hinblick darauf beurteilt werden, ob Gefährdungen sachgerecht bewertet und mit richtigem Maß und Ziel Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Quellen:

[1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013

[2] DGUV Information 205-021 „Leitfaden zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung im Feuerwehrdienst“, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), BGI/GUV-I 8663, Oktober 2012



4 Unterweisungen, Betriebsanweisungen und Tätigkeitsbeschränkungen

4.1 Die Unterscheidung von Lehrerexperiment, Experiment mit Schülerbeteiligung und Schülerexperiment

Das Ergebnis einer Gefährdungsbeurteilung wird entscheidend davon beeinflusst, ob ein Lehrerexperiment, ein Experiment mit Schülerbeteiligung oder ein Schülerexperiment vorliegt. Die Beurteilung des vorhandenen Risikos, z. B. beim Einsatz eines bestimmten Lasers, elektrischen Netzgeräts oder radioaktiven Präparats, hängt davon ab, ob ausschließlich die Lehrkraft experimentell tätig wird oder beim Experimentieren eine mehr oder weniger starke Schülerbeteiligung vorliegt. Die Unterscheidung der obigen drei Arten von Experimenten wird deshalb auch gleich zu Beginn des Formulars zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen (siehe Anlage I und Kapitel 6.2) getroffen. Im Folgenden soll kurz erläutert werden, was Experimente mit Schülerbeteiligung von Schülerexperimenten unterscheidet, insbesondere im Hinblick auf die Gewährleistung der Sicherheit der jeweils beteiligten Personen. In der Unterrichtspraxis werden Experimente mit Schülerbeteiligung u. a. dann durchgeführt, wenn einer oder mehrere der folgenden Gründe vorliegen:

- Um das Experiment als Schülerexperiment durchzuführen, stehen die Geräte nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung (z. B. Zentripetalkraftgerät).
- Die Durchführung des Experiments erfordert die Beteiligung mehrerer Personen (z. B. Demonstration des Wechselwirkungsgesetzes mit Personen auf Skateboards).
- Es soll ein experimentelles Schülerreferat durchgeführt werden.
- Die Mitwirkung von Schülerinnen und Schülern an bewusst ausgewählten Teilen des Experiments soll den Fokus auf bestimmte Aspekte der experimentellen Kompetenz legen und die Aufmerksamkeit sowie Motivation der Schülerinnen und Schüler steigern (z. B. Bestimmung der Umlaufdauer einer Kreisbewegung mithilfe ausgeteilter Stoppuhren, Messen der Abstände von Interferenzmaxima beim Gitterversuch mit Laserlicht).
- Eine Schülerin oder ein Schüler soll der Lehrkraft den sachgemäßen Aufbau eines Experiments (z. B. sachgerechter Umgang mit einem Stromstärke- und Spannungsmessgerät) demonstrieren.

Bezüglich der Beteiligung von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren wird in den KMK-Sicherheitsrichtlinien wie folgt resümiert: „Die Mithilfe von Schülerinnen und Schülern beim Heranholen von Geräten und Stoffen, beim Aufbau der Geräte und bei der Durchführung von Versuchen ist nur erlaubt, wenn damit weder für sie noch für Dritte eine gesundheitliche Gefährdung zu befürchten ist“ ([1], S. 16). Für die Unfallprävention und Sicherheitserziehung ist es also von entscheidender Bedeutung, dass die Lehrkraft vor dem Unterricht reflektiert, an welchen Teilen der experimentellen Durchführung sie Schülerinnen und Schüler beteiligen will und insbesondere an welchen Teilen sie eine Mitwirkung aus Sicherheitsgründen gezielt ausschließen möchte. Entsprechende Überlegungen der Lehrkraft führen schließlich im Unterricht zu einer bewussten und genauen Instruktion der beteiligten Schülerinnen und Schüler. Die Lehrkraft weist die Schülerinnen und Schüler explizit auf Gefährdungen zum betreffenden Experiment hin und gibt ihnen Anweisungen, auf was sie zu achten haben und was sie nicht tun dürfen. Bei der nachfolgenden Durchführung des Experiments mit Schülerbeteiligung beaufsichtigt die Lehrkraft die mitwirkenden Schülerinnen und Schüler permanent und besonders intensiv.

Beim klassischen Schülerexperiment, bei dem die Schülerinnen und Schüler mit den Geräten weitgehend selbständig umgehen, ist in der Regel lediglich eine Aufsicht der Lehrkraft im Rahmen ihrer Dienstpflicht möglich. Es versteht sich von selbst, dass eine Lehrkraft bei einer Klassenstärke von ca. dreißig Personen nicht stets alle Schülerinnen und Schüler während der Durchführung eines Schülerexperimentes unmittelbar im Blick haben kann. Umso wichtiger ist es, dass die Lehrkraft in diesem Fall Schülerexperimente mit nur geringem Risiko auswählt oder ggf. durch geeignete Schutzmaßnahmen beachtenswerte Risiken ausreichend minimiert. Vor der Durchführung von Schülerexperimenten sind generell Instruktionen (siehe Kapitel 4.2) der Schülerinnen und Schüler sowie Einschätzungen der Lehrkraft zu Kenntnisstand, Verhalten und Reifegrad der Jugendlichen unerlässlich.

Im nachfolgenden Kapitel 4.2 wird auf „Unterweisungen, Betriebsanweisungen und die Aufsichtspflicht“ näher eingegangen. Auf „Tätigkeitsbeschränkungen beim Experimentieren“, die z. B. für Schülerinnen und Schüler beim Umgang mit elektrischen Netzgeräten oder Maschinen und Geräten gelten, wird im Kapitel 4.3 und im nachfolgenden Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“ hingewiesen.

4.2 Unterweisungen, Betriebsanweisungen und die Aufsichtspflicht

a) Unterweisungen und Betriebsanweisungen für Lehrerinnen und Lehrer

Unter Betriebsanweisungen versteht man grundsätzlich arbeitsbereichs-, tätigkeits- oder gerätebezogene schriftliche Anordnungen des Arbeitgebers, in denen auf die mit dem Umgang mit Gefahrstoffen und Arbeitsmitteln (Geräte, Maschinen, Anlagen, Werkzeuge) verbundenen Gefährdungen für Mensch und Umwelt hingewiesen wird und die erforderlichen Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln festgelegt sind. Sie enthalten außerdem Anweisungen für das Verhalten im Gefahrenfall, zur Ersten Hilfe und für die sachgerechte Entsorgung gefährlicher Abfälle.

Im schulischen Umfeld ist die Schulleiterin oder der Schulleiter dafür verantwortlich, dass Betriebsanweisungen erstellt werden. Allerdings besteht für die Schulleiterinnen und Schulleiter die Möglichkeit, bestimmte Aufgaben, die sich aus dieser Verantwortung ergeben, auf Lehrkräfte schriftlich zu übertragen, die in dem zu übertragenden Bereich fachkundig sind und eigenverantwortlich tätig werden ([1], S. 14).

Neben der Erstellung von schriftlichen Gefährdungsbeurteilungen, für die jede einzelne Lehrkraft verantwortlich ist ([1], S. 14), stellen die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht die Aufgabe von Führungskräften (Schulleitung, Fachbetreuer, Sammlungsleiter) heraus, schriftliche Betriebsanweisungen zu erstellen. Wie bereits im Kapitel 2 „Ziele dieser Handreichung“ betont, konzentriert sich diese Veröffentlichung, was die Umsetzung der KMK-Sicherheitsrichtlinien betrifft, auf Aufgaben, die alle Physiklehrkräfte bei der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung des Unterrichts betreffen. Dementsprechend werden im Folgenden nur ein paar Hinweise zu Betriebsanweisungen zusammengestellt.

In den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht wird die Erstellung von Betriebsanweisungen eingehend für den Umgang mit Gefahrstoffen und für Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen erläutert:

- Wenn die Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass durch die Tätigkeit mit Stoffen oder Gemischen eine mehr als geringe Gefährdung besteht, müssen Betriebsanweisungen erstellt werden und die Beschäftigten über die Tätigkeit mit den Gefahrstoffen unterwiesen werden ([1], S. 38).
- Die Lehrerinnen und Lehrer, die mit Gefahrstoffen umgehen, müssen vor Aufnahme der Tätigkeiten anhand der Betriebsanweisung über auftretende Gefährdungen und entsprechende Schutzmaßnahmen unterwiesen werden. Eine Unterweisung der Lehrkräfte nach der Gefahrstoffverordnung erfolgt in der Folge mindestens einmal jährlich ([1], S. 38, S. 118 ff.).
- Für Schülerinnen und Schülern, die mit Gefahrstoffen zu tun haben, ist eine allgemeine Unterweisung zu Beginn eines jeden Schulhalbjahres durchzuführen ([1], S. 38, S. 122 f.).

Dies betrifft im Allgemeinen die Kolleginnen und Kollegen der Fachschaft Chemie sowie deren Schülerinnen und Schüler. Physiklehrkräften wird in diesem Zusammenhang, insbesondere was die allgemeine Unterweisung der Schülerinnen und Schüler im Umgang mit Gefahrstoffen angeht, die Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen der Fachschaft Chemie empfohlen.

Für das Fach Physik werden im Folgenden kurz arbeitsbereichs- sowie gerätebezogene Betriebsanweisungen in den Blick genommen. Arbeitsbereichsbezogene Betriebsanweisungen fassen Verhaltensgrundsätze für den Aufenthalt in Räumen zusammen, in denen prinzipiell Gefährdungen auftreten können. Diese Dokumente müssen in den entsprechenden Räumen, also z. B. in der physikalischen Sammlung, durch Aushang zugänglich sein. Physiklehrkräfte, die Zugang zur Chemiesammlung haben, berücksichtigen eine dort aushängende Betriebsanweisung. In jedem Lehr- und Übungsraum sollte außerdem eine allgemeine Betriebsanweisung für Schülerinnen und Schüler zum Verhalten in Fachräumen der Physik aushängen (siehe den folgenden Abschnitt b)).



In den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht finden sich leider keine Beispiele für Betriebsanweisungen, die sich auf Geräte oder Maschinen der Physiksammlung beziehen. Die Musterbetriebsanweisungen, die in den Anlagen der Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht u. a. für Arbeiten mit dem Dampfdruckkochtopf ([1], S. 206) sowie für Arbeiten mit Mikroorganismen ([1], S. 207 f.) zusammengestellt sind, vermitteln allerdings, wie gerätebezogene Betriebsanweisungen prinzipiell aufgebaut sind:

- Anwendungsbereich
- Gefahren für Mensch und Umwelt
- Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln
- Verhalten im Gefahrenfall
- Erste Hilfe
- Instandhaltung und Entsorgung

Gebrauchsanleitungen der Gerätehersteller sind nicht arbeitsplatzbezogen und können deshalb gerätebezogene Betriebsanweisungen nicht ersetzen, jedoch wichtige Informationen für die Erstellung von solchen Betriebsanweisungen liefern. Prinzipiell ist eine gerätebezogene Betriebsanweisung zu erstellen, wenn die Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass durch die Tätigkeit mit dem Stoff, Gerät, Werkzeug oder der Maschine eine mehr als geringe Gefährdung besteht und diese Gefährdung nicht offensichtlich ist (z. B. Gefahrstoffe, Laser oder Standbohrmaschine im Gegensatz zu einer Schere oder Heizplatte). Für die Physiksammlung sind beispielsweise Betriebsanweisungen für das Arbeiten mit berührungsfähigen Spannungen, Hochspannungsnetzgeräten, Lasern, radioaktiven Präparaten usw. sinnvoll.

b) Allgemeine Unterweisungen und Betriebsanweisungen für Schülerinnen und Schüler

Um den Schülerinnen und Schülern gleich zu Beginn eines Schuljahres die große Bedeutung von sicherheitsbewusstem und verantwortungsvollem Handeln im Physikunterricht zu verdeutlichen, sollte mit ihnen eine allgemeine Betriebsanweisung zum Verhalten in Fachräumen der Physik besprochen werden. Wesentliche Elemente einer solchen Betriebsanweisung sind:

- Betreten eines Physik-Fachraums nur unter Aufsicht der Physiklehrerin oder des Physiklehrers,
- allgemeine Regeln zum Verhalten in Fachräumen (z. B. kein Essen und Trinken),
- Verhalten im Gefahrenfall und bei einem Unfall (z. B. Lage und Bedienung der Not-Aus-Schalter, Hinweis auf Löscheinrichtungen und Fluchtwege).

Eine exemplarische Betriebsanweisung zum Verhalten in Physik-Fachräumen findet sich im Anhang II³. Da eine solche arbeitsbereichsbezogene Betriebsanweisung in jedem Lehr- und Übungsraum (z. B. durch Aushang) allgemein zugänglich ist ([1], S. 15), kann auf diese auch verwiesen werden, wenn das Verhalten von Schülerinnen und Schülern Anlass zu Beanstandungen geben sollte.

Außer zum allgemeinen Verhalten in Physik-Fachräumen werden die Schülerinnen und Schüler auch zum Verhalten beim Experimentieren unterwiesen. Es empfiehlt sich, die grundsätzlichen Regeln, die von den Jugendlichen bei der Durchführung von Schülerexperimenten einzuhalten sind, ebenfalls in einer schriftlichen Betriebsanweisung festzuhalten. Im Anhang II ist auch dazu ein Muster einer solchen Betriebsanweisung zum „Verhalten beim Experimentieren“ abgedruckt. Um die Verbindlichkeit einer solchen Anweisung aus der Sicht der Schülerinnen und Schüler zu erhöhen, wird im Artikel „Sicherheit und Sicherheitserziehung“ ([2], S. 8) vorgeschlagen, diese Anweisung in Form eines Vertrags zwischen den Schülern und der Lehrkraft zu gestalten. Der „Vertrag“ wird den Schülerinnen und Schülern erläutert oder gemeinsam mit ihnen erstellt und mit den Unterschriften aller Beteiligten „in Kraft gesetzt“. Es ist denkbar, dass allgemeine Betriebsanweisungen für Schülerinnen und Schüler der obigen Art ausgeteilt und ins Schulheft oder in ein Laborbuch, das zum Protokollieren von Schülerexperimenten geführt wird, eingeklebt werden.

3 Die im Anhang II abgedruckten allgemeinen Betriebsanweisungen für Schülerinnen und Schüler stehen auf der Homepage des ISB zum Fach Physik am Gymnasium (zusammen mit dieser Handreichung) auch in editierbarer Form zum Download zur Verfügung.

c) Versuchsspezifische Unterweisungen der Schülerinnen und Schüler als organisatorische Schutzmaßnahme

Neben den obigen Unterweisungen (anhand schriftlicher Betriebsanweisungen) zu allgemeinen Verhaltensregeln im Physikunterricht erhalten die Schülerinnen und Schüler auch situationsbezogene Instruktionen, z. B. zur sicherheitsgerechten Durchführung eines Experiments oder zu Verhaltensregeln beim Auftreten spezifischer Gefährdungen (z. B. elektrische Gefährdung, Gefährdung durch Laserstrahlung, Gefährdung durch radioaktive Strahlung). In den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht werden Unterweisungen der Schülerinnen und Schüler z. B. explizit bei Versuchen mit gebündeltem Sonnenlicht ([1], S. 92) sowie beim Experimentieren mit SELV- oder PELV-Netzgeräten ([1], S. 228) gefordert. Schülerinnen und Schüler sollten über die elektrische Gefährdung und notwendige Schutzmaßnahmen generell bei Versuchen mit berührungsfähigen Spannungen (siehe S. 20) unterrichtet werden (z. B. Hörnerblitztransformator, siehe S. 74; Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule, siehe S. 96).

Unterweisungen der Schülerinnen und Schüler haben auch bei der Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen eine große Bedeutung. Nach der Ermittlung der bei einem geplanten Experiment konkret auftretenden Gefährdungen notiert die Lehrkraft, beispielsweise in das Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen im Anhang I, sinnvolle Schutzmaßnahmen. Unterweisungen stellen in diesem Zusammenhang eine organisatorische Schutzmaßnahme (siehe S. 55) dar, die Schülerinnen und Schüler über spezifische Gefährdungen bei einem Experiment informiert und Verhaltensregeln bei dessen Durchführung konkretisiert. Entsprechende Instruktionen sind stark vom jeweiligen Experiment abhängig, wie die folgenden Beispiele verdeutlichen:

- Schülerexperiment zur Schmelzsicherung (siehe S. 60):
 - Abstand vom heißen Draht halten;
 - bei langen Haaren achtsam sein oder Haare mit Haargummi zusammenbinden.
- Schülerexperiment zur Reflexion von Laserlicht an einer Spiegelfliese (siehe S. 63):
 - bei unkontrolliertem Einfall von Laserlicht ins Auge kann eine Gesundheitsgefährdung bestehen, deshalb bei Erkennen von Laserlicht sofort „bewusst wegschauen“;
 - den Versuch im Stehen durchführen, sodass die Augen niemals auf der Höhe des Laserstrahls sind;
 - Laserpointer nur auf die Spiegelfliese richten.
- Einweisung im Umgang mit einem Lötkolben ([1], S. 43), z. B. beim Bau eines Elektromotors (siehe S. 71).

Diese Experimente sowie zahlreiche weitere werden im Kapitel 7 „Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen“ im Hinblick auf Gefährdungen und sinnvolle Schutzmaßnahmen genauer beleuchtet. Unterweisungen (Anweisungen oder Instruktionen) der Schülerinnen und Schüler sind nicht nur für Schülerexperimente praxisrelevant. Die gleiche Bedeutung kommt ihnen bei Lehrereperimenten und Experimenten mit Schülerbeteiligung (siehe Kapitel 4.1) zu, nämlich der Unfallprävention und Sicherheitserziehung im Unterricht explizit Ausdruck und Bedeutung zu verleihen.

d) Die Aufsichtspflicht der Lehrkräfte

Wie intensiv eine Lehrkraft Schülerinnen und Schüler beaufsichtigt, hängt zum einen entscheidend von den Tätigkeiten ab, die diese von Fall zu Fall durchführen, und zum anderen vom Alter, von der Reife und vom Kenntnisstand der Jugendlichen ([1], S. 16). Arbeiten die Schülerinnen und Schüler beispielsweise mit Maschinen und Geräten, so geben die KMK-Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht abhängig von der jeweiligen Jahrgangsstufe und der jeweiligen Maschine bzw. dem jeweiligen Gerät entweder

- die Aufsicht im Rahmen der Dienstpflicht,
- ein teilselbständiges Arbeiten im Blickfeld der Lehrkraft oder
- ein Arbeiten unter unmittelbarer Aufsicht (Lehrkraft steht daneben und beaufsichtigt den Vorgang)

vor ([1], S. 43). Deshalb beinhaltet z. B. die Gefährdungsbeurteilung zum Schülerexperiment „Hebelgesetz und Alltagsgegenstände (u. a. Zange, Nageleisen, Baumschere)“ (siehe S. 67) die Empfehlung, Werkzeuge (nach einer Einweisung) nur einem Teil der Klasse zum Arbeiten zur Verfügung zu stellen, um diesen Teil aus-



reichend beaufsichtigen zu können. Liegen hingegen Schülerexperimente mit nur geringen Risiken vor oder trifft die Lehrkraft ausreichende Schutzmaßnahmen gegen auftretende beachtenswerte Gefährdungen, so können auch dreißig Schülerinnen und Schüler gleichzeitig experimentieren. Generell ist eine Lehrkraft bei einem Schülerexperiment oder Experiment mit Schülerbeteiligung (siehe Kapitel 4.1) aufgefordert zu reflektieren, wie intensiv Schülerinnen und Schüler bei bestimmten Tätigkeiten zu beaufsichtigen sind.

Grundsätzlich dürfen sich Schülerinnen und Schüler nicht alleine in naturwissenschaftlichen und technischen Fachräumen aufhalten und dementsprechend sollten Lehrerinnen und Lehrer einen Fachraum während des Unterrichts nicht verlassen. Falls es zwingende Gründe dafür gibt, dass die Schülerinnen und Schüler kurzzeitig ohne Aufsicht im Fachraum sind, so muss die Lehrkraft die zur Unfallverhütung erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen treffen, z. B. den Experimentiertisch in die Sammlung zurückstellen ([1], S. 16).

Die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht erlauben allerdings in Einzelfällen Schülerinnen und Schülern auch ohne ständige Aufsicht das Experimentieren in der Schule, was beispielsweise für die Durchführung von W- und P-Seminaren mit Leitfach Physik von Bedeutung sein kann. Voraussetzung hierfür ist, dass die Lehrkraft „nach den bisherigen Unterrichtserfahrungen mit diesen Schülerinnen und Schülern davon ausgehen kann, dass sie mit den zur Verfügung gestellten Geräten und Chemikalien sachgerecht umgehen. Eine Alleinarbeit von Schülerinnen und Schülern ist nicht erlaubt“ ([1], S. 16). Einer Lehrkraft, die entsprechende Schüler bei der Durchführung eines Experiments im Fachraum zeitweise allein lassen möchte, wird empfohlen, die Schülerinnen und Schüler anhand einer Betriebsanweisung (z. B. Gefährdungsbeurteilung zum Experiment) zu unterweisen. Dabei hat die Lehrkraft auch grundsätzliche Tätigkeitsbeschränkungen der Schülerinnen und Schüler zu beachten, auf die im nachfolgenden Kapitel 4.3 kurz eingegangen wird.

4.3 Tätigkeitsbeschränkungen beim Experimentieren

a) Tätigkeitsbeschränkungen für Lehrerinnen und Lehrer beim Experimentieren

Aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung unterliegen Physiklehrkräfte am Gymnasium prinzipiell keinen Beschränkungen beim Experimentieren, sodass sich ihre Aufmerksamkeit und ihr zeitliches Engagement darauf richten kann, interessante, spannende und lehrreiche Experimente zu planen, aufzubauen und durchzuführen. Insofern die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht Verbote für Lehrkräfte beim Experimentieren formulieren, sind diese unmittelbar nachvollziehbar, z. B. sind an Schülerinnen und Schülern Experimente mit ionisierenden Strahlen und mit berührungsgefährlichen Spannungen (siehe S. 21 f.) verboten ([1], S. 17). Außerdem sind von Physiklehrkräften zu beachten:

- Gerätebezogene Verbote, z. B. ist der Einsatz eines Lasers der Klasse 4 im Unterricht untersagt. Auf Verbote dieser Art wird im Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“ hingewiesen.
- Bestimmungen des Strahlenschutzes, z. B. erforderliche Unterweisungen, die Erreichbarkeit oder sogar Anwesenheit des Strahlenschutzbeauftragten in bestimmten Unterrichtssituationen (siehe Kapitel 5.5 „Gefährdung durch ionisierende Strahlung“).
- Notwendige Kenntnisse über den Umgang mit Gefahrstoffen, die im Zweifelsfall z. B. bei den Kolleginnen und Kollegen der Chemie-Fachschaft in Erfahrung gebracht werden können (siehe Kapitel 5.8; [1], S. 20).

Darüber hinaus muss die Physiklehrkraft natürlich auch über Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler informiert sein.

b) Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren

Der unzureichende Kenntnisstand von Schülerinnen und Schüler, ihr zu geringes Alter, ihre nicht ausreichende Reife oder die Klassensituation können Gründe dafür sein, dass sich eine Lehrkraft prinzipiell oder in der betreffenden Situation dazu entscheidet, ein bestimmtes Experiment im Unterricht nicht zu demonstrieren bzw. als Schülerexperiment durchzuführen. In den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht werden allerdings auch eine Reihe von grundsätzlich zu beachtenden Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht vorgegeben:

- Tätigkeitsbeschränkungen beim Umgang mit elektrischer Energie (siehe Kapitel 5.2; [1], S. 66 ff., S. 222 ff.)

- Tätigkeitsbeschränkungen beim Umgang mit radioaktiven Präparaten und Röntgenröhren
(siehe Kapitel 5.5; [1], S. 62 ff., S. 244 ff.)
- Tätigkeitsbeschränkungen beim Umgang mit Maschinen und Geräten
(siehe Kapitel 5.7; [1], S. 42 ff.)
- Tätigkeitsbeschränkungen beim Umgang mit Gefahrstoffen
(siehe Kapitel 5.8; [1], S. 25 ff.)

Im folgenden Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“ wird im Rahmen einer strukturierten Darstellung der verschiedenen Gefährdungsarten auf die jeweiligen Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren hingewiesen.

Quellen:

- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
 [2] Sicherheit, Naturwissenschaft im Unterricht Physik, Heft Nr. 80/81, 2004



5 Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten

5.1 Gefährdung durch mechanische Einwirkung

a) Mechanische Gefährdungen

Mechanische Gefährdungen bei Versuchen oder bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (z. B. Stativstangen, Zange, Bohrmaschine) treten in denjenigen Abläufen auf, bei denen durch mechanische Einwirkung auf den menschlichen Körper Schädigungen auftreten können. Insbesondere gehören dazu Gefährdungen durch ([1], S. 2)

- kontrolliert bewegte ungeschützte Teile (z. B. Körper mit hoher kinetischer Energie, rotierende Körper),
- unkontrolliert bewegte Teile (z. B. Herabfallen großer Massenstücke, Kippen instabiler Versuchsaufbauten, wegfliegende oder herausgeschleuderte Körper, fliegende Splitter durch Ex- oder Implosion) sowie
- gefährliche Oberflächen (z. B. ungeschützte hervorstehende Teile von Versuchsaufbauten; scharfe Kanten, z. B. aufgrund von Glasbruch).

b) Einschätzung der Gefährlichkeit

Prinzipiell gehen von großen Massen und hohen Geschwindigkeiten von Körpern (und damit verbundenen großen kinetischen Energien) nicht zu unterschätzende Gefährdungen aus. Daher sollten entsprechende Versuche besonders sorgfältig geplant und durchgeführt werden. Zusätzlich ist dabei die Empfindlichkeit der gefährdeten Körperstelle zu berücksichtigen. Wichtig ist z. B. der Schutz der Augen durch geeignete Maßnahmen: von allen Augenunfällen werden über 90 % durch mechanische Einwirkungen verursacht. Konkrete Grenzwerte werden nur für spezielle Maschinen (bspw. Zentrifugen) angegeben. Wesentlich ist neben dem Energiebetrag auch die flächenbezogene Energiedichte (wobei man davon ausgeht, dass sich die kinetische Energie eines Körpers in seiner kleinsten Auftrefffläche konzentriert). Mechanische Gefährdungen treten oftmals auch bei solchen Versuchen auf, bei denen das Hauptaugenmerk eher auf anderen Gefahrenquellen liegt. Gerade dann sollten mechanische Gefährdungen nicht außer Betracht gelassen werden.

c) Wesentliche Gefährdungen und mögliche Schutzmaßnahmen

Nachfolgend sind Beispiele für mechanische Gefährdungen sowie mögliche Schutzmaßnahmen aufgeführt, um ihnen zu begegnen ([2], S. 90).

Mögliche Gefährdungen durch kontrolliert bewegte ungeschützte Teile	Mögliche Schutzmaßnahmen
Ballistische Experimente	Stets gefahrlose Wurfbahnen wählen (dabei auch Türen und Fenster beachten) und die kinetische Energie begrenzen; Schutzbrille für die Lehrkraft, die sich in der Nähe des Versuchsaufbaus aufhält.
Rotierende Körper	Hineingreifen in den laufenden Versuch vermeiden; Schutzscheibe aufbauen; keine zu großen Massen, Bahngeschwindigkeiten und Drehmomente wählen; Drehschemelversuch nicht mit ausgestreckten, sondern mit angewinkelten Armen beginnen.
Gelöste und herausgeschleuderte Körper bei linearen Bewegungen oder Kreisbewegungen	Querschläger vermeiden und evtl. Kugelfang verwenden; splittersichere Schutzscheibe zwischen Versuchsaufbau und Schülern positionieren; sichere Befestigung der rotierenden Körper (z. B. durch Sicherheitsschraube beim Zentralkraftgerät); Versuche nicht in Augenhöhe der Schüler und der Lehrkraft durchführen.

Mögliche Gefährdungen durch unkontrolliert bewegte Teile	Mögliche Schutzmaßnahmen
Herabfallen von Körpern	Sämtliche Aufhängungen und Träger müssen für das belastende Gewicht ausgelegt sein (vor Versuchsbeginn Befestigungen nochmals überprüfen); falls möglich Körper mit Fangschnur sichern; Schüler instruieren, dass sie nicht versuchen, große herabfallende Massen aufzufangen; beim Transport und beim Abstellen von Versuchstischen darauf achten, dass keine Gegenstände vom Tisch rollen können.
Versuche mit Einsatz des menschlichen Körpers (z. B. Demonstration des Wechselwirkungsgesetzes mit Skateboards, Ziehen beim Magdeburger Halbkugel-Versuch oder beim Experiment, bei dem Schüler die Magnethälften eines batteriebetriebenen Elektromagneten durch Ziehen voneinander zu trennen versuchen)	Schülerinnen und Schüler z. B. beim Ziehen abstützen lassen; bei Versuchen mit Skateboards die Schüler auf die Skateboards setzen lassen oder weitere Schüler zur Sicherheit dahinter stellen und instruieren.
Instabilität von Versuchsaufbauten	Tragfähigkeit von Tischen und Zwischenböden beachten; Herstellen großer Kippmomente (schwerer Stativfuß, Tischklemme); Doppelmuffen gut festziehen; Türbreite und Türhöhe beachten.
Materialien unter Spannung (z. B. gespannte Saiten, Drähte, Federn und gedehnter Expander; „Bolzensprenger“; „Sprengkugel“)	Sichtprüfung auf Beschädigungen vor der Versuchsdurchführung; Schülerinnen und Schüler auf Gefahren einer plötzlichen Zug- bzw. Druckentlastung hinweisen; Gegenstände vorsichtig spannen und entspannen; gespannte Gegenstände nicht in Augenhöhe positionieren (dabei beachten, dass die Augenhöhe der Schüler aufgrund ihrer sitzenden Position tiefer liegt), hochelastische Körper nicht in Richtung oder Gegenrichtung zum Kopf dehnen; für den Bolzensprenger-Versuch und den Versuch mit Sprengkugel nur Gusseisenstücke der Lehrmittelfirmen verwenden und splittersichere Abdeckung oder Schutzscheibe verwenden.
Experimente mit erhöhtem oder vermindertem Druck (z. B. Sieden von Wasser, Evakuieren von Glasgefäßen)	Keine dünnwandigen Gefäße mit flachem Boden oder beschädigte (z. B. angeritzte, angeschlagene oder gesprungene) Rundkolben evakuieren; vor jedem Versuchsbeginn eine Sichtkontrolle durchführen; Schülerinnen und Schüler auf die Gefahr hinweisen, die von einer Explosion oder Implosion ausgeht; geeignete splittersichere Schutzscheibe und Schutzbrille zum Abhalten fliegender Splitter verwenden.
Experimente mit Einsatz starker Magnete (insbesondere Neodym-Magnete)	Schülerinnen und Schüler auf die Gefahren von Absplitterungen oder Hautquetschungen hinweisen (wirkende Kräfte werden meist unterschätzt), ggf. Schutzbrillen verwenden, Abstandshalter zwischen den Magneten einsetzen.



Mögliche Gefährdungen durch gefährliche Oberflächen	Mögliche Schutzmaßnahmen
Vorragende Versuchsaufbauten	Solche Versuchsaufbauten aufgrund von möglichen Augen- und Kopfverletzungen nur falls nicht vermeidbar verwenden; vorragende Teile kennzeichnen und abpolstern (z. B. durch Aufstecken von aufgeschnittenen Tennisbällen); beim Abstellen des Experimentiertisches in der Sammlung bis zur nächsten Unterrichtsstunde ausladende Teile entfernen.
Umgang mit Glasgeräten; Glasbruch ([1], S. 77)	Beim Schneiden von Glas stets geeignete Handschuhe und eine Schutzbrille tragen; Glasrohre und Glas-thermometer nur mit Handschuhen in einen Stopfen eindrehen; dabei auf einen ausreichenden Durchmesser der Bohrung achten, Glasrohr kurz über dem Stopfen anfassen und Gleitmittel (z. B. Glycerin) verwenden. Festsitzende Schläuche oder Gummistopfen abschneiden und die Reste vorsichtig mit einem Messer entfernen. Festsitzende Schliffverbindungen erwärmen, bis sich die Verbindung durch leichte Drehbewegungen mit Handschutz löst. Abgebrochene Ränder von Glasgeräten können leicht zu Verletzungen führen: solche Geräte nicht mehr verwenden oder falls möglich scharfe Glaskanten rund schmelzen oder abschleifen. Glas bricht leicht, daher immer mit kurzem Hebelarm und vom Körper weg arbeiten.

Quellen:

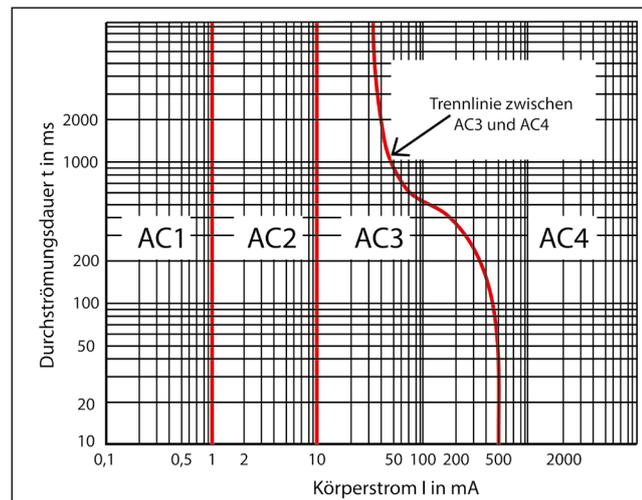
- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
 [2] Technische Regeln für Betriebssicherheit TRBS, http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Anlagen-und-Betriebssicherheit/TRBS/pdf/TRBS-2111.pdf?__blob=publicationFile (Stand 29.03.2016)

5.2 Elektrische Gefährdung

a) Grundsätzliches zur elektrischen Gefährdung

Die Schäden, die durch elektrischen Strom im menschlichen Körper hervorgerufen werden können, hängen von der Stromart, der Frequenz, der Stromstärke, der Einwirkungsdauer, dem Stromweg und der Konstitution des Betroffenen ab. Die unterschiedlichen physiologischen Wirkungen für einen Erwachsenen bei einem Wechselstrom von 50 Hz sind der folgenden Tabelle (in Verbindung mit dem Diagramm) zu entnehmen, wobei eine Durchströmungsdauer von ca. 1 s zugrunde gelegt wird.

Zone	Körperstrom in mA	Physiologische Wirkung
AC1	0 - 1	kaum wahrnehmbar
AC2	1 - 10	Kribbeln in Fingern, Füßen und Gelenken
AC3	10 - 50	kräftige und schmerzhafte Verkrampfungen von Arm-, Bein- und Schultermuskeln
AC4	> 50	schwere Krämpfe, Lähmungen, Herzflimmern



Physiologische Wirkung des elektrischen Stroms

Bei einer Wechselstromfrequenz von 50 Hz kann eine effektive Stromstärke von 30 mA als lebensbedrohlich angesehen werden. Bei einem Körperwiderstand von ca. 1300Ω (Stromweg Hand-Brust-Hand) und einem Übergangswiderstand an den Berührflächen von insgesamt ca. 800Ω muss daher eine effektive Wechselspannung von über 60 V für einen Erwachsenen als lebensgefährliche Spannung betrachtet werden ([3], S. 20-25).

b) Nicht berührungsgefährliche Spannungen

Von einer berührungsgefährlichen Spannung wird gesprochen, wenn eine Wechselspannung $U > 25 \text{ V}$ oder eine Gleichspannung $U > 60 \text{ V}$ anliegt und außerdem

– für die Kurzschlussstromstärke $I > 3 \text{ mA}$ (Wechselstrom) bzw. $I > 12 \text{ mA}$ (Gleichstrom)
und

– für die Entladungsenergie $E > 350 \text{ mJ}$

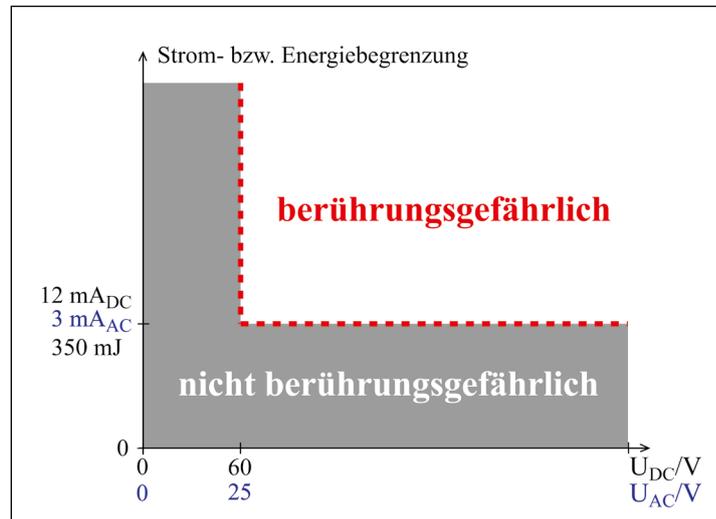
gilt. Für die Unterrichtspraxis ist es hilfreich, diejenigen Fälle zu betrachten, bei denen eine nicht berührungsgefährliche Spannung vorliegt. Eine nicht berührungsgefährliche Spannung liegt stets dann vor, wenn die Wechselspannung $U \leq 25 \text{ V}$ bzw. die Gleichspannung $U \leq 60 \text{ V}$ beträgt. Falls $U > 25 \text{ V}$ für die Wechselspannung bzw. $U > 60 \text{ V}$ für die Gleichspannung gilt, dann liegt dennoch eine nicht berührungsgefährliche Spannung vor, wenn



– für die Kurzschlussstromstärke $I \leq 3 \text{ mA}$ (Wechselstrom) bzw. $I \leq 12 \text{ mA}$ (Gleichstrom)
oder

– für die Entladungsenergie $E \leq 350 \text{ mJ}$

erfüllt ist; also durch eine ausreichende Begrenzung der Kurzschlussstromstärke oder der Entladungsenergie sichergestellt ist, dass die elektrische Gefährdung gering ist ([2]; S. 27).



Im Spannungsbereich $U_{\sim} \leq 25 \text{ V}$ bzw. $U_{=} \leq 60 \text{ V}$ ist kein Basisschutz („Schutz gegen direktes Berühren“; [1], S. 223) erforderlich ([1], S. 227).

c) Grundsätzliches zur Bereitstellung von elektrischen Spannungen

Die Bereitstellung einer nicht berührungsgefährlichen Spannung zum Experimentieren erfolgt notwendigerweise

– netzunabhängig, z. B. durch Batterien, Solarzellen, Fahrraddynamo

oder

– netzabhängig durch Netzgeräte mit begrenzter Ausgangsspannung 25 V AC ⁴ bzw. 60 V DC über Sicherheitstransformatoren ([1], S. 227).

Sobald die Bereitstellung elektrischer Energie netzabhängig erfolgen soll, auch bei Verwendung von Sicherheitstransformatoren mit berührungsgefährlichen Spannungen, werden Not-Aus-Schalter an den Ausgängen und am Lehrertisch benötigt. Außerdem müssen die Steckdosenstromkreise zum Experimentieren an den Schüler- und Lehrertischen durch RCD (Fehlerstromschutzschalter) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $\leq 30 \text{ mA}$ abgesichert sein ([1], S. 67, 230).

Wird mit berührungsgefährlichen Spannungen gearbeitet oder liegen berührungsgefährliche Teile⁵ in der Schaltung vor, so muss eine Not-Aus-Einrichtung direkt am eingesetzten Experimentierstand vorhanden sein; was in der Regel nur am Lehrerexperimentiertisch der Fall ist ([1], S. 67). Bedacht werden muss, dass sich im Physikraum auch Steckdosen befinden können, die nicht mit einer Not-Aus-Einrichtung verbunden sind. Solche Steckdosen für Experimente zu benutzen, ist unzulässig; außerdem ist es sinnvoll, diese entsprechend zu kennzeichnen ([2], S. 33).

4 Leistungsstarke Wechselspannungsnetzgeräte (z. B. $25 \text{ V AC} / 10 \text{ A}$ oder 12 A) können im Leerlauf oder bei einem Lastwiderstand von $2 \text{ k}\Omega$ eine Wechselspannung von bis zu 31 V AC liefern. Eine solche berührungsgefährliche Spannung ist bei Schülerexperimenten bis einschließlich Jgst. 10 nicht zulässig; der Skalenwert von 25 V AC stellt sich erst ein, wenn dem Gerät die maximale Stromstärke (10 A oder 12 A) entnommen wird.

5 Ein berührungsgefährliches Teil ist ein Bauteil, das unter berührungsgefährlicher Spannung steht und für eine Berührung zugänglich ist. Zu beachten ist, dass berührungsgefährliche Teile in einer Schaltung auch bei Verwendung eines Netzgerätes mit nicht berührungsgefährlicher Spannung auftreten können (siehe Beispiel im Abschnitt e).

d) Grundlegende Sicherheitsregeln für den Umgang mit elektrischer Energie

Was den Umgang mit elektrischer Energie beim Experimentieren angeht, stellen die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht ([1]) auf der Seite 230 zehn grundlegende Sicherheitsregeln zusammen, u. a. wird hier betont, dass Reparaturen an elektrischen Geräten (z. B. Spannungsversorgungsgeräte zum Experimentieren) oder Anlagenteilen nur von einer Elektrofachkraft durchgeführt werden dürfen ([1], S. 230).

Auf Seite 17 wird ausdrücklich betont, dass Versuche mit berührungsgefährlichen Spannungen an Schülerinnen und Schülern verboten sind (z. B. keine Demonstration des Funktionsprinzips eines Weidezauns am Menschen). Der Nachweis, dass ein elektrischer Strom durch eine Kette von Schülerinnen und Schülern möglich ist, kann beispielsweise mithilfe einer Transistorschaltung (Darlington-Schaltung), bei Einsatz einer 4,5 V – Batterie als Spannungsquelle, erbracht werden. Bei Abnahme elektrophysiologischer Signale (EKG, EEG) dürfen nur Geräte eingesetzt werden, die vollständig vom Stromnetz getrennt betrieben werden oder dem Medizinproduktegesetz bzw. der Medizingeräteverordnung entsprechen und an denen keine berührungsgefährlichen Spannungen auftreten können.

e) Beispiele zum Auftreten berührungsgefährlicher Spannungen beim Experimentieren

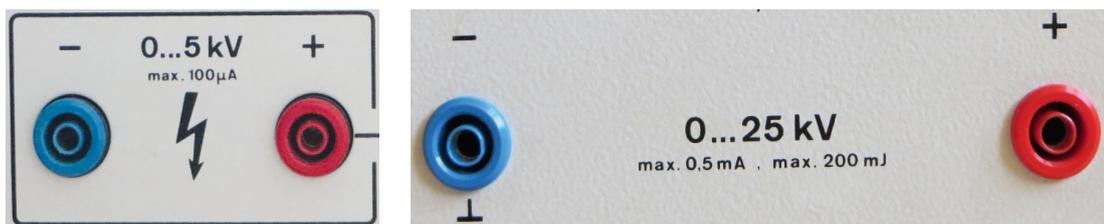
Transformatorversuche

Bei nicht sicherheitsgerechtem Umgang mit Transformatoren können gefährliche Situationen entstehen. Wird beispielsweise ein Transformator eingesetzt, dessen Sekundärspule eine viermal größere Windungszahl als die Primärspule besitzt, so entsteht bei einer Primärspannung von 25 V AC, die ein Kleinspannungsnetzgerät zur Verfügung stellt, eine berührungsgefährliche Spannung von 100 V AC auf der Sekundärseite. Sinnvoll wäre es in diesem Fall eine Primärspannung von 6 V AC zu wählen. Bei dem soeben beschriebenen Übersetzungsverhältnis würde sich nämlich dann eine ebenfalls berührungsungefährliche Sekundärspannung von 24 V AC ergeben.

Sollen 24 V AC herabtransformiert werden, so ist zu beachten, dass die Spulen nicht versehentlich vertauscht werden. Es liegt daher nahe, stets von einer ausreichend geringen Primärspannung auszugehen und insbesondere bei Schülerexperimenten einen häufig vorhandenen Festspannungsanschluss (z. B. 6 V AC) zu verwenden.

Experimente mit Hochspannungsnetzgeräten

Ein Hochspannungsnetzgerät, bei dem die Kurzschlussstromstärke bereits ausreichend begrenzt ist (siehe folgende Abb.), stellt zum Experimentieren eine nicht berührungsgefährliche Spannung zur Verfügung.



Beispiele für Hochspannungsgeräte mit nicht berührungsgefährlicher Spannung

Fehlt eine entsprechende Kennzeichnung auf dem Hochspannungsnetzgerät, so muss ein ausreichend bemessener Schutzwiderstand am nicht geerdeten Pol eingesteckt werden (z. B. $U_{\max} = 25 \text{ kV}$ und $R_{\text{Schutz}} = 5 \text{ M}\Omega \rightarrow I_{\max} = 5 \text{ mA} < 12 \text{ mA}$).

Auch wenn Hochspannungsnetzgeräte berührungsungefährliche Spannungen bereitstellen, dürfen Schülerinnen und Schüler der Jgst. 5 bis 10 diese nicht in Schülerexperimenten verwenden ([1], S. 67). Auch in der Oberstufe wird vom Einsatz solcher Netzgeräte in Schülerexperimenten abgeraten, um Schülerinnen und Schüler vor einem zwar in der Regel ungefährlichen, aber u. U. unangenehmen elektrischen Schlag zu schützen; es wird eine unmittelbare Beaufsichtigung der Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren (wie sie bei einem Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung oder einem Experimentalreferat vorliegt) empfohlen.



Experimente unter Einsatz von Kondensatoren

Schülerinnen und Schüler sollten an geeigneter Stelle des Unterrichts über die elektrische Gefährdung, die von geladenen Kondensatoren ausgehen kann, informiert werden. Es ist zu beachten, dass es beim Laden von Kondensatoren mit einer Gleichspannung von mehr als 60 V zu gefährlichen Aufladungen der Kondensatoren kommen kann; auch wenn die Spannungsquelle eine Strombegrenzung besitzt. Beim Entladen (z. B. durch versehentliches Berühren des Kondensators) ist nämlich keine Strombegrenzung mehr vorhanden. Liegen 15 kV an einem luftgefüllten Plattenkondensator der Kapazität 90 pF an, so ist in diesem eine elektrische Feldenergie von ca. 10 mJ < 350 mJ gespeichert. Die Spannung, die in dieser Situation am Plattenkondensator anliegt, ist somit nicht berührungsfähig (siehe Abschnitt b)). Wird allerdings die Kapazität des Kondensators durch Einsatz eines Dielektrikums um ein Vielfaches erhöht (und dementsprechend die gespeicherte Energie), so ist die elektrische Gefährdung anders zu bewerten.

Liegt an Kondensatoren hoher Kapazität (z. B. 1 F) eine nicht berührungsfähige Spannung (z. B. 20 V) an, so kann durch die schlagartige Entladung im Falle eines ungewollten Kurzschlusses dennoch ein starker Funkenschlag mit Knall entstehen. Es wird daher (insbesondere für Schülerexperimente) empfohlen, auch im Niederspannungsbereich für eine Gefährdungsbeurteilung den Grenzwert von 350 mJ für die im Kondensator gespeicherte Feldenergie zu berücksichtigen.

Elektrolytkondensatoren müssen in richtiger Polung an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen werden, da sie sonst explodieren können. Die auf einem Kondensator angegebene Nennspannung darf nicht überschritten werden. Kondensatoren sind vor dem Versuchsabbau und der Aufbewahrung in der Sammlung zu entladen ([1], S. 93).

Experimente unter Einsatz von Spulen

Befindet sich in einem Gleichstromkreis eine Spule ausreichend hoher Induktivität, so kann beim Ausschaltvorgang eine berührungsfähige Selbstinduktionsspannung (im kV-Bereich) entstehen, die deutlich größer als die Spannung der im Stromkreis verwendeten Batterie (z. B. 12 V) ist. Fließt ein Strom der Stärke 0,1 A durch eine Spule der Induktivität 630 H, so beträgt die in der Spule gespeicherte magnetische Feldenergie $E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = 3,15 \text{ J}$; dies ist ein deutlich größerer Wert als 350 mJ (siehe Abschnitt b)). Es sind deshalb Sicherheitsexperimentierkabel (und entsprechende Buchsen an allen Bauteilen; ggf. sollte eine Nachrüstung erfolgen) zu verwenden und die weiteren generellen Schutzmaßnahmen beim Experimentieren mit berührungsfähiger Spannung (siehe Abschnitt f)) einzuhalten.

Auch wenn das eingesetzte Netzgerät eine lediglich berührungsfähige Spannung bereitstellt, können insbesondere beim Experimentieren mit Spulen dennoch berührungsfähige Teile in der Schaltung auftreten, z. B. bei Transformatorversuchen (siehe vorher), beim Wagnerschen Hammer (u. a. Klingel) und bei Experimenten zum Funktionsprinzip einer Autozündanlage oder des elektrischen Weidezauns.

Experimente mit dem Bandgenerator und der Influenzmaschine

Die von Lehrmittelfirmen angebotenen Bandgeneratoren besitzen laut Herstellerangaben bei einer maximal erreichbaren Spannung von 150 – 200 kV eine Kurzschlussstromstärke von 10 – 20 µA. Da die Kapazität der Konduktorkugel bei einem Durchmesser von 20 cm ca. 15 pF (laut Hersteller) beträgt, ergibt sich für den maximalen Energieinhalt ein Wert von ca. 300 mJ, d. h. ein Wert, der knapp unter dem Grenzwert 350 mJ liegt. Möchte eine Lehrkraft eine Schülerin oder einen Schüler an einem Demonstrationsexperiment mit dem Bandgenerator beteiligen, so ist eine genaue Instruktion der Schülerin bzw. des Schülers in jedem Fall sinnvoll.

Für Influenzmaschinen fehlen oftmals konkrete Angaben des Herstellers zur Kapazität der Leidener Flaschen. Es muss davon ausgegangen werden, dass Influenzmaschinen berührungsfähige Spannungen erzeugen.

f) Lehrerexperimente und generelle Schutzmaßnahmen beim Experimentieren mit berührungsfähiger Spannung

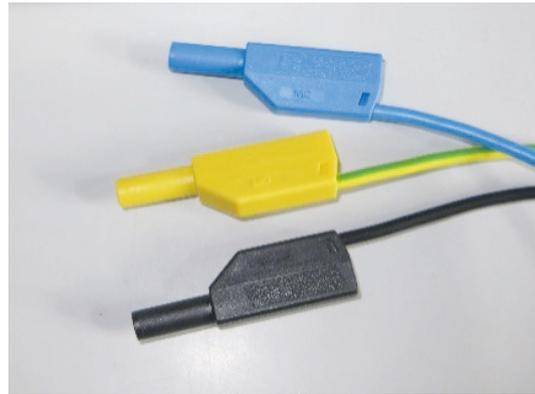
Experimentiert die Lehrkraft mit nicht berührungsfähigen Spannungen, so sind keine besonderen Schutzmaßnahmen erforderlich. Folgende Verhaltensregeln sind aber zu beachten:

- Der Aufbau, Umbau und Abbau von Versuchsanordnungen darf nur im spannungsfreien Zustand erfolgen.
- Akkumulatoren und Batterien dürfen nur an- oder abgeklemmt werden, wenn kein Strom fließt ([1], S. 68).

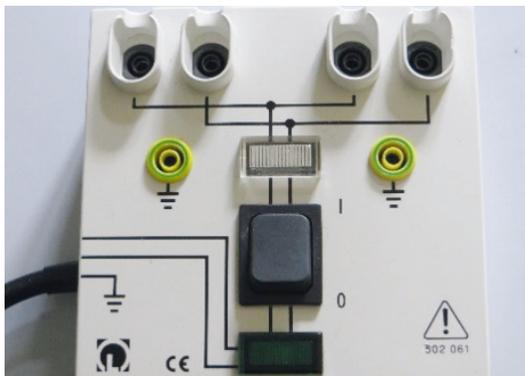
Experimentiert eine Lehrkraft mit berührunggefährlicher Spannung, so sind technische, organisatorische und verhaltensorientierte Schutzmaßnahmen erforderlich, die bei der Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind ([1], S. 66). Generell sollten Versuche mit berührunggefährlicher Spannung nur dann im Unterricht eingesetzt werden, wenn das Lernziel nicht anders erreicht werden kann; eine Ersatzprüfung ist in jedem Fall erforderlich. Bei der Auswahl und Vorbereitung von Experimenten mit berührunggefährlicher Spannung obliegt der Lehrkraft eine besondere Verantwortung, denn auch bei Einhaltung der nachgenannten Schutzmaßnahmen bleibt eine Gefährdung bestehen. Soll mit berührunggefährlicher Spannung im Unterricht gearbeitet werden, muss die Lehrkraft ein Lehramtsstudium des Faches Physik oder einen vergleichbaren Ausbildungsgang abgeschlossen haben ([1], S. 67).

Technische Schutzmaßnahmen ([1], S. 67 f.; [2], S. 30 ff.) beim Experimentieren mit berührunggefährlicher Spannung

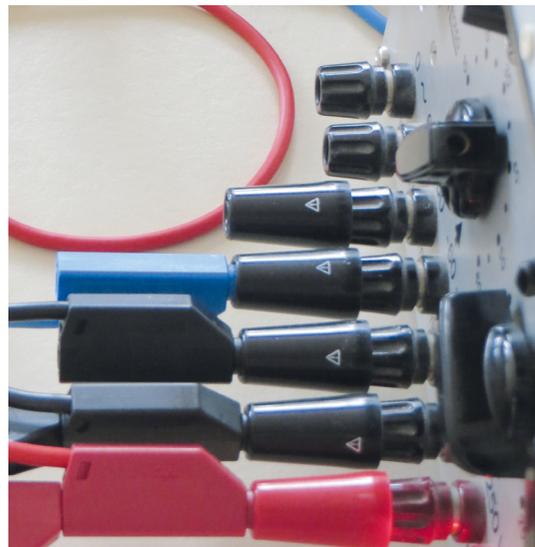
- Experimentiereinrichtungen müssen mit einem Not-Aus-Schalter von der Stromversorgung getrennt werden können.
- Die Steckdosen an den Experimentiereinrichtungen müssen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA abgesichert sein.
- Anstelle der üblichen Bananenstecker dürfen ausschließlich Sicherheitsexperimentierkabel mit isolierten Kontakten verwendet werden. Die Stecker sollten eine starre Hülse besitzen, da eine verschiebbare Hülse keinen Berührungsschutz bietet, falls sie sich verklemmen sollte.
- Die verwendeten Geräte müssen entsprechende Sicherheitsbuchsen besitzen. Ältere Geräte (Spannungsquellen, Messgeräte) können mit aufsteckbaren Sicherheits-Adapterbuchsen nachgerüstet werden (Bezug über Lehrmittelfirmen oder Elektronikfachhandel).
- Bei direkter Nutzung der 230 V-Netzspannung ist (wegen der unterschiedlichen Durchmesser von Netzdosensbuchse und Stecker) eine Sicherheits-Anschlussdose zu verwenden. Bei Experimenten mit 230 V-Netzspannung ist stets besondere Vorsicht geboten.



Sicherheitsexperimentierkabel



Sicherheits-Anschlussdose



aufsteckbare Sicherheits-Adapterbuchsen



Beispiele:

- Außerhalb von Fachräumen (z. B. in der Aula) können Experimente mit berührungsgefährlicher Spannung in der Regel nicht durchgeführt werden, da die geforderten technischen Schutzmaßnahmen dort meist fehlen.
- Durch Aufbautransformatoren erzeugte Hochspannung kann lebensgefährlich sein, insbesondere dann, wenn die Primärspannung dem Netz entnommen wird. Bei Transformatorversuchen ist zu beachten, dass der RCD nur im Primärkreis, nicht aber im Sekundärkreis wirksam ist. Falls es also zum Kontakt mit berührungsgefährlichen Teilen des Sekundärkreises kommt, spricht der RCD nicht an; was z. B. die sehr große elektrische Gefährdung beim Hörnerblitzversuch ausmacht. Falls möglich, ist das Übersetzungsverhältnis bei Transformatoren daher stets so zu wählen, dass auf der Sekundärseite eine nicht berührungsgefährliche Spannung vorliegt.

Organisatorische Schutzmaßnahmen ([2], S. 34 f.) beim Experimentieren mit berührungsgefährlicher Spannung

- Am Tag des Experimentierens mit berührungsgefährlicher Spannung ist vor der Durchführung des Experiments die fehlerfreie Funktion von Not-Aus-Einrichtung und RCD (Fehlerstromschutz-Einrichtung) zu prüfen ([1], S. 69).
- Bei elektrischen Geräten (jährliche Überprüfung durch Elektrofachkraft erforderlich) muss eine gültige Prüfplakette vorhanden sein ([1], S. 69).
- Leitungen und Bauteile sind auf offensichtlich erkennbare Beschädigungen zu überprüfen.
- Vor dem Zuschalten elektrischer Energie muss ein sicherer und ordnungsgemäßer Versuchsaufbau gewährleistet sein ([1], S. 68).
- Die Schülerinnen und Schüler sind von der Lehrkraft bei Demonstrationsexperimenten mit berührungsgefährlicher Spannung über versuchsspezifische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen (auch Not-Aus-Schalter) zu unterrichten.
- Bei Versuchen mit Hochspannung (größer als 1000 V AC bzw. 1500 V DC) wird das Schild „Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung“ aufgestellt ([1], S. 94).



Warnschild
Hochspannung

Verhaltensorientierte Schutzmaßnahmen ([2], S. 35 f.) beim Experimentieren mit berührungsgefährlicher Spannung

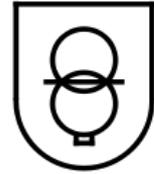
- Der Aufbau, Umbau und Abbau von Versuchsanordnungen darf nur im spannungsfreien Zustand erfolgen ([1], S. 68).
- An unter berührungsgefährlicher Spannung stehenden Teilen darf nicht gearbeitet werden. Dies gilt auch für das Heranführen von Messeinrichtungen ([1], S. 68).
- Es müssen geeignete und sichere Messgeräte mit Sicherheitsbuchsen verwendet werden.
- Innerhalb der Experimentieranordnung ist eine Ein-Aus-Schalteneinrichtung vorzusehen.

g) Experimente mit Schülerbeteiligung und Schülerexperimente ([1], S. 67; [2], S. 27 ff.)

Bei Experimenten mit Schülerbeteiligung und reinen Schülerexperimenten müssen besondere Regelungen beachtet werden. Schülerinnen und Schüler dürfen grundsätzlich nicht mit berührungsgefährlicher Spannung experimentieren ([1], S. 67). Dieses Verbot gilt in der Sekundarstufe I ohne Ausnahme – sowohl für Schülerexperimente als auch für Experimente mit Schülerbeteiligung. Für Schülerexperimente dürfen

- netzunabhängige Spannungsquellen (z. B. Batterien, Akkumulatoren, Solarzellen),
- Sicherheitstransformatoren mit begrenzter Ausgangsspannung 25 V AC bzw. 60 V DC und
- Netzgeräte mit Schutzkleinspannung (SELV) oder Funktionskleinspannung (PELV) mit sicherer Trennung eingesetzt werden. Die Spannung der SELV- und PELV-Systeme ist auf 50 V AC bzw. 120 V DC begrenzt.

Anforderungen für die sichere Trennung von Netzgeräten sind in der EN 61558-2-6 ausgeführt. Entsprechende Sicherheitstransformatoren sind durch das nebenstehende Symbol gekennzeichnet⁶. Werden für ein Schülerexperiment Sicherheitstransformatoren mit begrenzter Ausgangsspannung (i. d. R. $U < 25 \text{ V}$ für Wechsel- und Gleichspannung) eingesetzt und sichergestellt, dass z. B. bei Spulen- oder Transformator-Einsatz keine berührungsgefährlichen Teile in der Schaltung entstehen, so ist kein „Schutz gegen direktes Berühren“ (Basisschutz; [1], S. 223, 227) erforderlich und die normalen Experimentierkabel (Bananenstecker) können eingesetzt werden.



Werden für Schülerexperimente oder Lehrerexperimente mit Schülerbeteiligung hingegen SELV/PELV-Systeme, die Spannungen bis 50 V AC bzw. 120 V DC bereitstellen, genutzt, so sind folgende Schutzmaßnahmen zu beachten: Durch die ausschließliche Verwendung von Sicherheitsexperimentierkabeln und die Auswahl geeigneter Geräte (mit Sicherheitsbuchsen) muss Berührungsschutz sichergestellt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind über die Gefährdungen und Schutzmaßnahmen des Versuches zu instruieren ([1], S. 228). Auch wenn mit nicht berührungsgefährlichen Spannungen experimentiert wird, sollten von den Schülerinnen und Schülern allgemeine Sicherheitsregeln eingehalten werden (siehe auch Anhang II). Ist eine Klasse im Aufbau von elektrischen Schaltungen noch nicht geübt, sollte die Lehrkraft in jedem Fall die Schaltungen erst überprüfen, bevor für die Dauer des Experiments die elektrische Versorgung von der Lehrkraft zentral eingeschaltet wird.

Der Umgang mit berührungsgefährlicher Spannung ist lediglich für Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe zulässig und dies auch nur dann, wenn das Lernziel nicht anders erreicht werden kann ([1], S. 67). Bei Arbeiten mit berührungsgefährlicher Spannung oberhalb von SELV/PELV ist eine besondere technische Ausrichtung erforderlich, z. B. eine Not-Aus-Einrichtung direkt am Arbeitsplatz. Aus diesem Grund können diese Versuche in der Regel nur am Lehrerexperimentiertisch durchgeführt werden. Die generellen Schutzmaßnahmen beim Umgang mit berührungsgefährlicher Spannung, wie sie im Abschnitt f) beschrieben sind, müssen beachtet werden. Insbesondere sind die Jugendlichen über die vorliegenden versuchsspezifischen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen (u. a. Not-Aus-Schalter) zu informieren.

Wenn berührungsgefährliche Teile in der Schaltung vorliegen, so ist die Durchführung als Schülerexperiment auch in der Oberstufe untersagt. Die Lehrkraft muss die Schaltung überprüfen, auf Gefahrenstellen hinweisen und das Experiment unmittelbar beaufsichtigen ([1], S. 68).

Beispiele:

- In der Jahrgangsstufe 9 werden Schülerexperimente zu den Transformatorgesetzen durchgeführt, wobei Spulen mit 250 und 1000 Windungen verwendet werden. Die den Schülern über Trenntransformatoren zur Verfügung gestellte Wechselspannung muss auf 6 V AC begrenzt sein, damit der Wert von 25 V AC auf der Sekundärseite nicht überschritten wird. Zum Umgang mit Transformatoren sind Sicherheitshinweise für Schülerinnen und Schüler grundsätzlich wichtig.
- Schülerexperimente zur Elektrostatik können in allen Jahrgangsstufen unter Verwendung von Reibungs- bzw. Kontaktelektrizität durchgeführt werden. Hierbei treten zwar Hochspannungen auf, das Kriterium für die Kurzschlussstromstärke (siehe Abschnitt b)) ist allerdings erfüllt und demzufolge liegen berührungsungefährliche Spannungen vor.
- Netzgeräte zur Erzeugung von Hochspannungen dürfen bei einem Schülerexperiment in der Sekundarstufe I grundsätzlich nicht herangezogen werden, auch wenn das Netzgerät das Kriterium der Kurzschlussstromstärke erfüllt ([1], S. 67). Vom Einsatz von Hochspannungsnetzgeräten in Schülerexperimenten wird auch in der Oberstufe abgeraten, um Schülerinnen und Schüler vor einem zwar in der Regel ungefährlichen, aber u. U. unangenehmen elektrischen Schlag zu schützen; eine unmittelbare Beaufsichtigung (wie bei einem Lehrerexperiment mit Schülerbeteiligung der Fall) wird empfohlen.

⁶ Ladegeräte, z. B. für Handys oder Laptops erfüllen diese Anforderungen nicht und dürfen deshalb nicht zweckentfremdet als Spannungsquellen zum Experimentieren eingesetzt werden ([1], S. 227).



Übersicht: Zulässige Netzgeräte bzw. Spannungen bei Schülerexperimenten (SE) und Lehrerexperimenten mit Schülerbeteiligung (LE mit SB)

Eingesetzte Spannungsquellen bzw. in der Schaltung auftretende Spannungen	Jgst. 5 bis 10	Oberstufe	Welche Schutzmaßnahmen sind zu beachten?
	SE oder LE mit SB möglich?	SE oder LE mit SB möglich?	
Spannungsbereich $U_{\sim} \leq 25 \text{ V}$ bzw. $U_{=} \leq 60 \text{ V}$			
Batterien, Akkus und Solarzellen, die netzunabhängig Spannungen $U_{=} \leq 60 \text{ V}$ bereitstellen	Ja	Ja	keine besonderen Schutzmaßnahmen erforderlich
Netzgeräte mit sicherer Trennung von der Netzspannung und einer Ausgangsspannung $U_{\sim} \leq 25 \text{ V}$ bzw. $U_{=} \leq 60 \text{ V}$	Ja	Ja	keine besonderen Schutzmaßnahmen erforderlich
Spannungsbereich $U_{\sim} > 25 \text{ V}$ bzw. $U_{=} > 60 \text{ V}$			
SELV/PELV-Systeme mit sicherer Trennung ($U_{\sim} \leq 50 \text{ V}$ bzw. $U_{=} \leq 120 \text{ V}$) und einer ausreichenden Strombegrenzung? ($I_{\sim} \leq 3 \text{ mA}$ bzw. $I_{=} \leq 12 \text{ mA}$) → berührungsungefährliche Spannung	Ja, falls Schutzmaßnahmen beachtet werden.	Ja, falls Schutzmaßnahmen beachtet werden.	Auswahl eines geeigneten Versuches, Auswahl geeigneter Geräte und Zubehör (Kabel) für SELV/PELV, Unterweisung der Schülerinnen und Schüler in die Gefährdungen und Schutzmaßnahmen des Versuches ([1], S. 228)
Netzgeräte mit $U_{\sim} > 50 \text{ V}$ bzw. $U_{=} > 120 \text{ V}$ und einer ausreichenden Strombegrenzung ($I_{\sim} \leq 3 \text{ mA}$ bzw. $I_{=} \leq 12 \text{ mA}$) → berührungsungefährliche Spannung (z. B. Hochspannungsnetzgeräte)	der Einsatz solcher Netzgeräte in SE ist nicht zulässig (einschließlich Jgst. 10 muss für SE eine der obigen Bedingungen erfüllt sein; [1], S. 67); ein LE mit SB ist hingegen nicht ausgeschlossen	vom Einsatz solcher Netzgeräte in SE wird abgeraten, um Schülerinnen und Schüler vor einem zwar in der Regel ungefährlichen, aber u. U. unangenehmen elektrischen Schlag zu schützen; eine unmittelbare Beaufsichtigung (wie bei einem LE mit SB gegeben) wird empfohlen	Instruktion der Schülerinnen und Schüler
Netzgeräte mit $U_{\sim} > 50 \text{ V}$ bzw. $U_{=} > 120 \text{ V}$ und keiner ausreichenden Strombegrenzung ($I_{\sim} > 3 \text{ mA}$ bzw. $I_{=} > 12 \text{ mA}$) → berührunggefährliche Spannung	Nein ([1], S. 67)	ausnahmsweise in der Oberstufe zulässig, wenn das Lernziel nicht anders erreicht werden kann ([1], S. 67); ein SE kommt i. d. R. nicht in Frage, da hierfür an jedem Schüler-Experimentierstand eine Not-Aus-Einrichtung vorhanden sein muss; LE mit SB am Lehrerexperimentiertisch möglich;	die generellen Schutzmaßnahmen beim Umgang mit berührunggefährlicher Spannung sind zu beachten (siehe Abschnitt f)); Instruktion der Schülerinnen und Schüler über versuchsspezifische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen
Vorhandensein von berührunggefährlichen Teilen		bei berührunggefährlichen Teilen ist in jedem Fall eine unmittelbare Beaufsichtigung erforderlich ([1], S. 68)	

7 Ohne eine solche Strombegrenzung liegt ein Experimentieren mit berührunggefährlicher Spannung vor; ein Umgang mit einer solchen Spannung ist Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I ohne Ausnahme untersagt.

Quellen:

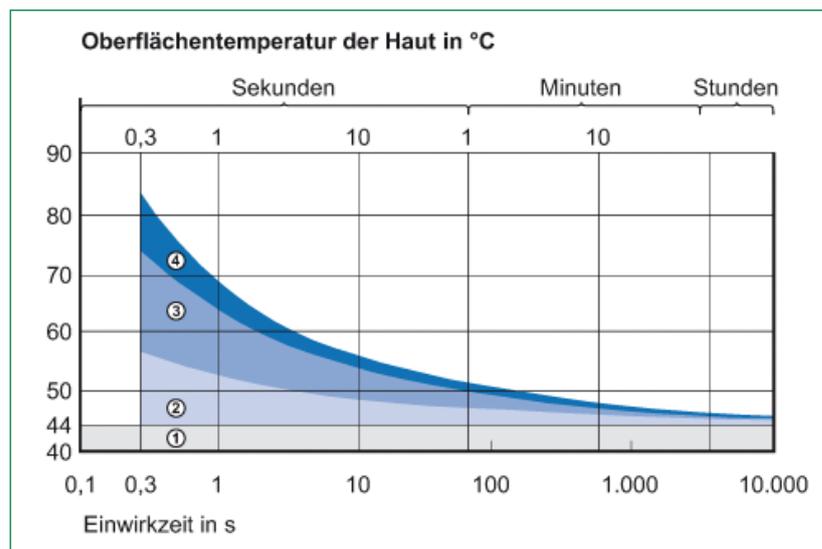
- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
 [2] DGUV: Sicher experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen (BG/GUV-SI 8040), Berlin 2012, <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/si-8040.pdf> (Stand 22.03.2016)
 [3] R. Götz, H. Dahnke, F. Langensiepen: Handbuch des Physikunterrichts, Sekundarbereich I, Band5: Elektrizitätslehre I, Aulis-Verlag Köln, 1992
 [4] <http://www.gefaehrungsbeurteilung.de/de/gefaehrungsfaktoren/elektrisch> (Stand 31.10.2014)

5.3 Thermische Gefährdung

a) Wesentliche Gefährdungen durch Einwirkung von Hitze und Kälte

Durch Einwirkung von Hitze oder Kälte können unmittelbare Schädigungen (vor allem der Haut) mit nachhaltiger Wirkung entstehen. Beim Umgang mit offenen Flammen besteht die Gefahr von Brandschäden (z. B. an offenen Haaren, Kleidung oder Einrichtungsgegenständen). Ebenso können durch eventuelle Schreckreaktionen bei versehentlichem Kontakt mit heißen oder kalten Oberflächen Sekundärschädigungen durch Sturz- oder Stoßunfälle verursacht werden. Als Orientierungshilfe für die Einstufung der Gesundheitsfolgen durch Hitzeeinwirkung kann die untenstehende Abbildung dienen, die den Grad der Verbrennung in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur der Haut und der Einwirkzeit darstellt:

- ① keine Gewebeveränderungen
- ② Verbrennungen 1. Grades (Hautrötungen, Schwellungen mit Schmerzen)
- ③ Übergangszone
- ④ Verbrennungen 2. Grades (Blasenbildung, unvollständige Hautzerstörung) und 3. Grades (vollständige Hautzerstörung)



(Quelle der Abb.: [2], S. 213)

Für Kälteeinwirkungen ist das Kontaktmaterial von entscheidender Bedeutung. Einen Anhaltspunkt liefert folgende Zusammenstellung der Schwellenwerte der Oberflächentemperaturen für verschiedene Wirkungen bei 10 Sekunden Kontaktdauer mit den Fingern (Auswahl aus DIN EN ISO 13732-3; [2]).

Material	Erfrierung bei $T_f/^\circ\text{C}$	Taubheit bei $T_f/^\circ\text{C}$	Schmerz bei $T_f/^\circ\text{C}$
Aluminium	-7,0	+3	+15
Stahl	-12,5	-1	+15
Stein	-18,5	-15	+3,5
Holz	-	-	-10



b) Thermische Gefährdungen beim Experimentieren in den verschiedenen Teilbereichen der Physik

Beispiele aus der Wärmelehre:

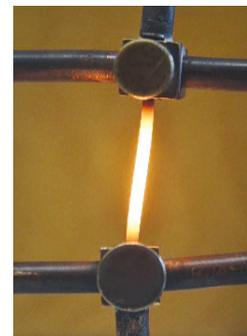
- Heiße Flüssigkeit und Dampfentstehung beim Phasenübergang flüssig-gasförmig
- Auftreten von hohen Temperaturen bei Versuchen zur Wärmeleitung und Konvektion
- Entweichen heißer Verbrennungsgase bei der Zündung eines Luft- Gas-Gemisches in einem Zylinder
- Auftreten von hohen Temperaturen bei Experimenten zur Längen- und Volumenausdehnung von festen Körpern (z.B. Kugel mit Ring, Bolzensprenger-Versuch)
- Erzeugung sehr niedriger Temperaturen von Metallteilen durch die Verwendung von Kältemischungen (z. B. Sprengkugel-Versuch zur Demonstration der Anomalie des Wassers)
- heiße Gegenstände bei Reibungsversuchen mit einer Bohrmaschine



Sprengkugel

Beispiele aus der Elektrizitätslehre:

- Offenliegende heiße Drähte bei der Aufnahme von Kennlinien metallischer Leiter sowie bei der Demonstration der Funktionsprinzipien von Schmelzsicherung und Hitzdrahtinstrument
- Auftreten hoher Temperaturen sowie Gefahr durch Funkenflug und wegfliegende Tröpfchen bei Versuchen mit dem Hochstromtransformator (z. B. Nagelschmelze, Schmelzrinne)



Nagelschmelze

Beispiele aus der Optik:

- Auftreten hoher Temperaturen im Brennpunkt einer Sammellinse, insbesondere beim Einsatz der Kohlenbogenlampe
- Verbrennungsgefahr beim Auswechseln der Kohleelektroden bei der Kohlenbogenlampe
- Verbrennungsgefahr beim Berühren von heißen Glühlampen
- Gefährdung durch die offene Flamme und durch flüssiges Wachs bei der Verwendung von Kerzen zur Untersuchung von Abbildungseigenschaften von Sammellinsen

Beispiele aus der Atomphysik:

- Offene Flamme bei der Demonstration der charakteristischen Emissionsspektren verschiedener Salze
- Auftreten von Temperaturen von ca. 200 °C an der Außenseite des Heizofens für den Franck-Hertz-Versuch sowie bei der Na-Dampffröhre zur Demonstration der Resonanzabsorption

c) Mögliche Schutzmaßnahmen

- Vermeidung eines direkten Hautkontakts mit kalten oder heißen Medien, indem z. B. beim Umgang mit Trockeneis oder flüssiger Luft sowie bei der Herstellung von Kältemischungen geeignete Schutzhandschuhe getragen werden ([1], S. 80); Kontaktzeiten generell kurz halten
- Vermeidung von Siedeverzug durch Einsatz von Siedesteinen oder durch permanentes Schütteln des Reagenzglases (Reagenzglas von Personen abwenden, ggf. Schutzscheibe verwenden)
- Hochentzündliche Gase und Flüssigkeiten vor offenen Flammen sowie elektrostatischen Entladungen fernhalten
- Verwendung von hitzebeständigen Unterlagen zum Schutz der Experimentiertische
- Besonders auf standfeste Aufbauten achten, wenn heiße Gegenstände verwendet werden
- Heiße Teile des Versuchsaufbaus vor dem Abbau auskühlen lassen



Kartuschenbrenner

- Statt Benzin- oder Spiritusbrenner Kartuschenbrenner verwenden, bei denen ein unbeabsichtigtes Lösen der Druckgaskartuschen nicht möglich ist
- Ortsfeste Gasanlagen sind Kartuschenbrennern vorzuziehen ([1], S. 49)

Umgang mit Arbeitsmitteln (Kartuschenbrenner, Lötkolben) bei Schülerexperimenten

- Schülerinnen und Schüler dürfen erst ab der Jahrgangsstufe 10 im Rahmen von Schülerexperimenten mit hochentzündlichen/extrem entzündbaren flüssigen Gefahrstoffen umgehen ([1], S. 28). Hierunter fallen auch Benzin- und Spiritusbrenner sowie Brenner mit Brennpaste, die aber aus Sicherheitsgründen sinnvollerweise durch geeignete Kartuschenbrenner (siehe oben) ersetzt werden.
- Schülerinnen und Schüler dürfen im Unterricht nur mit maximal 8 Kartuschenbrennern in Einwegbehältern (Ventilkartuschen) arbeiten, bei denen ein Entnahmeventil eingesetzt ist. Einwegbehälter, die angestochen werden müssen und bei denen nach Entfernen des Entnahmeventils ungehindert Gas ausströmen kann, dürfen den Schülerinnen und Schülern nicht ausgehändigt werden ([1], S. 50).
- Beim Erhitzen von Wasser den Schülerinnen und Schülern die Anweisung geben, dass die Temperatur 50 °C nicht überschritten werden darf, oder Wärmequellen verwenden (z. B. Babyflaschenwärmer), mit denen keine höhere Temperatur erreicht werden kann.
- Lötarbeiten dürfen Schülerinnen und Schüler in den Jahrgangsstufen 5 und 6 teilselbständig, d. h. im Blickfeld und bei Hilfestellungen der Lehrkraft, und ab Jahrgangsstufe 7 selbständig, d. h. unter Aufsicht der Lehrkraft im Rahmen der Dienstpflicht, durchführen ([1], S. 43). Es ist darauf zu achten, dass nur bleifreies Lötzinn verwendet werden darf und der Raum ausreichend gelüftet wird.

Quellen:

[1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013

[2] http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbuchreihe/Gefahrungsbeurteilung.pdf?__blob=publicationFile&v=36 (Stand 02.06.2016)



5.4 Gefährdung durch elektromagnetische Strahlung im nahen IR-, optischen und nahen UV-Bereich

a) Wesentliche Gefährdungen durch Einwirkung von Licht

Im Folgenden wird Strahlung, die zu dem in der Überschrift beschriebenen Bereich des elektromagnetischen Spektrums gehört, kurz als „Licht“ bezeichnet. Durch die Einwirkung von Licht können unmittelbare Schäden (z. B. an Auge oder Haut), aber auch stochastische Schäden (evtl. Langzeitwirkung, wie z. B. Hautkrebs) entstehen. Risikobegrenzende Faktoren sind vor allem die Begrenzung von Einwirkungsdauer und Energiedichte. Um die Expositionsgrenzwerte einzuhalten ([1], S. 91 f.), sind die Strahlungsart, die Dauer der Strahlungseinwirkung und die räumliche Begrenzung des Expositionsbereiches vier zu beachten. Neben der Problematik der sofortigen Schädigung gilt es den Grenzwert einer Tagesdosis von 30 J/m^2 zu beachten, der je nach Strahlungsart unterschiedlich schnell erreicht wird. Die im schulischen Zusammenhang am häufigsten vorliegenden Gefahren-Potenziale sind:

Gefährdungen	z. B. bei Verwendung ...
Unmittelbare Augenschädigung	eines Lasers (400 nm bis 1400 nm), einer Lichtbogenlampe, intensiver UV-Strahlung, von gebündeltem Sonnenlicht
Unmittelbare Hautschädigung	intensiver UV-Strahlung
Erhöhtes Hautkrebsrisiko	von UV-Strahlung (z. B. Hg-/Xe-Dampflampe)
Brandgefahr	von Sammellinsen zur Lichtbündelung

b) Hinweise zu unter Umständen unterschätzten Gefahrenquellen beim Experimentieren mit Licht

- Reflexions- und Streulicht:
Im Physiksaal kann ungewollt gestreutes oder reflektiertes Licht, z. B. durch Spiegel, Fensterscheiben und Glasscheiben von Schranktüren, entstehen. Daher sollte der Aufbau so konzipiert werden, dass diese Gefahr bewusst vermieden bzw. minimiert wird; ggf. sind reflektierende Flächen abzukleben oder abzuhängen.
- Brillen:
Brillen können Licht ebenfalls reflektieren und im Fall von Sammellinsen auch bündeln. Die Schülerinnen und Schüler sollten auf diese Gefährdung hingewiesen werden.
- Stroboskope:
Diese können Epilepsie-Anfälle auslösen. Die Schülerinnen und Schüler sollten darauf hingewiesen und ggf. um Mitteilung der Krankheit gebeten werden.

c) Speziell: Umgang mit Lasern

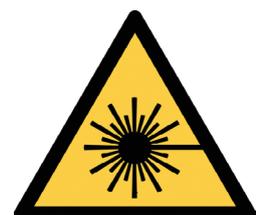
In Schulen dürfen nur Laser der Klassen 1, 1M, 2, 2M (nach DIN EN 60 825) und 3A (nach DIN EN 60 825-1) eingesetzt werden. Selbst diese (außer Klasse 1) müssen unter Verschluss aufbewahrt werden, also z. B. immer, wenn keine Lehrkraft den Laser gerade im Unterricht verwendet, in der verschlossenen Physik-Sammlung. Als Orientierung zur Einstufung der Klassen gilt folgende Tabelle ([2]):

Klasse 1	Für die Augen ungefährlich unter vernünftiger vorhersehbarer Bedingungen. Leistung $P < 25 \mu\text{W}$; λ von 400 nm bis 1400 nm; typische Anwendungen: CD-Spieler, Laserdrucker
Klasse 1M	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm und ist für das Auge ungefährlich, solange der Querschnitt des Laserstrahls nicht durch optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird. Leistung $P < 25 \mu\text{W}$; Strahldurchmesser $d > 7 \text{ mm}$; spezielle Bedienungsanweisung: Nicht in den Strahl blicken.

Klasse 2	<p>Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge aufgrund des Lidschlussreflexes ungefährlich. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereichs von 400 bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1-Laser.</p> <p>Leistung $P < 1,0$ mW; typische Anwendung: Messtechnik; spezielle Bedienungsvorschrift: Nicht in den Strahl blicken.</p>
Klasse 2M	<p>Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge aufgrund des Lidschlussreflexes ungefährlich, solange der Laserstrahl-Querschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereichs von 400 bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1M-Laser.</p> <p>Leistung $P < 1,0$ mW; Strahldurchmesser $d > 7$ mm; spezielle Bedienungsvorschrift: Nicht in den Strahl blicken.</p>
Klasse 3A	<p>Die Strahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Querschnitt des Laserstrahls nicht durch optische Instrumente (z. B. Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird. Ohne Verwendung optischer Instrumente ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich von 400 bis 700 nm bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich.</p> <p>Hinweis: 3A bezeichnet eine alte Norm, die im sichtbaren Spektralbereich mit der Klasse 2 vergleichbar ist.</p>

Trotz der Beschränkung der in Schulen einsetzbaren Laser auf der Basis obiger Klassifizierung ist beim Arbeiten mit Lasern im Unterricht stets besondere Vorsicht geboten. Hierzu einige wichtige Hinweise:

- Sich auf den Lidschlussreflex des Auges zu verlassen, ist nicht sinnvoll. Dieser könnte bei einzelnen Schülern verzögert sein oder bewusst unterdrückt werden. Vielmehr müssen die Schülerinnen und Schüler instruiert werden, dass sie bei Erkennen von Laserlicht sofort „bewusst wegschauen“.
- Laser ab Klasse 2 sind zwar bei kurzzeitigem (Einwirkungsdauer $< 0,25$ s) zufälligem Eintreffen in das Auge ungefährlich, können aber bei länger andauerndem oder wiederholtem Strahleinfall durchaus das Auge schädigen. Umso wichtiger ist das genaue Instruieren der Schülerinnen und Schüler.
- Auch kommerziell für Präsentationen zu erwerbende Laser-Pointer sind in der Regel mindestens in Klasse 2 einzuordnen und somit nicht ungefährlich.
- Falls ein zufälliger Einfall von Laserlicht ins Auge nicht ausgeschlossen werden kann, sollte der Laser nicht durch Stativmaterial fixiert werden. Hält die Lehrkraft den Laser stattdessen in der Hand, so kann durch das natürliche Händezittern eine evtl. Belastung einzelner Stellen im Auge minimiert werden.
- Die Klassifizierung der Laser ist nicht bei allen Produkten und Anbietern korrekt nach DIN EN. Empfohlen wird, für unterrichtliche Zwecke nur Produkte von vertrauenswürdigen Anbietern zu nutzen, die ein entsprechendes Kontroll-Siegel besitzen.
- Beim Arbeiten mit Lasern muss auch Streu- und Reflexionslicht beachtet werden (siehe Abschnitt b)).
- Vor Aufbau und Durchführung von Experimenten mit Lasern sind die Schülerinnen und Schüler über die Gefährdung der Augen durch den Einfall von Laserlicht zu unterrichten.
- Laser dürfen nur unter Aufsicht einer Lehrkraft betrieben werden, der Versuchsbereich ist mit einem Laserwarnschild zu kennzeichnen und gegen unbeabsichtigtes Betreten zu sichern. Das bedeutet insbesondere, dass der Gefahrenbereich keine Türen enthalten darf, durch die Personen, die keine Kenntnis vom aktuellen Laserbetrieb haben, eintreten könnten.



Warnschild Laser



d) Speziell: Umgang mit Spektrallampen, die UV-Strahlung emittieren ([1], S. 91 f.)

Die erlaubte Tagesdosis von 30 J/m^2 kann bei UV-Licht selbst im Abstand von z. B. 50 cm bereits nach wenigen Sekunden überschritten sein. Beim Experimentieren mit UV-Licht, z. B. bei der Demonstration des Hallwachseffekts mit einer Quecksilberhochdrucklampe, sollte deshalb nicht in den Strahlengang gegriffen werden. Falls Veränderungen am Versuchsaufbau vorgenommen werden, sollte die Lampe weggedreht oder die Strahlung mithilfe einer Blende abgeschirmt werden.

Schutzmaßnahmen sind auch bei seitlich zum Strahlengang auftretendem Streulicht zwingend notwendig. Zur Abschirmung des Streulichts kann eine Schutzscheibe eingesetzt werden. Es ist zu beachten, dass man nicht davon ausgehen kann, dass eine solche Schutzscheibe das UV-Licht im direkten Strahlengang hinreichend abschirmt.

Der Arbeitsbereich, in dem diese UV-Strahlung auftreten kann, ist mit dem Gefahrenhinweisschild „Vorsicht! Ultraviolette Strahlung“ zu kennzeichnen und abzugrenzen. UV-Lampen dürfen nur unter unmittelbarer Aufsicht der Lehrkraft betrieben werden.



Warnschild UV-Licht

e) Speziell: Umgang mit LEDs

LED Lampen müssen der DIN EN 62471 entsprechen und werden in Risikogruppen eingeordnet ([3], [4]).

Risikogruppen bei LEDs	
Risikogruppe 0 (freie Gruppe)	Lampen/Leuchten stellen keine photobiologische Gefahr dar.
Risikogruppe 1	Lampen/Leuchten stellen aufgrund normaler Einschränkungen durch das Verhalten der Nutzer keine Gefahr dar.
Risikogruppe 2	Lampen/Leuchten stellen aufgrund der Abwendungsreaktionen von hellen Lichtquellen oder durch thermisches Unbehagen keine Gefahr dar.
Risikogruppe 3	Lampen/Leuchten stellen schon für flüchtige oder kurzzeitige Bestrahlung eine Gefahr dar. Eine Verwendung in der allgemeinen Beleuchtung ist nicht erlaubt.

Für die Risikogruppen 0 und 1 sind keine besonderen Schutzmaßnahmen nötig, bei Risikogruppe 2 müssen die LEDs eine entsprechende Kennzeichnung besitzen (Beispiel siehe [5], S. 10) und Schutzmaßnahmen (Unterweisung der Schülerinnen und Schüler, Berücksichtigung bei der Versuchsplanung, Begrenzung der Expositionsdauer) ergriffen werden. Die Risikogruppe 3 unterliegt keinen Grenzwerten in Leistung und Lichtstärke, sodass eine Gefährdungsbeurteilung im schulischen Bereich nicht durchgeführt werden kann.

Falls Zweifel an der korrekten Eingruppierung vorhandener (z. B. vor Inkrafttreten der Norm erworbener) LEDs bestehen, kann von Risikogruppe 0 oder 1 ausgegangen werden, falls in 20 cm Entfernung eine Lichtstärke von 500 Lux nicht überschritten wird ([6]). Ein weitergehender Test auf Eingruppierung in Risikogruppe 2 oder 3 ist in der Regel mit schulischen Mitteln nicht möglich. Dafür müssten Grenzwerte für alle Spektralanteile zwischen 200 nm und 3000 nm bezüglich Strahlungsleistung und damit verbundener zulässiger Expositionsdauer (Hinweis: Tagesdosis 30 J/m^2) überprüft werden ([4]).

f) Mögliche Schutzmaßnahmen

Im Bezug zu den oben angeführten Gefährdungen können einige generelle Maßnahmen für eine Erhöhung der Sicherheit sorgen. Insbesondere bei Schülerexperimenten mit gefährlichen Lichtquellen (zu denen z. B. Laser immer gehören) ist eine Verhaltensanweisung unerlässlich.

Gefährdungen	Schutzmaßnahmen
unmittelbare Augenschädigung	<ul style="list-style-type: none"> – Lichteinfall ins Auge (auch von reflektiertem und gestreutem Licht) durch eine durchdachte Versuchsanordnung im Raum und die Ausgabe von Verhaltensregeln an die Schülerinnen und Schüler vermeiden; bei Schülerexperimenten spiegelnde Flächen im Physiksaal durch entsprechende Maßnahmen (z. B. Karton vor Glastür) weitestgehend ganz vermeiden. – Aufbau nicht in Augenhöhe; Schülerinnen und Schülern ggf. während der Versuchsdurchführung das Sitzen untersagen und bei Schülerexperimenten durchgängig im Stehen arbeiten lassen. – Falls ein zufälliger Einfall energiereicher Strahlung ins Auge nicht ausgeschlossen ist, sollte der Aufbau nicht fixiert werden, um so die evtl. Lichteinwirkung auf einzelne Stellen im Auge zu minimieren.
unmittelbare Hautschädigung, erhöhtes Hautkrebsrisiko	<ul style="list-style-type: none"> – Eintreffen energiereicher Strahlung auf die Haut minimieren (Abschirmung). – Falls nötig kurzzeitige Einwirkung sicherstellen.
Brandgefahr bei Lichtbündelung	<ul style="list-style-type: none"> – Ständige Beobachtung des Ergebnisses der Lichtbündelung – Bei Schülerexperimenten Verhaltensregeln ausgeben.

Quellen:

- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
- [2] http://www.1-2-do.com/wissen/Lasertechnik_-_Einf%C3%BChrung_und_Laserklassen#Aktuelle_Laserklassen (Stand 29.03.2016)
- [3] <http://www.baua.de/de/Produktsicherheit/Produktgruppen/Elektrische-Produkte/LED-Roehrenlampen.html> (Stand 29.03.2016)
- [4] <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/opto/articles/383854/> (Stand 29.03.2016)
- [5] http://www.pur-led.de/out/media/Datenblatt_Seoul_S42180H.pdf (Stand 29.03.2016)
- [6] https://www.abgnova.de/pdf/2010_PDF/2010-09-28_Produktpruefung-LED_VDE_Holger-Kilb.pdf (Stand 29.03.2016)

Weitere Informationen zu den LED-Risikogruppen:

- <http://www.ilumetrix.de/assets/pdf/01Photobiologische-Sicherheit-02.2012.pdf> (Stand 29.03.2016)
- http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/ZVEI-Schriften/1410_ZVEI_Fotobiologische_Sicherheit.pdf (Stand 29.03.2016)



5.5 Gefährdung durch ionisierende Strahlung

a) Grundsätzliches

Aktivität und Freigrenze:

Die Definition des Begriffs der Freigrenze ist in § 3(16) StrlSchV (Strahlenschutzverordnung, [2]) aufgeführt. Unter der Freigrenze versteht man die maximale Aktivität, die ein entsprechender radioaktiver Stoff besitzen darf, ohne dass eine Genehmigung benötigt wird. Die einzelnen Freigrenzen der Nuklide sind in der Anlage III Tabelle 1 StrlSchV ([2]) aufgelistet. Dabei beträgt die Freigrenze für Radium-226 beispielsweise 10 kBq, für Kobalt-60 hingegen 100 kBq.

Genehmigungsfreier Umgang, anzeigefreier und anzeigebedürftiger Umgang mit bauartzugelassenen Präparaten:

Ein genehmigungsfreier Umgang ist generell bei bauartzugelassenen radioaktiven Präparaten gegeben, die in den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht als Schulpräparate bezeichnet werden ([1], S. 249). Der Umgang mit solchen Präparaten ist zudem anzeigefrei, wenn die Bauartzulassung nach dem 01.08.2001 erteilt (siehe Datum im Zulassungsschein) wurde. Aufgrund dieser Präparate ist keine Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten an der Schule erforderlich; dies wird allerdings dennoch empfohlen.

Ein genehmigungsfreier, aber anzeigebedürftiger Umgang liegt hingegen vor, wenn die Bauartzulassung vor dem 01.08.2001 erteilt wurde. Der Umgang unterliegt in diesem Fall der Strahlenschutzverordnung; an der Schule sollen zwei⁸ Strahlenschutzbeauftragte bestellt werden ([3], Zu Punkt 8.4.1, Nummer 2).

Radioaktive Strahler ohne Bauartzulassung sind wie folgt zu beurteilen: Wird keine Freigrenze (siehe oben) im Einzelnen überschritten (es liegen nur sogenannte Freigrenzenpräparate vor) und liefert die Anwendung der Summenformel⁹ ([1], S. 250) auf den an einer Schule vorhandenen Gesamtbestand radioaktiver Strahler ohne Bauartzulassung höchstens den Wert 1, so ist der Umgang mit diesen Präparaten anzeige- und genehmigungsfrei. In diesem Fall muss keine Person als Strahlenschutzbeauftragter fungieren; die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht empfehlen dies allerdings ([1], S. 250).

Beispiele:

BAZ Bauartzulassung

- Ein Gymnasium bevorratet folgende radioaktive Strahler:
 - Americium-241 mit BAZ (NW 76/76), A = 333 kBq
 - Kunststoffflasche mit Th-nat mit BAZ (NW 6/65), A = 110 kBq
 - Radium-226: Freigrenzenpräparat, A = 5,0 kBq (siehe oben: A < 10 kBq → Freigrenzenpräparat)
 - Radium-226: Freigrenzenpräparat zum Einsatz beim Spinthariskop, A = 0,4 kBq
 - Kobalt-60, Freigrenzenpräparat, A = 74 kBq

Für die Strahler ohne Bauartzulassung muss die Summenformel ([1], S. 250) angewandt werden. Die Anwendung der Summenformel ergibt:

$$\sum_i \frac{A_i}{FG_i} = \frac{5,0 \text{ kBq}}{10 \text{ kBq}} + \frac{0,4 \text{ kBq}}{10 \text{ kBq}} + \frac{74 \text{ kBq}}{100 \text{ kBq}} = 0,50 + 0,04 + 0,74 = 1,28 > 1.$$

8 Bei der Festlegung des innerschulischen Entscheidungsbereichs der Strahlenschutzbeauftragten ist auf eine Stellvertreterregelung zu achten ([3], Zu Punkt 8.4.1, Nummer 2). Insofern im Folgenden von dem Strahlenschutzbeauftragten gesprochen wird, ist der hauptverantwortliche Strahlenschutzbeauftragte gemeint.

9 Bauartzugelassene Vorrichtungen und radioaktive Mineralien und Erze bleiben bei der Anwendung der Summenformel unberücksichtigt ([3], Zu Punkt 8.2.6.1). Außerdem ist bei der Formel-Anwendung zu berücksichtigen, dass die jeweilige aktuelle Aktivität eines radioaktiven Präparats ohne Bauartzulassung verwendet wird (Anfangsaktivität und Halbwertszeit beachten).

Da die Summe größer als 1 ist (und auch Präparate mit Bauartzulassung vorhanden sind), muss die Strahlenschutzverordnung angewendet und zwei Strahlenschutzbeauftragte bestellt werden. Insbesondere ist der Umgang mit den drei Freigrenzenpräparaten genehmigungspflichtig (Hinweis: Auch im Falle einer beantragten Genehmigung müssen zwei Strahlenschutzbeauftragte bestellt werden). Es wird darauf hingewiesen, dass es nicht sehr wahrscheinlich ist, dass eine solche Genehmigung erteilt wird, weshalb hier eine Reduzierung des Bestands an Freigrenzenpräparaten angezeigt ist.

2. An einem anderen Gymnasium liegen folgende radioaktive Strahler vor:

- Set radioaktiver Strahler mit BAZ BfS 01/10; Bauartzulassung nach dem 01.08.2001: Americium-241, $A = 74 \text{ kBq}$; Strontium-90, $A = 45 \text{ kBq}$; Cäsium-137, $A = 74 \text{ kBq}$
- Radium-226: Freigrenzenpräparat, $A = 5,0 \text{ kBq}$
- Radium-226: Freigrenzenpräparat zum Einsatz beim Spinthariskop, $A = 0,4 \text{ kBq}$

Für die Strahler ohne Bauartzulassung muss die Summenformel ([1], S. 250) angewandt werden. Die Anwendung der Summenformel ergibt:

$$\sum_i \frac{A_i}{FG_i} = \frac{5,0 \text{ kBq}}{10 \text{ kBq}} + \frac{0,4 \text{ kBq}}{10 \text{ kBq}} = 0,50 + 0,04 = 0,54 < 1.$$

Da die Summe kleiner als 1 ist und die Bauartzulassung für das Set radioaktiver Präparate nach dem 01.08.2001 erteilt wurde, ist der Umgang genehmigungs- und anzeigefrei. Es muss kein Strahlenschutzbeauftragter bestellt werden. Gemäß der Strahlenschutzverordnung sind die Vorgaben des Zulassungsscheins zu beachten. Weitere Beispiele zur Anwendung der Summenformel finden sich z. B. in der Informationsschrift „Radioaktive Stoffe – Hinweise zum Umgang an Schulen“ des sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ([4]).

Effektive Dosis:

Die effektive Dosis - früher auch effektive Äquivalentdosis genannt - ist ein Maß für die Strahlenexposition beim Menschen. Bei dieser Größe wird sowohl die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe gegenüber ionisierender Strahlung als auch die unterschiedliche Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten miteinbezogen. Der Grenzwert der effektiven Dosis beträgt für Einzelpersonen der Bevölkerung, also auch für Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler, 1 mSv pro Kalenderjahr. Bei der üblichen Verwendung von Schulpräparaten wird der Grenzwert 1 mSv pro Kalenderjahr für alle Beteiligten nicht überschritten.

Grundsätze im Umgang:

Um die effektive Dosis für Schülerinnen und Schüler sowie für die Lehrkräfte möglichst gering zu halten, sind die nachfolgenden Grundsätze zu beachten ([1], S. 247 ff.):

- Präparate erst unmittelbar vor der Verwendung dem Aufbewahrungsort (z. B. Tresor) entnehmen und nach Gebrauch (z. B. am Ende der Unterrichtsstunde) unverzüglich zurückbringen.
- Bei Versuchen mit radioaktiver Strahlung muss das Gefahrenschild „Radioaktivität“ aufgestellt werden.
- Präparate im Unterrichtsraum ggf. abschirmen (z. B. durch Bleiblöcke).
- Experimente an Lebewesen sind verboten.
- Es wird empfohlen, dass Schwangere oder stillende Lehrerinnen bzw. Schülerinnen nicht mit offenen radioaktiven Stoffen auch unterhalb der Freigrenzen umgehen ([1], S. 258); ggf. müssen eine Kontamination und Inkorporation sicher ausgeschlossen werden.
- Radioaktive Stoffe und Schulröntgeneinrichtungen dürfen nur bestimmungsgemäß verwendet werden.
- Radioaktive Stoffe sind vor ihrer Verwendung auf etwaige Schäden oder Mängel zu untersuchen (Sichtprüfung). Besteht der Verdacht auf Beschädigung oder Undichtheit der Umhüllung eines radioaktiven Strahlers, darf dieser Strahler nicht mehr verwendet werden und ist entsprechend zu kennzeichnen. Der Strahlenschutzbeauftragte, der Strahlenschutzverantwortliche und die zuständige Behörde sind zu verständigen.



Warnschild
Radioaktivität



- Schulröntgeneinrichtungen sind vor der Inbetriebnahme im Unterricht einer Funktionsprüfung zu unterziehen. Defekte Schulröntgeneinrichtungen sind außer Betrieb zu nehmen und gegen unerlaubtes Inbetriebsetzen zu sichern.
- Radioaktive Stoffe und Schulröntgeneinrichtungen dürfen nur in den dafür vorgesehenen Räumen gehandhabt bzw. betrieben werden.
- Bei besonderen Vorkommnissen sind unverzüglich der Strahlenschutzbeauftragte, der Strahlenschutzverantwortliche und die zuständige Behörde zu verständigen.

Unterweisungen:

Jede Lehrkraft, die eigenständig mit anzeigebedürftigen (Bauartzulassung vor dem 01.08.2001) oder genehmigungspflichtigen radioaktiven Stoffen im Unterricht umgeht, muss vor dem erstmaligen Umgang und danach einmal jährlich gegen Unterschrift vom Strahlenschutzbeauftragten unterwiesen werden ([3], Zu Punkt 8.4.1, Nummer 9). Das entsprechende Formular¹⁰, das eine solche Unterweisung dokumentiert, ist vom Strahlenschutzbeauftragten aufzubewahren. Es wird empfohlen, in jedem Fall für den Umgang mit radioaktiven Stoffen an Schulen (auch unterhalb der Freigrenzen) eine jährliche Unterweisung der Lehrkräfte durchzuführen ([1], S. 258).

Schülerinnen und Schüler müssen nur bei genehmigungsbedürftigem Umgang mit radioaktiven Stoffen (in Anlehnung an § 38 StrlSchV) unterwiesen werden ([3], Zu Punkt 8.4.1, Nummer 7). Eine Instruktion der Schülerinnen und Schüler, die in Schülerexperimenten mit radioaktiven Stoffen umgehen, ist generell zu empfehlen; auch wenn nur Freigrenzenpräparate zum Einsatz kommen. Dass den Schülerinnen und Schülern Gefährdungen und Schutzmaßnahmen im Umgang mit radioaktiven Stoffen erläutert werden, erscheint auch dann geboten, wenn im Unterricht ausschließlich Demonstrationsexperimente durchgeführt werden.

b) Verschiedene Kategorien radioaktiver Stoffe ([1], S. 258 ff.)

Umschlossene radioaktive Stoffe:

Dies sind radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen inaktiven Stoffen so eingebettet sind, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird (StrlSchV [2], § 3(2) Nr. 29b). Beispiele hierfür sind bauartzugelassene Strahlerstifte bzw. radioaktive Stoffe, bei denen eine Dichtheitsprüfung durchgeführt wurde und die zugehörigen Grenzwerte eingehalten werden.

Offene radioaktive Stoffe:

Alle radioaktiven Stoffe, mit Ausnahme der umschlossenen radioaktiven Stoffe, sind offene radioaktive Stoffe ([1], S. 251). Dies sind also flüssige und feste radioaktive Stoffe, die nicht die oben genannten Kriterien für umschlossene radioaktive Stoffe erfüllen, z. B. der Cs/Ba-Isotopengenerator, die Kunststoffflasche mit Th-nat (zur Untersuchung des radioaktiven Zerfalls in der Ionisationskammer).

Hinweis:

Von bauartzugelassenen Präparaten war bereits im vorausgegangenen Abschnitt a) die Rede. Entsprechende Präparate müssen immer mit dem Bauartzeichen (z. B. NW 7/65, NDS 16, BW 49/87 usw.) gekennzeichnet sein. Bauartzugelassene radioaktive Präparate können sowohl umschlossene als auch offene radioaktive Stoffe sein.

Radioaktive Materialien:

Dies sind Stoffe, die natürlich vorkommende Radionuklide enthalten oder mit diesen kontaminiert sind ([1], S. 248). Hierzu zählen feste, natürliche radioaktive Stoffe, wie z. B. Uranerze, Uranglas, aber auch künstlich hergestellte radioaktive Präparate, wie z. B. leicht strahlender Kunstdünger oder ein Auer-Netz (zerschnittener Thorium-Glühstrumpf) – Präparate, die von einer Plastikkapsel umschlossen sind.

10 Ein Formular für die jährliche Einweisung von Lehrkräften findet sich in [3] in der Anlage 2.

Beispiele:

Radioaktiver Stoff	zutreffende Kategorien
Am-, Ra-, Sr-Präparate	umschlossener radioaktiver Stoff; bauartzugelassene Präparate
Cs/Ba-Isotopengenerator, Kunststoffflasche mit Th-nat	offener radioaktiver Stoff; bauartzugelassenes Präparat
Uranerze, insbesondere Pechblende; Uranglas	offener radioaktiver Stoff; natürliches radioaktives Material; Hinweis: Radioaktive Mineralien und Erze sollten stets kontaminationsicher und gasdicht verpackt sein ([3], Zu Punkt 8.3).
Kunstdünger, Auer-Netz (zerschnittener Thorium-Glühstrumpf), beides in Plastikkapsel	Künstlich hergestelltes radioaktives Material; aufgrund der Plastikkapsel als umschlossene Stoffe anzusehen; Hinweis: Thorium-Glühstrümpfe sollten stets kontaminationsicher und gasdicht verpackt sein.



Kunststoffflasche mit Th-nat



Thorium-Glühstrumpf und Kunstdünger in Kapsel

c) Experimentieren mit radioaktiven Stoffen
Experimente mit festen, natürlichen radioaktiven Materialien (z. B. radioaktiven Mineralien und Erze):

Der Umgang mit festen, natürlichen radioaktiven Materialien ist anzeige- und genehmigungsfrei, wenn hinsichtlich der zu erwartenden Strahlenexposition arbeitsplatzbezogen abgeschätzt werden kann, dass die jährliche effektive Körperdosis kleiner als 6 mSv ist. Im schulischen Bereich ist darauf zu achten, dass der Wert 1 mSv pro Kalenderjahr nicht überschritten wird und die Schutzvorschriften der Strahlenschutzverordnung dennoch (auch wenn nicht verpflichtend) umgesetzt werden.

Ein unerlaubter Zugriff ist zu verhindern. Um das Kontaminations- und Inkorporationsrisiko zu minimieren, sind radioaktive Mineralien und Erze (Partikelablösung vermeiden), aber z. B. auch Wecker und Uhren mit radioaktiven Leuchtfarben (soweit diese nicht als radioaktive Abfälle¹¹ zu entsorgen sind) kontaminationsicher und gasdicht zu lagern (z. B. Glas- oder Kunststoffbehältnis mit fest verschließbarem Deckel). Bei Schülerexperimenten mit festen radioaktiven Materialien, die anzeige- und genehmigungsfrei sind, genügt es, wenn eine Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt, unmittelbar Aufsicht führt.

¹¹ Wecker, Uhren und Anzeigegeräte mit fest haftenden radioaktiven Leuchtfarben: Wenn die Dosisleistung in 10 cm Abstand den Wert 1 $\mu\text{Sv/h}$ übersteigt oder die Abdeckung (Glas) beschädigt ist, so dass Kontakt mit der Leuchtfarbe möglich ist, sind diese als radioaktive Abfälle zu entsorgen.



Uranerz (festes radioaktives Material)



Kachel (festes radioaktives Material)

Experimente mit offenen radioaktiven Stoffen, die unterhalb der Freigrenzen liegen:

Bei Schülerexperimenten mit offenen radioaktiven Stoffen, welche die Freigrenzen nach Anlage III Tabelle 1 StrlSchV ([2]) unterschreiten, ist es ausreichend, wenn eine Lehrkraft mit entsprechenden Kenntnissen im naturwissenschaftlichen Bereich unmittelbar Aufsicht führt ([3], Zu Punkt 8.10.1). Es sind immer Schutzhandschuhe (Einmalhandschuhe) zu tragen. Kontamination und Inkorporation müssen sicher ausgeschlossen werden.



Beispiele für offene radioaktive Stoffe

Experimente mit offenen radioaktiven Stoffen, die oberhalb der Freigrenzen liegen:

Schülerinnen und Schüler dürfen generell gemäß der Bekanntmachung [3] (Zu Punkt 8.10.3) bei Demonstrationsexperimenten mit einem vor dem 01.08.2001 bauartzugelassenen Strahler mitwirken – und dies schließt auch offene radioaktive Strahler, die i. d. R. oberhalb der Freigrenzen liegen, ein –, wobei zum Zeitpunkt der Durchführung des Experiments ein Strahlenschutzbeauftragter in der Schule oder kurzfristig erreichbar sein muss. Selbständig mit solchen Strahlern experimentieren dürfen sie nicht.

Handelt es sich um Strahler, für die eine Genehmigung beantragt werden muss (genehmigungsbedürftiger Umgang), so sind die Vorgaben des (sofern überhaupt ausgestellt) Genehmigungsbescheids zu beachten; entsprechende Genehmigungen werden in der Regel nicht erteilt.

Experimente mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, die unterhalb der Freigrenzen liegen (z. B. radioaktive Strahler in Experimentierkästen für Schülerinnen und Schüler):

Bei Schülerexperimenten mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, die unterhalb der Freigrenzen liegen und somit keiner Bauartzulassung bedürfen, ist es ausreichend, wenn eine Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt, unmittelbar Aufsicht führt ([3], Zu Punkt 8.10.2). Das zuständige Landesamt für Umwelt in Bayern hat festgelegt, dass seit 01.11.2011 bei Neuanschaffungen von Experimentierkästen mit umschlossenem Thorium-Glühstrumpf bzw. Auer-Netz nur noch maximal 4 Stück (unter Beachtung der Summenformel) angeschafft werden dürfen.



Experimentierkasten für Schülerexperimente mit umschlossenen radioaktiven Stoffen

Experimente mit bauartzugelassenen Präparaten:

Mit anzeigebedürftigen Präparaten, wie z. B. einer Th-nat-Kunststoffflasche und Strahlerstiften mit Bauartzulassungen vor dem 01.08.2001, dürfen nur unterwiesene Lehrkräfte (und natürlich ein Strahlenschutzbeauftragter) umgehen. Währenddessen muss ein Strahlenschutzbeauftragter erreichbar sein. Als Erreichbarkeit gilt, wenn ein Strahlenschutzbeauftragter in der Schule ist oder rasch vor Ort sein kann. Schülerinnen und Schüler können beim Umgang mit anzeigebedürftigen Vorrichtungen (Bauartzulassung vor dem 01.08.2001) mitwirken, wenn eine vom Strahlenschutzbeauftragten unterwiesene Lehrkraft (oder natürlich ein Strahlenschutzbeauftragter selbst) anwesend ist und Aufsicht führt. Schülerinnen und Schüler können mit Präparaten, die eine Bauartzulassung ab dem 01.08.2001 besitzen, selbständig experimentieren, wenn eine Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt, unmittelbar Aufsicht führt ([3], Zu Punkt 8.10.3).



Am-Präparat, Ra-Präparat (Schulpräparate)

Übersicht über typische Fälle beim Experimentieren mit radioaktiven Stoffen :

SSB Strahlenschutzbeauftragter

Beispiele	Anwesenheit des SSB in der Schule bzw. kurzfristige Erreichbarkeit des SSB erforderlich?	Ist eine Schülerbeteiligung beim Experimentieren möglich und wer muss ggf. Aufsicht führen?	Schülerexperiment möglich und wer muss ggf. Aufsicht führen?
Umschlossene, anzeigebedürftige Am-, Ra-, Sr-Präparate (Bauartzulassungen vor dem 01.08.2001)	Ja	Ja, unter Aufsicht durch eine unterwiesene Lehrkraft (oder durch einen SSB).	kein Schülerexperiment möglich
anzeigebedürftige Cs/Ba-Isotopengeneratoren, Kunststoffflasche mit Th-nat zur Untersuchung des radioaktiven Zerfalls in der Ionisationskammer (Bauartzulassung vor dem 01.08.2001; i.d.R. $A > FG$)	Ja	Ja, unter Aufsicht durch eine unterwiesene Lehrkraft (oder durch einen SSB).	kein Schülerexperiment möglich
Umschlossene, anzeigefreie Am-, Sr-Präparate (Bauartzulassungen nach dem 01.08.2001)	Nein ¹²	Ja, bei Aufsicht einer Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt.	Ja, bei Aufsicht einer Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt.
Uranerze, Uranglas, Wecker mit Leuchtziffern; allgemein: feste, natürliche radioaktive Stoffe bei ausreichend geringer Strahlenbelastung und offene radioaktive Stoffe, die unterhalb der Freigrenzen liegen	Nein ¹²	Ja, wenn eine kontaminationssichere Handhabung sichergestellt wird und bei Aufsicht einer Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt.	Ja, wenn eine kontaminationssichere Handhabung sichergestellt wird und bei Aufsicht einer Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt.

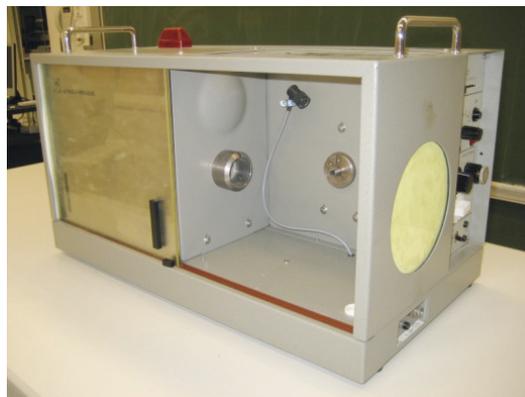
¹² Aufgrund dieser Präparate bzw. radioaktiven Stoffe ist kein Strahlenschutzbeauftragter an der Schule notwendig.



Beispiele	Anwesenheit des SSB in der Schule bzw. kurzfristige Erreichbarkeit des SSB erforderlich?	Ist eine Schülerbeteiligung beim Experimentieren möglich und wer muss ggf. Aufsicht führen?	Schülerexperiment möglich und wer muss ggf. Aufsicht führen?
Kunstdünger und Auer-Netz (zerschnittener Thorium-Glühstrumpf) von Plastikkapsel umschlossen (z. B. in Experimentierkästen)	Nein ¹²	Ja, wenn eine kontaminationssichere Handhabung sichergestellt wird und bei Aufsicht einer Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt.	Ja, wenn eine kontaminationssichere Handhabung sichergestellt wird und bei Aufsicht einer Lehrkraft, die über entsprechende Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich verfügt.

c) Experimentieren mit Schulröntgeneinrichtungen

Schulröntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftige Störstrahler dürfen nur Lehrkräfte, die von einem Strahlenschutzbeauftragten unterwiesen sind, (und natürlich Strahlenschutzbeauftragte) in Betrieb nehmen bzw. verwenden. Während der Durchführung eines Demonstrationsexperiments muss ein Strahlenschutzbeauftragter an der Schule oder zumindest kurzfristig erreichbar sein ([3], Zu Punkt 9.4.1, Nummer 2). Schülerinnen und Schüler dürfen bei Versuchen mit einer Röntgenröhre oder einem genehmigungsbedürftigen Störstrahler allerdings nur in Anwesenheit und unter der Aufsicht eines Strahlenschutzbeauftragten mitwirken ([1], S. 269).



Schulröntgenröhre

Übersicht zum Experimentieren mit der Schulröntgenröhre:

SSB Strahlenschutzbeauftragter

	Anwesenheit des SSB in der Schule bzw. kurzfristige Erreichbarkeit des SSB erforderlich?	Ist eine Schülerbeteiligung beim Experimentieren möglich und wer muss ggf. Aufsicht führen?	Schülerexperiment möglich und wer muss ggf. Aufsicht führen?
Betrieb der Röntgenröhre oder eines genehmigungsbedürftigen Störstrahlers	Ja	Ja, bei Aufsicht eines SSB.	kein Schülerexperiment möglich

Quellen:

- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
- [2] Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), Ausfertigungsdatum 20.07.2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 11.12.2014 (BGBl. I S. 2010) geändert
- [3] Strahlenschutz in Schulen – Vollzug der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung im Zusammenhang mit der Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht in Schulen, Gemeinsame Bekanntmachung der Staatsministerien für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst und für Umwelt und Verbraucherschutz vom 27. Juli 2016, Az. V.7-BO4166.2-6a.64 455 und 83c-U8817.0-2016/5-2
- [4] Radioaktive Stoffe – Hinweise zum Umgang an Schulen, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2011
- [5] Naturwissenschaften im Unterricht Physik - Radioaktivität, Heft 141/142, Juli 2014

5.6 Gefährdung durch Lärm

a) Allgemeines

Nach § 2 Abs. 1 der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) ist Lärm „jeder Schall, der zu einer Beeinträchtigung des Hörvermögens oder zu einer sonstigen mittelbaren oder unmittelbaren Gefährdung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten führen kann.“ Die LärmVibrations-ArbSchV spricht hiermit auch den Schutz der Schülerinnen und Schüler, der Lehrkräfte und aller sonstigen Beschäftigten in der Schule vor gesundheitsschädigenden Lärmeinwirkungen an.

b) Gefährdung durch Lärm im Physikunterricht

Die objektive Beurteilung von Lärm ist kaum möglich. Als physikalische Größe ist er zwar messbar, was der Einzelne bei Lärm empfindet, allerdings nicht. Die physikalische Größe Schalldruckpegel L ist ein logarithmisches Maß zur Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses und wird in Dezibel (dB) angegeben. Das Dezibel ist keine physikalische Einheit wie Ampere oder Meter sondern eine Verhältniszahl, die das Verhältnis eines gemessenen Schalldrucks p zu einem Bezugsschalldruck p_0 (Schalldruck an der Hörschwelle) kennzeichnet. Der Schalldruck an der Hörschwelle wird mit 0 dB definiert und dient der logarithmischen Dezibelskala als Ausgangspunkt.

Der Gesetzgeber unterscheidet zwischen verschiedenen Lärmpegeln: Tages-Lärmexpositionspegel ($L_{EX, 8h}$), Wochen-Lärmexpositionspegel ($L_{EX, 40h}$) und Spitzenschalldruckpegel (L_{pCpeak}) ([1], S. 70 ff., S. 232 f.). Für die Gefährdung durch Lärm im Physikunterricht ist vorwiegend Letzterer relevant. Der Spitzenschalldruckpegel ist der Höchstwert des momentanen Schalldruckpegels ([2], § 2 (4)) und ist z. B. bei einer Explosion oder einem lauten Knall anzuwenden.

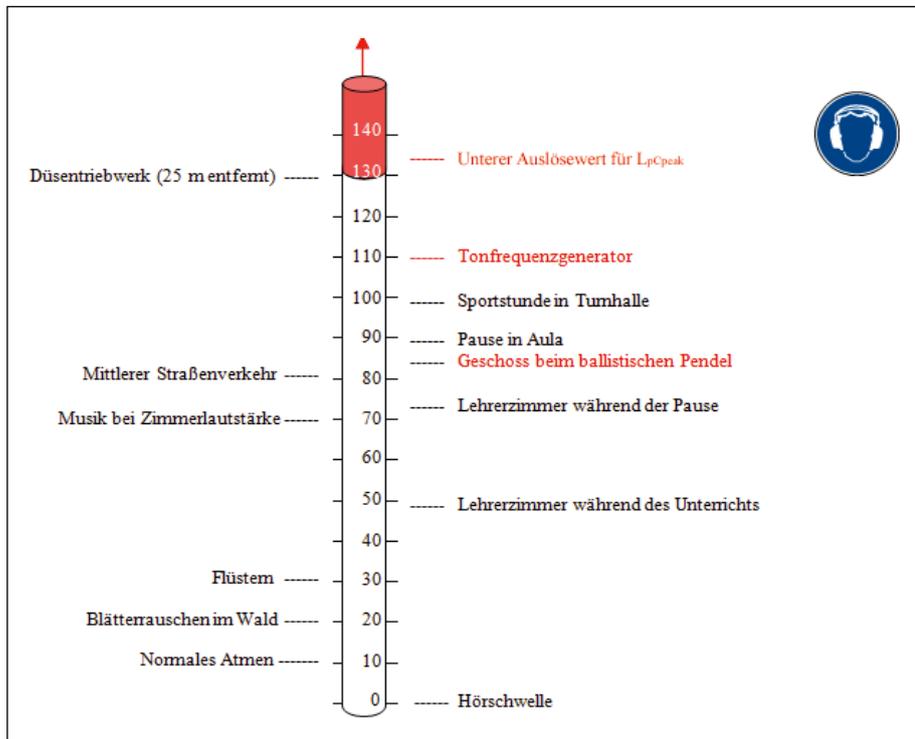
Der sog. untere und obere Auslösewert (Einheit Dezibel) ist für die beiden Lärmexpositionspegel $L_{EX, 8h}$ und L_{pCpeak} jeweils anders festgelegt ([1], S. 72). Ein Auslösewert ist eine Schwelle, bei deren Überschreitung Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Lärmexposition durch den Schulleiter eingeleitet („ausgelöst“) werden müssen. Beim Überschreiten des oberen Auslösewertes müssen die Maßnahmen verstärkt werden ([2], §7 (4), (5)).

	Unterer Auslösewert	Oberer Auslösewert
L_{pCpeak}	135 dB (C)	137 dB (C)

Obwohl im Physikunterricht an Schulen diese Pegelwerte i. d. R. nicht erreicht werden, gibt es dennoch Versuche mit einer Lärmbelastung für die Schülerinnen und Schüler, z. B.

- beim Einsatz eines Tonfrequenzgenerators (≈ 110 dB) zur
 - Bestimmung der Grenzfrequenzen des Hörschalls,
 - Erzeugung stehender Wellen im Kundt'schen Rohr oder
 - Erzeugung Chladni'scher Klangfiguren.

In der nachfolgenden Abbildung sind einige typische Schallpegelwerte bekannter Schallquellen aus Umwelt und Schule dargestellt. Bei den Angaben handelt es sich lediglich um Orientierungswerte:



c) Gehörschutz

Werden die unteren Auslösewerte trotz Durchführung der Maßnahmen nach §7 Abs. 1 LärmVibrations-ArbSchV nicht eingehalten, hat die Schulleiterin oder der Schulleiter den Beschäftigten (u. a. Lehrern und Schülern) einen geeigneten persönlichen Gehörschutz zur Verfügung zu stellen ([2], §8 (1)). Werden beim Experimentieren im Physikunterricht besonders große Schallpegelwerte erreicht, so sollte die Lehrkraft auf eine möglichst kurze Zeitdauer der Lärmeinwirkung achten. Mögliche Schutzmaßnahmen sind: Ohren zuhalten, Gehörschutzstöpsel (Einwegprodukte) oder Kapselgehörschutz verwenden.

Quellen:

- [1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013
 [2] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibration (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) geändert worden ist)

5.7 Gefährdung durch Tätigkeiten mit Maschinen und Geräten

Es ist selbstverständlich, dass sich eine Lehrkraft mit den Maschinen und Geräten, die in der Sammlung zur Verfügung stehen, vor Gebrauch vertraut macht und ggf. hierzu die Bedienungsanleitungen zur Hand nimmt. Vor Aufnahme der Tätigkeit ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen ([1], S. 42). Hierbei sind vor allem mechanische (z. B. Schneiden, Stechen), chemische (z. B. Holzstaub; [1], S. 41 f.) und thermische Gefährdungen (z. B. heiße Oberflächen) sowie Lärm zu berücksichtigen. Tätigkeiten mit Hobel- und Fräsmaschinen, Sägemaschinen wie Kreissäge, Bandsäge und stationär eingespannte Sticksägemaschine sowie Stockscheren mit mechanischem Antrieb und Schweißgeräten ist nur Lehrkräften erlaubt, die aufgrund von Ausbildung/Studium oder durch entsprechende Fortbildungsmaßnahmen die erforderlichen Fachkenntnisse zum Betrieb der Maschinen haben ([1], S. 42). Im Folgenden werden Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler im Umgang mit Maschinen und Geräten zusammengefasst.

a) Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler

In den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht werden auf Seite 43 folgende Abkürzungen eingeführt:

-	Einsatz nicht vorgesehen	
A	Unter Aufsicht	Die Schülerin oder der Schüler arbeitet an der Maschine; die Lehrkraft steht daneben und beaufsichtigt den Vorgang.
TS	Teilselbständig	Die Schülerin oder der Schüler arbeitet selbständig an der Maschine und befindet sich dabei im Blickfeld der Lehrkraft.
S	Selbständig	Die Schülerin oder der Schüler arbeitet selbständig an der Maschine; die Lehrkraft beaufsichtigt sie bzw. ihn im Rahmen seiner Dienstpflichten.

Die nachfolgende Tabelle nimmt Maschinen und Geräte in den Blick, die von Schülerinnen und Schülern z. B. im Rahmen der Durchführung von Schülerexperimenten oder Projekten (z. B. P-Seminar) bedient werden sollen. Inwieweit eine Tätigkeit zulässig ist, hängt entscheidend vom Alter der Schülerinnen und Schüler ab ([1], S. 42 f.; [2])

Maschinen und Geräte	Jahrgangsstufen			Ausführlichere Hinweise in [1]
	5/6	7/8	ab 9	
Bohrschrauber	A	TS	S	
Bunsen- und Kartuschenbrenner	TS	TS	TS	S. 49 f.; S. 79; [2]
Handbohrmaschine (elektrisch)	A	TS	S	S. 95-97; S. 99
Heißklebepistole	A	TS	S	
LötKolben (elektrisch)	TS	S	S	S. 44 f.; S. 100 f.
Papier- und Materialschneidegerät	A	A	TS	S. 98 f.
Sticksäge (elektrisch)	A	TS	TS	S. 96
Styropor-Heißdraht-Schneider	TS	S	S	
Tisch- oder Ständerbohrmaschine (elektrisch)	A	TS	S	S. 95-97; S. 99

b) Grundlegende Voraussetzungen für den Schülerumgang mit Maschinen und Geräten

- Es ist unbedingt eine Einweisung der Schülerinnen und Schüler im Umgang mit der betreffenden Maschine bzw. dem eingesetzten Gerät erforderlich.
- Die sorgfältige Einweisung durch eine fachkundige Lehrkraft geht insbesondere auf Gefährdungen und Schutzmaßnahmen ein. Die Instruktion ist regelmäßig zu wiederholen.



- Die einschlägigen Sicherheitsrichtlinien im Umgang mit Geräten und Maschinen müssen beachtet werden.
- Geräte und Maschinen müssen vor Inbetriebnahme durch die Schülerinnen und Schüler einer Sicht- und Funktionsprüfung durch die Lehrkraft unterzogen werden.
- Das Gewicht und die abgegebene Leistung der vom Schüler bedienten Geräte und Maschinen müssen auf dessen körperliche Voraussetzungen, Reife und Kenntnisstand abgestimmt sein.
- Betriebsanweisungen für wichtige Grundarbeitsgänge sind in Maschinennähe auszuhängen.

Quellen:

[1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013

[2] <http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/nwt/hilf/hilfe3/maschineneinsatz-5-2009.pdf> (Stand 29.03.2016)

5.8 Gefahrstoffe

Gefahrstoffe sind solche Stoffe oder Gemische, die Mensch und Umwelt schädigen können, sei es, weil sie z. B. entzündlich, explosiv, giftig, ätzend, krebserzeugend, fruchtschädigend oder auch allgemein umweltgefährdend sind. Es versteht sich von selbst, dass das oberste Ziel die Vermeidung von Gefahrstoffen ist. Ein Gefahrstoff darf von Schülerinnen und Schülern sowie Lehrkräften nur dann verwendet werden, wenn dies den Tätigkeitsbeschränkungen ([1], S. 25; [4], S. 6 und Spalte 9) nicht widerspricht, eine Prüfung der Substitution des Gefahrstoffs negativ ausgefallen ist, dieser zur Erreichung eines Lernziels unbedingt erforderlich ist und der Personenschutz durch die Aufsicht einer fachkundigen Person sowie das Ergreifen geeigneter Schutzmaßnahmen gewährleistet ist. Dies ist in einer Gefährdungsbeurteilung zu vermerken.

Zur Risikoeinschätzung beim Umgang mit Gefahrstoffen helfen folgende Quellen: die GESTIS-Stoffdatenbank ([2]), die Software D-GISS ([3]), die DGUV Regel 113-019 ([4]) und die Sicherheitsdatenblätter der Gefahrstoff-Hersteller. Die DGUV Regel 113-019 enthält eine Liste mit den im Unterricht verwendeten Stoffen und beinhaltet zusätzlich die Risiko- und Sicherheitssätze (R- und S-Sätze) sowie Hinweise zur Verwendbarkeit von Stoffen für Schülerexperimente, zur Aufbewahrung und Entsorgung. Die R- und S-Sätze, die in den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht erläutert sind ([1], S. 162 ff.), waren Bestandteil der bis Juni 2015 gültigen Gefahrstoffkennzeichnung.

Inzwischen werden, im Rahmen des global harmonisierten Systems zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS), statt den R- und S-Sätzen die sogenannten H- und P-Sätze verwendet. Die H-Sätze (englisch hazard statements) beschreiben Gefährdungen und die P-Sätze (englisch precautionary statements) geben Sicherheitshinweise. Die kostenpflichtige, aber in vielen Chemie-Fachschaften vorhandene D-GISS-Datenbank ([3]) enthält neben den Informationen der DGUV Regel 113-019 auch die H- und P-Sätze. Zudem ist diese Datenbank durch ständige Updates immer auf dem aktuellen Stand. Die kostenfreie GESTIS-Stoffdatenbank ([2]), die ausschließlich die aktuellen H- und P-Sätze verwendet, wird ebenfalls ständig aktualisiert. Diese Datenbank enthält alle für den Arbeitsschutz notwendigen Informationen zu Gefahrstoffen und teilweise auch Hinweise zur Verwendbarkeit der Gefahrstoffe für Schülerexperimente; entsprechende Hinweise sind ggf. unter "Vorschriften → Verwendungsbeschränkungen" zu finden.

a) Grundsätzliche Maßnahmen bei Verwendung von Gefahrstoffen

Gefahrstoffverzeichnis ([1], S. 21):

Die Schulleiterin oder der Schulleiter hat ein Verzeichnis aller verwendeten Gefahrstoffe zu führen. In der Praxis wird dieses Verzeichnis meist vom Sammlungsleiter der Chemie geführt. Die Gefahrstoffvorräte sind auf ordnungsgemäße Kennzeichnung und einwandfreien Zustand regelmäßig, mindestens aber einmal im Jahr, zu überprüfen. Zur Kennzeichnung ist die Software D-GISS ([3]) hilfreich.

Gefährdungsbeurteilung ([1], S. 20):

Die von den Gefahrstoffen ausgehenden Gefährdungen müssen für den gesamten Versuch, auch in ihren Veränderungen, beurteilt werden (z. B. Abrieb einer Zinkplatte). Es bietet sich an, die H- und P-Sätze zur genauen Kennzeichnung in der Gefährdungsbeurteilung zu verwenden. Die Gefährdungsbeurteilung darf nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden. Dazu zählen Lehrkräfte, die aufgrund ihrer Aus- oder Weiterbildung ausreichende Kenntnisse über Gefahrstoffe haben. Physiklehrkräfte können sich in den oben aufgeführten Quellen fachkundig machen oder sich bei den Kolleginnen und Kollegen der Fachschaft Chemie ausreichend informieren. Eine enge und effiziente Zusammenarbeit mit der Chemie-Fachschaft ist bei der Unterweisung der Schülerinnen und Schüler zum Umgang mit Gefahrstoffen wünschenswert und auch, um eine zentrale Beschaffung und fachgerechte Entsorgung von Gefahrstoffen realisieren zu können.

Betriebsanweisung und Unterweisung ([1], S. 38 f., S. 118 ff.):

Ergibt die Gefährdungsbeurteilung eine mehr als geringe Gefährdung, müssen Betriebsanweisungen erstellt werden. Mustervorlagen hierfür gibt es in [1], S. 118 ff.. Bei Verwendung von Gefahrstoffen ist für Schülerinnen und Schüler zu Beginn eines jeden Schulhalbjahres eine allgemeine Unterweisung durchzuführen.



Hinweise zum allgemeinen Verhalten im Umgang mit Gefahrstoffen ([1], S. 81):

- Bei Chemikalien sind Geschmacksproben verboten.
- Ein Auftragen auf die Haut ist verboten.
- Bei Geruchsproben Gase und Dämpfe zufächeln.
- Konzentrierte Säuren oder Laugen beim Verdünnen ins Wasser gießen und nicht umgekehrt.
- Einmal aus einem Vorratsgefäß entnommene Chemikalien dürfen grundsätzlich nicht wieder in das Gefäß zurückgegeben werden.

Entsorgung ([1], S. 36 f., S. 185 f.):

Beim Umgang mit Gefahrstoffen ist von vornherein auch an ihre Entsorgung zu denken. Hier sollte stets die Abfallvermeidung im Vordergrund stehen. Die Lehrkräfte sind gefordert, ökologisch vertretbare Lösungen zur Entsorgung anzubieten, um gegenüber den Schülerinnen und Schülern mit Aussagen zur Umwelterziehung glaubwürdig zu sein. Ratschläge zur stoffspezifischen Entsorgung findet man in der GESTIS-Datenbank ([2]), in D-GISS ([3]) und in der DGUV Regel 113-019 ([4], Spalte 13, S. 9 ff.) und auf der Homepage des Bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (Startseite → Lehrer → Unterricht und Schulleben → Sicherheit → Chemie „Damit nichts passiert: Sicherheit an Schulen“).

b) Fachraum und persönliche Schutzausrüstung (PSA)

Anforderungen an den Fachraum ([1], S. 32, S. 37):

In Unterrichtsräumen, in denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen erfolgen, darf nicht gegessen, getrunken oder geschminkt werden. Ein Waschbecken mit Wasseranschluss, ein Seifenspender sowie Einmalhandtücher müssen vorhanden sein. Eine Aufbewahrung von Gefahrstoffen in Lehr- und Übungssälen ist grundsätzlich verboten. Wenn eine Gefährdung der Augen durch Verspritzen reizender oder ätzender Stoffe besteht, muss eine geeignete Augenspülvorrichtung (Kaltwasseranschluss) zur schnellen Erstversorgung vorhanden sein. Vor Tätigkeiten mit Gefahrstoffen müssen Erste-Hilfe-Maßnahmen ([1], S. 126 ff.) festgelegt und erforderliche Erste-Hilfe-Einrichtungen bereitgestellt werden ([5]).

Handschutz (PSA) ([1], S. 33):

Sind durch chemische, mechanische oder thermische Einwirkungen besondere Gefahren für die Hände gegeben (z. B. beim Umfüllen konzentrierter Säuren), müssen geeignete Schutzhandschuhe getragen werden. Gepuderte Latexhandschuhe sind nicht zulässig, da sie Allergien auslösen können ([1], S. 58).

chemische Einwirkungen (z. B. Spritzgefahr)	In der Regel werden als Spritzschutz Nitrilgummi-Einmalhandschuhe (0,1 mm) verwendet (Einweghandschuhe aus Vinyl sind keine Schutzhandschuhe); weitere Hinweise zu geeigneten Handschuhmaterialien finden sich in Sicherheitsdatenblättern der Chemikalienhersteller, in der GESTIS-Stoffdatenbank ([2]), in der DGUV Information 212-007 sowie in den Informationsmaterialien der Handschuhhersteller.
mechanische Einwirkungen (z. B. Umgang mit Glasgeräten)	Handschuhe aus Leder oder speziellen Chemiefasern; ggf. gleiche Schutzwirkung durch die Verwendung von Textilhandtüchern
thermische Einwirkungen	Handschuhe aus speziellen Chemiefasern; asbesthaltige Schutzhandschuhe sind verboten

Augenschutz (PSA) ([1], S. 33):

Ein geeigneter Augenschutz ist insbesondere bei Tätigkeiten mit reizenden oder ätzenden Gefahrstoffen sowie bei Arbeiten unter Vakuum oder Druck zu tragen. Gleiches gilt, wenn durch wegfliegende Teile eine Augengefährdung gegeben ist. Optische Korrekturbrillen erfüllen nicht die Anforderungen, die an eine persönliche Schutzausrüstung gestellt werden. Es fehlt zum Beispiel der Seitenschutz.

c) Informationen zu ausgewählten Beispielen mit Relevanz für den Physikunterricht

Im Folgenden werden zu Gefahrstoffen, die üblicherweise in der Physik verwendet werden, wesentliche Kriterien für eine Gefährdungsbeurteilung unter Verwendung der D-GISS- und der GESTIS-Datenbank zusammengestellt. Die Nummern der aufgeführten H- und P-Sätze werden in der danach folgenden Tabelle erläutert.

Stoff und Beispiexperiment	Besonderheit	H-Sätze	P-Sätze	Schülerexperimente	Empfehlung
Blei als Pulver oder gekörnt, z. B. Whittingsche Röhre	Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen; Tätigkeitsbeschränkung für Lehrkräfte	H360Df H332 H302 H373 H410	P201 P273 P308+ P313	Tätigkeitsverbot für Schülerinnen und Schüler	Bleienthaltende Werkstücke wie Bleiplatten oder Bleiklötze können verwendet werden ([1], S. 28).
Eisenpulver, z. B. Magnetfeldlinien		H228	P370+ P378	möglich ab Jgst. 5	Entzündlichkeit beachten; Sand zum Löschen verwenden; Schutzhandschuhe tragen
Essigessenz/ Essigsäure, z. B. Raketenversuch	Massenanteil $\geq 25\%$: hautätzend	H226 H314	P280 P301+ P330+ P331 P305+ P351+ P338	möglich ab Jgst. 5	möglichst substituieren
	10 % \leq Massenanteil < 25 %: reizend für Haut und Auge	H226 H315 H319	P280 P301+ P330+ P331 P305+ P351+ P338	möglich ab Jgst. 5	möglichst weiter verdünnen
	sonst: kein Gefahrstoff			möglich ab Jgst. 5	
Fluorescein, z. B. Brechungsversuch		H319	P305+ P351+ P338	ohne Einschränkung	besondere Entsorgung
Glycerin, z. B. Gleitmittel für Glas	keine	-	-	ohne Einschränkung	-
Kaliumpermanganat, z. B. Konvektionsrohr	brandfördernd, ätzend, gesundheitsschädlich	H272 H302 H314 H410	P210 P273	möglich ab Jgst. 5	Kaliumpermanganat sollte als Farbstoff substituiert werden; Sonderabfall
Kupfersulfat, z. B. chemische Wirkung des elektrischen Stroms		H302 H315 H319 H410	P273 P505+ P351+ P338 P302+ P352	möglich ab Jgst. 5	Aufbewahrung in der Chemie; besondere Entsorgung
Leichtbenzin, z. B. Ölfleckversuch	leicht entzündbar; beim Ölfleckversuch wird nur eine geringe Menge verwendet	H225 H304 H315 H336 H411	P201 P210 P280 P301+ P310 P403+ P233	möglich ab Jgst. 5	Aufbewahrung in der Chemie; H- und P-Sätze besonders bei der Herstellung der Ölsäure-Benzin-Mischung beachten



Stoff und Beispielexperiment	Besonderheit	H-Sätze	P-Sätze	Schülerexperimente	Empfehlung
Methanol, z. B. Nebelkammer	leicht entzündbar, giftig	H225 H301 H311 H331 H370	P210 P233 P280 P302+ P352 P309+ P310	möglich ab Jgst. 5	Methanol sollte durch Ethanol substituiert werden; Lagerung in der Chemie
Naphthalin, z. B. Schmelzwärme	mögliche krebserzeugende Wirkung: K3 (darf in der Schule verwendet werden; [1], S. 25)	H302 H351 H410	P273 P281 P308+ P313	möglich ab Jgst. 5	möglichst substituieren; besondere Entsorgung
Ölsäure, z. B. Ölfleckversuch	keine	-	-	ohne Einschränkung	besondere Entsorgung
Schwefelsäure, z. B. Batterie	Massenanteil $\geq 15\%$: ätzend	H290 H314	P280 P301+ P330+ P331 P305+ P351+ P338 P309+ P310	möglich ab Jgst. 5	möglichst substituieren; besondere Entsorgung; Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen
Spiritus (Ethanol vergällt), z. B. thermische Eigenschaften	leicht entzündbar	H225	P210	möglich ab Jgst. 5	keine offenen Flammen verwenden, Hinweise in den Sicherheitsrichtlinien ([1], S. 83 f.) beachten
Zink (Pulver), z. B. Hallwachseffekt	geringe Menge bei Abrieb einer Zinkplatte	H250 H260 H410	P222 P223 P231+ P232 P273 P370+ P378 P422	möglich ab Jgst. 5	nicht im Unterrichtsraum abreiben; Selbstentzündlichkeit beachten; zum Löschen Trockensand, Trockenlöschpulver oder alkoholbeständigen Schaum verwenden
Zinn, z. B. Löten	darf kein Blei und auch kein Cadmium enthalten (EU-Richtlinie)	-	-	ohne Einschränkung	-

H-Sätze:

H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar
H226	Flüssigkeit und Dampf entzündbar
H228	Entzündbarer Feststoff
H250	Entzündet sich in Berührung mit Luft von selbst.
H260	In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.
H272	Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel
H290	Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
H301	Giftig bei Verschlucken
H302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
H304	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
H311	Giftig bei Hautkontakt
H314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und Augenschäden
H315	Verursacht Hautreizungen
H319	Verursacht schwere Augenreizung
H331	Giftig beim Einatmen
H332	Gesundheitsschädlich beim Einatmen
H336	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
H351	Kann vermutlich Krebs verursachen (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H360 Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H370	Schädigt die Organe.
H373	Kann die Organe schädigen.
H410	Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung
H411	Giftig für Wasserorganismen; mit langfristiger Wirkung



P-Sätze:

P201	Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.
P210	Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.
P222	Kontakt mit Luft nicht zulassen.
P223	Kontakt mit Wasser wegen heftiger Reaktion und möglichem Aufflammen unbedingt verhindern.
P231+ P232	Unter inertem Gas handhaben. Vor Feuchtigkeit schützen.
P233	Behälter dicht verschlossen halten.
P261	Einatmen von Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden.
P273	Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
P280	Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
P281	Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.
P301+ P310	BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
P301+ P330+ P331	BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.
P302+ P352	BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.
P305+ P351+ P338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
P308+ P313	Bei Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P309+ P310	Bei Exposition oder Unwohlsein: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
P370+ P378	Bei Brand: zum Löschen ... verwenden.
P403+ P233	An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen halten.
P422	Inhalt in/unter ... aufbewahren. (Bei Zinkpulver: Inhalt unter inertem Gas aufbewahren.)

Hinweise zu weiteren Gefahrstoffen:

Bärlappsporen	Zu diesem Stoff findet man in den Datenbanken keine Hinweise. Aber diese Sporen sind wie alle Feinstäube chronisch schädigend. Zudem sind Bärlappsporen fein zerstäubt explosiv (Staubexplosion). Deshalb z. B. beim Ölfleckversuch offene Feuer vorher löschen.
Salze, z. B. Flammenfärbung	Die Frage, mit welchen Salzen Flammenfärbungen auch ohne Abzug durchgeführt werden können, kann der Fachbetreuer Chemie beantworten.
Ottokraftstoff	Obwohl Ottokraftstoffe zu den krebserzeugenden und erbgutverändernden Stoffen der Kategorien 1 und 2 zählen, sind Tätigkeiten mit ihnen erlaubt, wenn kein Ersatzstoff möglich ist (z. B. für den Betrieb von Verbrennungsmotoren). Ein Hautkontakt ist unbedingt zu vermeiden ([1], S. 27).
Quecksilber	Thermometer, Manometer und andere Arbeitsmittel mit Quecksilber dürfen von den Schülerinnen und Schülern nicht verwendet werden. Demonstrationsversuche mit Quecksilber außerhalb geschlossener Apparaturen sollten unbedingt vermieden werden. Ereignet sich dennoch ein Unfall mit Quecksilber, dann sollten sofort die Fenster geöffnet und der Raum langsam (um Aufwirbelungen zu vermeiden) verlassen werden. Nach 15 bis 30 Minuten muss, bei weiter geöffneten Fenstern, das Quecksilber mit einem geeigneten Absorptionsmittel (Mercurisorb oder ähnliches Hilfsmittel) aufgenommen und einer korrekten Entsorgung zugeführt werden (Informationen hierzu auch unter [1], S. 37, S. 81, S. 185 f.). Verschwinden Quecksilberkügelchen in Löchern und Ritzen sind über den Sachaufwandsträger weitere Maßnahmen zu veranlassen.
Lebensmittel	Lebensmittel für Versuchszwecke müssen als solche gekennzeichnet sein, z. B. durch einen Aufkleber ([1], S. 34): „Lebensmittel nur für Experimente – nicht zum Verzehr geeignet“.

Für weitere, nicht aufgeführte Gefahrstoffe können Informationen aus den Quellen [2], [3] und [4] entnommen werden.

Quellen:

[1] Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013

[2] GESTIS-Stoffdatenbank, verwaltet vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$vid=gestisdeu:sdbdeu\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates$fn=default.htm$vid=gestisdeu:sdbdeu$3.0) (Stand 18.09.2015)

[3] Bezler/Hildebrandt, D-GISS Version 2014/2015, Universum Verlag

[4] DGUV Regel 113-019: Stoffliste zur Regel "Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen" (BG/GUV-SR 2004), Berlin 2010: <http://www.dguv.de/fb-rci/sachgebiete/gefahstoffe/publikationen/index.jsp> (Stand 18.09.2015)

[5] <http://www.sichere-schule.de/physik> (Stand 18.09.2015)

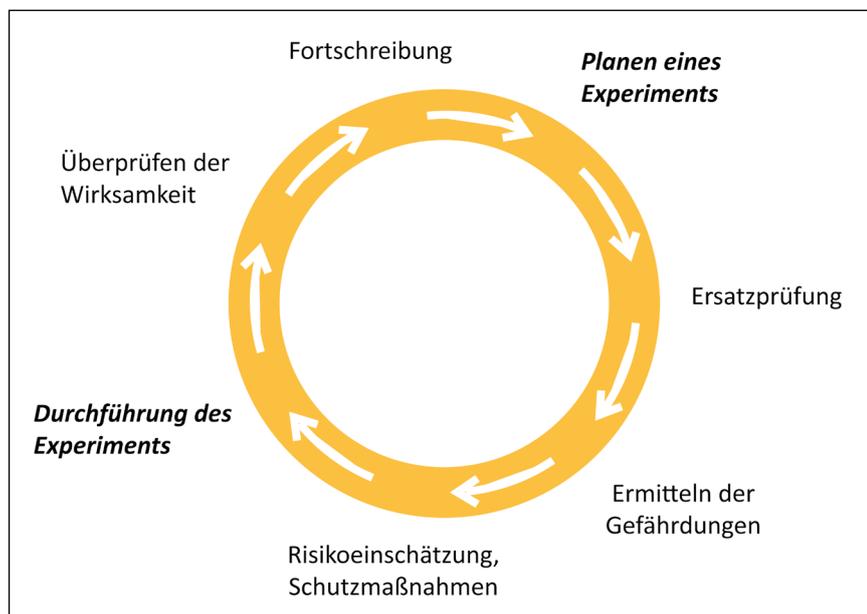


6 Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis

6.1 Grundsätzliches zu Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis

Was die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen betrifft, kann grundsätzlich das Folgende gesagt werden:

- 1) Eine Gefährdungsbeurteilung ist stets schriftlich zu erstellen. Es kann sich um Unterlagen in Papierform (z. B. Aufzeichnungen in den Unterrichtsunterlagen einer Lehrkraft) oder auch um elektronisch gespeicherte Dateien handeln.
- 2) Die nachfolgende Abbildung zeigt die einzelnen Schritte einer Gefährdungsbeurteilung für physikalische Experimente, beginnend mit der sogenannten Ersatzprüfung und dem Ermitteln der Gefährdungsarten (siehe Kapitel 5 „Kleine Fachkunde zu den Gefährdungsarten“). Im folgenden Kapitel 6.2 wird eine mögliche Form der schriftlichen Dokumentation dieser Prozessschritte genauer erläutert.



- 3) Änderungen bzw. Ergänzungen in einer Gefährdungsbeurteilung sind nur erforderlich, falls Unterrichtserfahrungen daran zweifeln lassen, ob notierte Schutzmaßnahmen ausreichend wirksam sind. Dieser Schritt (Fortschreibung) schließt den Kreis in obiger Abbildung.
- 4) Wenn bei einem Experiment ein nur geringes Risiko (siehe Kapitel 3) vorliegt, so besteht prinzipiell keine Pflicht, eine Gefährdungsbeurteilung für dieses Experiment zu erstellen. Dies ist beispielsweise der Regelfall bei Schülerexperimenten, die mithilfe von Übungskästen der Lehrmittelfirmen durchgeführt werden, und gilt ebenfalls bei sehr vielen Demonstrationsexperimenten des Physikunterrichts. Grundsätzlich ist die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung hilfreich, um sich bei einem Experiment über das anfangs vorhandene Risiko (siehe Abb. S. 9) bewusst zu werden.
- 5) Liegt bei einem Experiment ein mehr als geringes Risiko vor, so ist die Lehrkraft verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen und geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Die Risikoeinschätzung führt die Lehrkraft unter Berücksichtigung objektiver fachlicher Kriterien sowie des Alters, Reifegrads und Kenntnisstands der Schülerinnen und Schüler ([1], S. 14, 16) durch.
- 6) Gefährdungsbeurteilungen sind – sofern diese erforderlich sind (siehe Punkte 3) und 4)) – sowohl für Schülerexperimente, Lehrereperimente mit Schülerbeteiligung und Lehrereperimente (siehe Kapitel 4.1) durchzuführen. Dies wird im Kapitel 6.3 „Die Bedeutung von Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis“ begründet.
- 7) Ein Abzeichnen einer Gefährdungsbeurteilung mit Datum und Unterschrift der Lehrkraft ist nicht erforderlich. Die Lehrkraft kann sich jederzeit (falls sie es für erforderlich hält) anhand der Gefährdungsbeurteilung vergewissern, ob sie notwendige Schutzmaßnahmen bei der Durchführung des Experiments berücksichtigt (Handlungssicherheit).

6.2 Erstellen von Gefährdungsbeurteilungen (Formular)

Viele Lehrkräfte dokumentieren ihre Experimente, die sie in der jeweiligen Jahrgangsstufe einsetzen. Sie fotografieren den gewählten Aufbau auf dem Experimentiertisch, machen sich Notizen zu den eingesetzten Geräten sowie zur Durchführung und den Versuchsergebnissen. Diese Aufzeichnungen geben ihnen die Sicherheit, dass sie einen Versuch (mit Geräten ihrer Sammlung) beim nächsten Mal wieder schnell und „richtig“ aufbauen werden; „richtig“, d. h. auch unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten. Eine solche Dokumentation eines Experiments ist bereits eine sehr gute Grundlage für die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung. So sind beispielsweise in einer fotografischen Aufnahme des Experiments bereits sinnvolle Schutzmaßnahmen dokumentiert, wie z. B. ein ausreichend stabiler Aufbau, eine Glasscheibe zum Schutz vor UV-Licht oder ein Laser-Warnschild. Notizen zu den konkreten Gefährdungen beim Experiment und zu den getroffenen Schutzmaßnahmen würden die Gefährdungsbeurteilung bereits vervollständigen. Falls sich Maßnahmen nicht bewährt haben, so werden Notizen zur Wirksamkeit ergänzt und die Gefährdungsbeurteilung optimiert bzw. fortgeschrieben (siehe Abb. S. 53).

Es sind verschiedene individuelle Lösungen denkbar, wenn es um die Dokumentation von Gefährdungsbeurteilungen geht. In dieser Handreichung wird zum Erstellen von Gefährdungsbeurteilungen stets das gleiche Formular eingesetzt, das die auf der Seite 53 abgebildeten Prozessschritte einer Gefährdungsbeurteilung unmittelbar als Absätze aufweist¹³. Im Folgenden werden bestimmte Schritte, sofern sie nicht selbsterklärend sind, näher erläutert und somit Hinweise für den Einsatz dieses Formulars in der Praxis gegeben.

Lehrerexperiment, Lehrerexperiment mit Schülerbeteiligung oder Schülerexperiment

Zu Beginn der Gefährdungsbeurteilung wird gekennzeichnet, welche Art von Experiment im Hinblick auf den Grad der Schülerbeteiligung vorliegt (siehe Kapitel 4.1). Diese Entscheidung hat einen bedeutsamen Einfluss auf die Risikobeurteilung und in der Folge auf den Umfang der Schutzmaßnahmen, die zur Minimierung der Risiken ergriffen werden. Sobald Schülerinnen und Schüler ein Experiment in Teilen oder vollständig durchführen, sind Tätigkeitsbeschränkungen (siehe Kapitel 4.3) zu beachten. Bei der Planung von Schülerexperimenten ist das Alter, der Reifegrad und Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler zu berücksichtigen. Vor der Durchführung kommt den versuchsspezifischen, sicherheitsbezogenen Unterweisungen der Schülerinnen und Schülern (siehe Kapitel 4.2 und 5) eine besondere Bedeutung zu. Wird mit einer Klasse das erste Mal in einem Schuljahr ein Schülerexperiment durchgeführt, so kann dies als Anlass genommen werden, mit den Jugendlichen allgemeine Verhaltensregeln beim Experimentieren zu besprechen (siehe Kapitel 4.2 und Anhang II). Auch bei Lehrerexperimenten ist, insofern besondere Gefährdungen auftreten, die Thematisierung von Sicherheitsaspekten mit den Schülerinnen und Schülern einzuplanen.

Ersatzprüfung

Mit einem zunächst geplanten Experiment sind ggf. bestimmte Gefährdungen verbunden. Die Lehrkraft ist aufgefordert zu prüfen, inwieweit durch den Ersatz von Geräten durch alternative Geräte oder anderweitige entscheidende Abwandlungen des Versuches Risiken verringert werden können. Oftmals stehen gute Gründe dagegen, solche grundlegenden Änderungen durchzuführen. Unter dem Punkt „Ersatzprüfung“ des Formulars wird von der Lehrkraft begründet, weshalb die Ersatzprüfung negativ ausfällt. Mögliche Gesichtspunkte sind:

- Mit dem geplanten Experiment lässt sich ein bestimmtes Lernziel am besten erreichen.
- Die Verwendung (ggf. Anschaffung) alternativer Geräte kann anhand der Risiken, die beim geplanten Experiment auftreten, nicht gerechtfertigt werden (Verhältnismäßigkeit).

Die Argumentation für den negativen Ausgang der Ersatzprüfung wird entsprechend versuchsspezifisch ausgeführt.

¹³ Im Anhang I finden Sie dieses Formular als Druckvorlage. Das Formular steht (zusammen mit dieser Handreichung) auf der Homepage des ISB zum Fach Physik am Gymnasium auch zum Download zur Verfügung.



Beispiele für einen positiven Ausgang einer Ersatzprüfung:

- Bei Verwendung von Transformatoren können berührungsgefährliche Spannungen oftmals vermieden werden, wenn die Trafo-Gesetze berücksichtigt werden (siehe S. 72 und 73).
- Die Aufladung von Haaren und deren Ausrichtung im elektrischen Feld eines Bandgenerators muss nicht an einer Person demonstriert werden. Der Vorgang ist für die Schülerinnen und Schüler auch bei Verwendung einer Puppe sehr einprägsam.
- Bei Demonstration des Prinzips der Warmwasserheizung mit einem Konvektionsrohr kann das hin und wieder zur Einfärbung des Wassers verwendete Kaliumpermanganat durch Lebensmittelfarbe oder Tinte ersetzt werden (siehe S. 82).



Gefährdungsarten und konkrete Gefährdungen

Die Lehrkraft kennzeichnet im Formular die beim geplanten Experiment auftretenden Gefährdungen, entsprechend der im Kapitel 5 getroffenen Einteilung nach unterschiedlichen Gefährdungsarten:

- Gefährdung durch mechanische Einwirkung
- Elektrische Gefährdung
- Thermische Gefährdung
- Gefährdung durch elektromagnetische Strahlung im nahen IR-, optischen und nahen UV-Bereich
- Gefährdung durch ionisierende Strahlung
- Gefährdung durch Lärm
- Gefährdung durch Tätigkeiten mit Maschinen und Geräten
- Gefahrstoffe

Um welche Gefährdungen es sich im Hinblick auf die verwendeten Geräte oder Materialien, den Aufbau oder die Durchführung konkret handelt, wird im Anschluss im Formular notiert.

Schutzmaßnahmen

Die Risikoeinschätzung (siehe Kapitel 3) wird im Formular nicht explizit ausgeführt, allerdings wird sie aufgrund der getroffenen Schutzmaßnahmen implizit sichtbar. Um Risiken beim Experimentieren zu minimieren, kann eine Lehrkraft prinzipiell an folgende Arten von Schutzmaßnahmen denken, unter denen sie im Hinblick auf das jeweilige Experiment eine sinnvolle Auswahl treffen wird:

- **Bauliche und technische Schutzmaßnahmen (insbesondere Maßnahmen, die den Versuchsaufbau betreffen)**
abhängig vom jeweiligen Experiment z. B.: Not-Aus-Einrichtung im Raum bei Verwendung einer berührungsgefährlichen Spannung vorhanden, Sicherheitsexperimentierkabel verwenden, Warnschild aufstellen, mechanische Stabilität des Versuchsaufbaus sicherstellen, splittersichere Abdeckung verwenden, Schutzwiderstand einbauen.
- **Organisatorische Schutzmaßnahmen (insbesondere Verhaltensmaßnahmen bei der Durchführung des Experiments)**
Unterweisungen der Schülerinnen und Schüler (siehe Kapitel 4.2 und Kapitel 5); vom jeweiligen Experiment abhängige Verhaltensmaßnahmen, z. B.: Sicherheitsabstand beachten, Versuch nur kurzzeitig durchführen, Raum lüften, Hineingreifen bei bewegten Teilen vermeiden, Ausschalten vor dem Umbauen der Apparatur.
- **Persönliche Schutzausrüstung**
abhängig vom jeweiligen Experiment z. B.: Schutzhandschuhe, Schutzbrille, Hörschutz (z. B. Gehörschutzstöpsel) verwenden.

Ergänzungen

Unter dem Punkt „Ergänzungen“ können Hinweise z. B. zu einer geringfügig abgewandelten experimentellen Vorgehensweise oder individuelle Notizen der Mitglieder einer Fachschaft eingetragen werden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung

Die schriftliche Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung erfolgt in der Regel einmal und wird nur im Bedarfsfall fortgeschrieben. Das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung, also ob das Experiment unter Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte durchgeführt werden kann oder nicht, wird am Ende des Formulars festgehalten. Es ist zu beachten, dass Lehrkräfte zu individuell unterschiedlichen Entscheidungen kommen können. Auch ist es vorstellbar, dass eine Lehrkraft sich zu einem späteren Zeitpunkt bei erneuter Durchführung des Experiments anders entscheidet. Hierfür können unterschiedliche Ausstattungen, bauliche Rahmenbedingungen, die Fachkenntnisse der jeweiligen Lehrkraft sowie pädagogische Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation, Verhalten der Schülerinnen und Schüler) ausschlaggebend sein.

Wirksamkeit

Erfahrungen mit der Durchführung eines Experiments – nicht unbedingt einmal ein Unfallgeschehen – können dazu führen, dass eine Lehrkraft die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen in Frage stellt. Im Formular können unter dem Punkt „Wirksamkeit“ entsprechende Notizen erfolgen und die Gefährdungsbeurteilung hier oder unmittelbar in den beiden Spalten „konkrete Gefährdungen“ und „Schutzmaßnahmen“ des Formulars fortgeschrieben werden.

6.3 Die Bedeutung von Gefährdungsbeurteilungen in der Praxis

Die Erstellung von schriftlichen Gefährdungsbeurteilungen ist, wie an den Punkten 3) 4) und 7) des vorangegangenen Kapitels 6.1 deutlich wird, keinesfalls eine Aufgabe, die sich täglich für Physiklehrerinnen und -lehrer stellt. Dies ist aus zeitökonomischen Gründen sehr gut so. Beispielsweise ist es denkbar, dass die Kolleginnen und Kollegen einer Fachschaft gemeinsam eine auf die vorhandene Geräteausstattung und ihre Wünsche abgestimmte Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen erstellen. Eine Fortschreibung ist nur im Bedarfsfall notwendig, anlassbezogene Ergänzungen und Erweiterungen können von den Lehrkräften individuell erfolgen. Schlussendlich ist die jeweilige Lehrkraft für die Durchführung ihres Unterrichts verantwortlich ([1], S. 14). Die Beispiele in dieser Handreichung (siehe Kapitel 7 „Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen“) vermitteln für viele experimentelle Situationen geeignete Schutzmaßnahmen und können einer Schule als Ausgangsmaterial dienen, das ggf. angepasst und ergänzt werden kann¹⁴. Das im Anhang I hinterlegte Formular zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen ist universell einsetzbar.

Physikunterricht lebt davon, dass die Lehrerinnen und Lehrer durch Experimente Phänomene präsentieren und die Schülerinnen und Schüler selbst vielfältige experimentelle Erfahrungen sammeln. Zum Teil sind es gerade die „gefährlichen“ Experimente, die faszinieren und den Schülerinnen und Schülern noch lange nach der Schulzeit in Erinnerung bleiben. Den Gefährdungsbeurteilungen kommen hierbei folgende Bedeutungen zu:

- Gefährdungsbeurteilungen helfen bei Entscheidungsfindungen, geben Handlungssicherheit und öffnen den Lehrkräften Handlungsspielräume beim Experimentieren.
- Gefährdungsbeurteilungen dienen der Unfallprävention (siehe Kapitel 1). Die Lehrkraft reflektiert bewusst, inwieweit bei Demonstrationsexperimenten der Schutz der eigenen Person und der Schutz der Schülerinnen und Schüler ausreichend sichergestellt ist. Bei Lehrerexperimenten mit Schülerbeteiligung und Schülerexperimenten kommt neben dem Versuchsaufbau den Unterweisungen (siehe Kapitel 4.2) der Schülerinnen und Schüler (organisatorische Schutzmaßnahme) eine besondere Bedeutung zu.
- Gefährdungsbeurteilungen dienen der Sicherheitserziehung (siehe Kapitel 1). Die Lehrkraft wird ihrer Vorbildfunktion, insbesondere bei der Durchführung von Demonstrationsexperimenten, gerecht und

¹⁴ Auf der ISB-Homepage zum Fach Physik am Gymnasium stehen (zusammen mit dieser Handreichung) die im Kapitel 7 abgedruckten Gefährdungsbeurteilungen in editierbarer Form zum Download bereit. Eine Übersicht zu den insgesamt beurteilten Experimenten befindet sich auf den Seiten 58 und 59.



wirkt darauf ein, dass sich die Schülerinnen und Schüler im häuslichen Umfeld und in der Freizeit sowie im späteren Berufsleben sicherheitsbewusst und umweltgerecht verhalten.

- Diese Hoffnung ist vor allem dann gerechtfertigt, wenn im Unterricht mit den Schülerinnen und Schülern Sicherheitsaspekte thematisiert werden. Gefährdungsbeurteilungen stellen in diesem Fall eine unmittelbare inhaltliche Vorbereitung des Unterrichts dar. Das Thema „Sicherheit“ wird als motivierender Kontext genutzt, um physikalische Fachinhalte und Denkweisen lehrplanbezogen zu vermitteln.

Quellen:

[1] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013

7 Sammlung von Gefährdungsbeurteilungen

7.1 Übersicht

Die Beispiele für Gefährdungsbeurteilungen im Kapitel 7.2 beziehen sich auf den gymnasialen Unterricht in den Fächern Natur und Technik/Schwerpunkt Physik (Jgst. 7) und Physik (Jgst. 8 bis 12). Die gewählte Reihenfolge der beurteilten Experimente, die in der folgenden Tabelle vorab übersichtlich dargestellt ist, entspricht der im LehrplanPLUS vorgegebenen Abfolge von Lernbereichen bzw. physikalischen Themen in den verschiedenen Jahrgangsstufen.

Im LehrplanPLUS sind bestimmte Schülerexperimente explizit ausgewiesen. Ein solches Schülerexperiment (SE) wird in der zweiten Spalte der folgenden Tabelle mit dem Hinweis „Lehrplan“ besonders gekennzeichnet. Die verschiedenen Arten von Experimenten (siehe Kapitel 4.1) werden in der Tabelle wie folgt abgekürzt:

- LE Lehrereperiment
- SE Schülerexperiment
- LE mit SB Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung

Die im Kapitel 5 im Einzelnen erläuterten Gefährdungsarten werden in der nachfolgenden Tabelle wieder aufgegriffen, wobei in dieser aus Platzgründen zum Teil kürzere Titel für die Gefährdungsarten notiert sind.

Gefährdungsarten	Art des Experiments	mechanische	elektrische	thermische	optische Strahlung	ionisierende Strahlung	Lärm	Gerätebedienung	Gefahrstoffe
Jgst. 7 NT									
Schmelzsicherung	SE	X	X	X					
Kennlinien für einen ohmschen und einen nichtohmschen Widerstand	SE Lehrplan		X	X					
Bestimmung der Dichte von Luft	LE	X							
Reflexion von Laserlicht an einer Spiegelfliese	SE	X			X				
Abbildung durch eine Sammellinse	SE Lehrplan			X					
Jgst. 8									
Dehnungs-Kraft-Diagramme und Hooke'scher Bereich	SE Lehrplan	X							
Hebelgesetz und Alltagsgegenstände (Profilbereich)	SE	X						X	
Heben einer Person mithilfe eines Flaschenzugs (Profilbereich)	LE mit SB	X							
Leistung beim Treppenlauf	SE	X							
Bolzensprenger-Versuch	LE	X		X					
Jgst. 9									
Bau eines Elektromotors unter Einsatz eines Lötkolbens	SE Lehrplan		X	X				X	X
Spannungs- und Stromstärkeübersetzung beim Transformator	LE	X	X	X					
Spannungs- und Stromstärkeübersetzung beim Transformator	SE	X	X	X					
Hörnerblitztransformator	LE	X	X	X		X			X
Hochspannungsleitung (Profilbereich)	LE	X	X						



Gefährdungsarten	Art des Experiments	mechanische	elektrische	thermische	optische Strahlung	ionisierende Strahlung	Lärm	Gerätebedienung	Gefahrstoffe
Jgst. 9									
Personen auf Skateboards und das Wechselwirkungsgesetz	LE mit SB	X							
Entladen eines Elektroskops durch α -Strahlung	LE, LE mit SB					X			
Untersuchung der Temperaturerhöhung einer Flüssigkeit	SE Lehrplan	X		X					
Spezifische Wärmekapazität von Aluminium	SE Lehrplan	X		X					
Konvektionsrohr	LE	X		X					X
Jgst. 10									
Untersuchung der Zentripetalkraft	LE mit SB	X							
Untersuchung der Schwingungsdauer eines Fadenpendels	SE Lehrplan	X							
Beugung und Interferenz von Laserlicht am Doppelspalt und Gitter (auch Jgst. 11)	LE				X				
Beugung und Interferenz von Laserlicht am Doppelspalt und Gitter (auch Jgst. 11)	SE Lehrplan				X				
Hallwachsperiment	LE	X	X	X	X				X
Kundt'sches Rohr (Profilbereich)	LE	X					X		
Jgst. 11									
Auf- und Entladung eines Elektrolytkondensators	LE		X						X
Ausschaltvorgang bei einem RC-Glied (Elektrolytkondensator)	SE Lehrplan		X						X
Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons (Fadenstrahlrohr)	LE mit SB	X	X						
Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule	LE		X						
Aufnahme eines Röntgenspektrums	LE, LE mit SB		X			X			
Jgst. 12									
Chladni-Klangfiguren	LE						X		
Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre	LE		X	X	X				X
Radioaktiver Zerfall in einer Ionisationskammer	LE		X			X			

7.2 Beispiele für Gefährdungsbeurteilungen

Versuch: Schmelzsicherung
Jgst. 7 (NT, Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Ein dünner Eisendraht und ein Glühbirnchen werden in Serie geschaltet. Bei Überbrückung des Lämpchens mit einem zusätzlichen Kabel brennt der Eisendraht durch.

Ersatzprüfung:

kein alternatives Experiment bekannt

Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
elektrische Spannung	U < 25 V, Sicherheitstrenntransformator
hohe Temperatur des Drahtes	Instruktion der Schülerinnen und Schüler: Abstand vom Draht halten, bei langen Haaren achtsam sein oder Haare mit Haargummi zusammenbinden
herumfliegende glühende Drahtteilchen	Schutzbrillen und geeignete Unterlagen verwenden

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Kennlinien für einen ohmschen und einen nichtohmschen Widerstand
--

Jgst. 7 (NT, Gym)

- Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Unter Einsatz eines Netzgeräts, eines Ampere- und eines Voltmeters pro Gruppe werden die Kennlinien eines ohmschen und eines nichtohmschen Leiters (Konstantan- bzw. Eisendraht) aufgenommen.

Ersatzprüfung:

Ziel des Schülerexperiments ist es, die grundlegenden Eigenschaften von verschiedenen Leitern zu untersuchen. Um Unterschiede und Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten, werden beide Leiter in Form eines Drahtes gewählt. Deshalb kann hier z. B. nicht auf einen Schichtwiderstand zurückgegriffen werden.

Gefährdungsarten:

- mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
elektrische Spannung	U < 25 V, Sicherheitstrenntransformator
hohe Temperatur der Bauteile	Ein Durchglühen der Drähte darf auch bei maximaler Spannung nicht möglich sein (z. B. durch geeignete Wahl des Drahtdurchmessers). Instruktion der Schülerinnen und Schüler: Abstand vom Draht halten, bei langen Haaren achtsam sein oder Haare mit Haargummi zusammenbinden

Ergänzungen:

Soll ein Wasserbad zur Kühlung des Drahtes zum Einsatz kommen, so sollte anstelle eines Becherglases (Glasbruchgefahr) z. B. besser ein Pappbecher verwendet werden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

- durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Bestimmung der Dichte von Luft
Jgst. 7 (NT, Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Die Masse eines Glaskolbens bekannten Volumens wird einmal mit und einmal ohne Luftinhalt gemessen.

Ersatzprüfung:

kein Ersatzexperiment bekannt

Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Implosionsgefahr	Sichtprüfung des Glaskolbens vor dem Evakuieren; die Lehrkraft trägt Schutzhandschuhe sowie eine Schutzbrille; es wird eine Schutzscheibe zwischen dem Glaskolben und den Schülerinnen und Schülern positioniert

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Reflexion von Laserlicht an einer Spiegelfliese	Jgst. 7 (NT, Gym)
---	--------------------------

- Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Ein Laserstrahl fällt auf eine senkrecht stehende Spiegelfliese. Durch Einsatz einer Papierunterlage, die der Laserstrahl streift, wird der Lichtweg sichtbar.

Ersatzprüfung:

Einfachheit des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung; keine externe Spannungsversorgung der Lichtquelle und keine Verdunklung des Raums (Sicherheitsaspekt) notwendig; sehr exakte Messergebnisse; das physikalische Modell des Lichtstrahls wird anhand eines Laserstrahls am besten veranschaulicht; sicherheitsbewusster Umgang mit dem Alltagsgegenstand Laserpointer als pädagogisches Ziel des Unterrichts (Sicherheitserziehung); anstelle von Laserpointern können LED-Lichtquellen (soweit in der Sammlung verfügbar) eingesetzt werden.

Gefährdungsarten:

- mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Gefahr von Schnittverletzungen; insbesondere im Falle des Bruchs der Spiegelfliese	scharfkantige Ränder der Fliese abkleben und diese in senkrechter Position fest montieren, z. B. Rückseite an Holzklötzchen mit Doppelklebeband fixieren
Eintritt der Laserstrahlung ins Auge (direkt oder nach Reflexion)	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau so gestalten, dass die Reflexion des Laserlichts in Richtung Wand (nicht zur Fensterseite) erfolgt; • zusätzliche Blende (z. B. Buch) zur Abhaltung des reflektierten Strahls, sodass der Zutritt einer Person in den Laserstrahl nicht möglich ist; • auf sinnvolle Strahlrichtungen unter den Schülergruppen und auf Türen achten (ggf. Blenden verwenden); • Laserpointer der Klasse 2 ($P < 1$ mW Kennzeichnung) verwenden (Vorsicht: Laserpointer der Kennzeichnung $P < 1$ mW können in Einzelfällen eine reelle Leistung bis 10 mW haben); • Aufstellen des Warnschilds Laser im Unterrichtsraum <p>Instruktion der Schülerinnen und Schüler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hinweis auf die von Laserstrahlung ausgehende Gesundheitsgefährdung bei unkontrolliertem Lichteinfall ins Auge; • sofort „bewusst wegschauen“, falls Laserlicht im Auge wahrgenommen wird; • sicherheitsbewusster Umgang mit Laserpointern auch im Alltag; • Durchführung des Experiments: <ul style="list-style-type: none"> – Aufbau stets beibehalten; – Laserpointer nur auf die Spiegelfliese richten; – Taster des Laserpointers nicht fixieren; – ggf. Laserpointer mit Klebeband auf dem Tisch fixieren; – Versuchsdurchführung im Stehen, sodass die Augen niemals auf der Höhe der Laserstrahlung sein können; – keine Verwendung von Geodreiecken während der Versuchsdurchführung – erst im Anschluss zur Auswertung.

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-


Versuch: Abbildung durch eine Sammellinse
Jgst. 7 (NT, Gym)

-
- Lehrereperiment
-
- Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
-
- Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Im Schülerversuch sollen halbquantitative Aussagen über Zusammenhänge zwischen den bei der Abbildung mit einer Sammellinse relevanten Größen herausgearbeitet werden. Dazu wird als Lichtquelle eine Kerzenflamme der Größe G verwendet. Für verschiedene Gegenstandsweiten g wird die Bildweite b so bestimmt, dass ein scharfes Bild mit Bildgröße B entsteht.


Ersatzprüfung:

Anstelle von Kerzen können (soweit die Verfügbarkeit in ausreichender Stückzahl sichergestellt ist) auch andere Lichtquellen eingesetzt werden, z. B. Taschenlampen mit beschriftetem bzw. bemaltem Pergamentpapier.

Gefährdungsarten:

-
- mechanisch
-
- elektrisch
-
- thermisch
-
- IR-, optische, UV-Strahlung
-
-
- Maschineneinsatz
-
- Lärm
-
- Gefahrstoffe
-
- ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Verbrennungsgefahr	besondere Vorsicht beim Umgang mit der brennenden Kerze, um Verbrennungen (auch durch verschüttetes flüssiges Wachs) zu vermeiden; vor dem Abbau der Versuchsanordnung das flüssige Wachs abkühlen lassen

Ergänzungen:

Vor der Versuchsdurchführung sind die Schülerinnen und Schüler über die Sicherheitsbestimmungen für den Umgang mit offenen Flammen (z. B. keine offenen Haare, Sicherheitsabstand, fester Stand der Kerze, Brandschutzmaßnahmen) und Sammellinsen zu informieren; bei Rauchmeldern im Physiksaal ggf. die Kerzenflamme durch Eintauchen des Dochts in das flüssige Wachs (z. B. mittels Holzstab) löschen, um Rauchentwicklung zu vermeiden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

-
- durchgeführt werden.
-
- nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Dehnungs-Kraft-Diagramme und Hooke'scher Bereich	Jgst. 8 (Gym)
--	----------------------

Lehrerexperiment
 Lehrerexperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Experimentelle Untersuchung des Zusammenhangs von Dehnung und wirkender Kraft bei einer elastischen Feder und einem Gummiring

Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:

mechanisch
 elektrisch
 thermisch
 IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz
 Lärm
 Gefahrstoffe
 ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Umfallen des Aufbaus	Versuchsordnung an Tischen fixieren (z. B. mit Tischklemmen)
Stoßen am Aufbau	Enden der Stativstangen und Haken nicht auf Augenhöhe
Gefährdung durch wegfliegende Teile	Instruktion der Schülerinnen und Schüler: Federn und Gummiringe nicht schnalzen lassen

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.
 nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Hebelgesetz und Alltagsgegenstände	Jgst. 8 (Profil, Gym)
--	------------------------------

Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Zum Einsatz kommen z. B. Zange, Nageleisen, Nussknacker, Flaschenöffner und Baumschere.

Ersatzprüfung:

Aufgrund des gewünschten unmittelbaren Alltagsbezugs ist kein Ersatzexperiment möglich.

Gefährdungsarten:

mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Quetschgefahr, Gefahr von Schnittverletzungen	Handschuhe tragen
Gefährdung durch wegfliegende Teile	Schutzbrille tragen
Verletzung eines Mitschülers	Demonstration des Umgangs mit den Geräten durch die Lehrkraft und Einweisung der Schülerinnen und Schüler; Sicherheitsabstand zu einer Schülerin oder einem Schüler, der gerade ein Gerät nutzt, einhalten.

Ergänzungen:

Da eine erhöhte Aufmerksamkeit der Lehrkraft erforderlich ist, bietet es sich an, diese Versuche mit einer geteilten Klasse bzw. nur einem Teil der Klasse durchzuführen.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Heben einer Person mithilfe eines Flaschenzugs	Jgst. 8 (Profil, Gym)
--	------------------------------

- Lehrerexperiment
 Lehrerexperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Eine Schülerin oder ein Schüler trägt einen Bergsteiger-Haltegurt (kein reiner Sitzgurt) und wird mit einem Flaschenzug, der an einem Fixpunkt befestigt ist, hochgezogen.

Ersatzprüfung:

Bei unmittelbarer Personenbeteiligung wird der Alltagsbezug am deutlichsten; affektive Lernziele können so am besten erreicht werden.

Gefährdungsarten:

- mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Absturzgefahr	Sichtprüfung der Seile und Karabinerhaken sowie Belastungsprüfung des Befestigungspunkts unmittelbar vor der Versuchsdurchführung; Schutzausrüstung (v. a. Kopfschutz) tragen; Alter (maximale Verwendungsdauer) und Zustand der Geräte beachten; maximale Hubhöhe 1 m
Quetschgefahr und Verbrennungsgefahr	Handschuhe tragen

Ergänzungen:

Flaschenzug an offiziell geprüften Befestigungen (z. B. in der Sporthalle) aufhängen.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

- durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Leistung beim Treppenlauf	Jgst. 8 (Gym)
---	----------------------

Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Die Schülerinnen und Schüler laufen nacheinander zwei Stockwerke nach oben und bestimmen aus der dafür benötigten Zeit, dem Höhenunterschied und ihrer Masse ihre erbrachte mechanische Leistung.

Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:

mechanisch
 elektrisch
 thermisch
 IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz
 Lärm
 Gefahrstoffe
 ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Ausrutschgefahr, Stolpergefahr	Schülerinnen und Schüler auf Unfallgefahren (Kurven, glatter Boden, unerwarteter „Gegenverkehr“ auf der Treppe) hinweisen
Zusammenstoß zweier Schüler	Schülerinnen und Schüler in zeitlichem Abstand einzeln laufen lassen; kein Hinuntergehen auf der Treppe zulassen, bevor nicht alle Schülerinnen und Schüler oben angekommen sind bzw. genaue Instruktion der Schülerinnen und Schüler zum Zurückgehen

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.
 nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

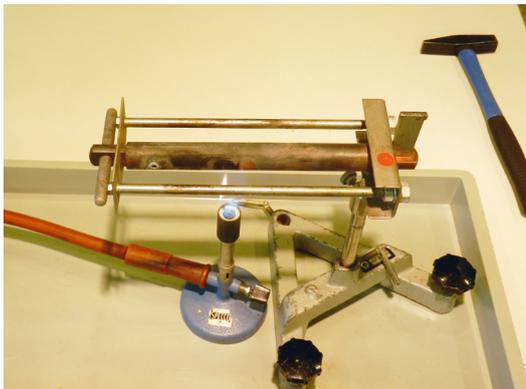
Versuch: Bolzensprenger-Versuch
Jgst. 8 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

-

Ersatzprüfung:

Es sollen die immensen Kräfte, die bei der thermischen Ausdehnung von Festkörpern auftreten, demonstriert werden. Dieser Versuch ist hierfür sehr gut geeignet; eine gleichwertige Veranschaulichung ist nicht bekannt.


Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Gefährdung durch herumfliegende Teile des Bolzens	splittersichere Abdeckung oder Schutzscheibe verwenden; den Versuch möglichst weit entfernt von Personen platzieren; die Lehrkraft trägt eine Schutzbrille
Gefährdung durch offene Flamme und erhitzte Bauteile	die Lehrkraft verwendet Schutzhandschuhe; bei langen Haaren und langen Kleidungsstücken achtsam sein
Umfallen des Aufbaus	mechanische Stabilität sicherstellen

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Bau eines Elektromotors unter Einsatz eines LötKolbens	Jgst. 9 (Gym)
--	----------------------

Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Selbstbau eines Elektromotors nach Bauanleitung, Verbesserung der Kontakte durch Löten

Ersatzprüfung:

Der Bau eines Elektromotors und der Umgang mit einem LötKolben stellen wesentliche Lernziele dar.

Gefährdungsarten:

mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
elektrische Spannung	U = 4,5 V (Flachbatterie oder Sicherheitstrenntransformator)
Verbrennungen durch LötKolben oder LötZinn, Brandgefahr	Demonstration des Lötvorgangs durch die Lehrkraft und Instruktion der Schülerinnen und Schüler (ggf. Löten nur unter unmittelbarer Aufsicht): geeignete Lötunterlage verwenden; Abstand halten; heiße Bauteile nicht berühren und nur mit einer geeigneten Zange anfassen; sorgfältiger Umgang mit dem heißen LötKolben
Einatmen von Dämpfen beim Löten	nur blei- und cadmiumfreies Lot verwenden und während des Lötens auf eine gute Durchlüftung des Raums (z. B. offenes Fenster) achten
Verletzungsgefahr beim Umgang mit Geräten, z. B. Seitenschneider, Zange	Werkzeuge nur bestimmungsgemäß verwenden; beim Kürzen von Bauteilen mit dem Seitenschneider das Herumfliegen von Bauteilen durch Abdecken mit der Hand (ggf. hierbei Schutzhandschuh tragen) verhindern

Ergänzungen:

In der Regel genügt es, dass nur wenige Lötstationen aufgebaut sind, sodass die Lehrkraft diese gut im Blick behalten kann. Bei manchen Bausätzen kann auf das Löten verzichtet werden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Spannungs- und Stromstärkeübersetzung beim Transformator	Jgst. 9 (Gym)
--	----------------------

Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Bestätigung des Gesetzes zur Spannungsübersetzung beim unbelasteten Transformator; Demonstration der Stromstärketransformation

Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:

mechanisch
 elektrisch
 thermisch
 IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz
 Lärm
 Gefahrstoffe
 ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Umfallen des Transformators	Transformator arretieren
ggf. berührungsgefährliche Sekundärspannung $U_{\sim} > 25 \text{ V}$	niedrige Primärspannung wählen und das Windungszahlverhältnis beachten (z. B. Primärspannung $U_{\sim} = 6 \text{ V}$ beim Windungszahlverhältnis $N_s/N_p = 4$)
hohe Stromstärke (Erwärmung) auf der Sekundärseite	niedrige Primärleistung
Spannungsüberhöhung beim Ausschaltvorgang	Ausschalten der Primärspannung vor einem Umbau

Ergänzungen:

Da bei Berücksichtigung der obigen Schutzmaßnahmen keine berührungsgefährliche Spannung anliegt, sind keine Sicherheitsexperimentierkabel und keine Sicherheitsbuchsen notwendig. Sicherheitshinweise für Schülerinnen und Schüler sind beim Umgang mit Transformatoren und Netzteilen grundsätzlich wichtig.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.
 nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-


Versuch: Spannungs- und Stromstärkeübersetzung beim Transformator
Jgst. 9 (Gym)

-
- Lehrereperiment
-
- Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
-
- Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Bestätigung des Gesetzes zur Spannungsübersetzung beim unbelasteten Transformator; Demonstration der Stromstärketransformation

Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:

-
- mechanisch
-
- elektrisch
-
- thermisch
-
- IR-, optische, UV-Strahlung
-
-
- Maschineneinsatz
-
- Lärm
-
- Gefahrstoffe
-
- ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Umfallen des Transformators	Transformator arretieren
ggf. berührungsgefährliche Sekundärspannung $U_{\sim} > 25 \text{ V}$	niedrige Primärspannung wählen und das Windungszahlverhältnis beachten (Primärspannung $U_{\sim} = 6 \text{ V}$ und das Windungszahlverhältnis $N_s/N_p = 4$ beim Herauftransformieren; auch beim Herabtransformieren keine zu hohe Primärspannung, da die Schülerinnen und Schüler die Spulen versehentlich vertauschen könnten und es tatsächlich zum Herauftransformieren der Spannung kommt; Festspannungsanschluss $U_{\sim} = 6 \text{ V}$ des Netzteils nutzen); Verwendung von Sicherheitstrenntransformatoren als Netzteile
hohe Stromstärke (Erwärmung) auf Sekundärseite	niedrige Primärleistung
Spannungsüberhöhung beim Ausschaltvorgang	Ausschalten der Primärspannung vor einem Umbau
	Versuchsbezogene Sicherheitshinweise und Anweisungen für die Schülerinnen und Schüler!

Ergänzungen:

Bei Verwendung von Übungskästen der Lehrmittelfirmen und der zugehörigen Versuchsbeschreibungen ist eine Einhaltung von Sicherheitsmaßnahmen berücksichtigt. Bei Schülerexperimenten in dieser Jahrgangsstufe dürfen keine berührungsgefährlichen Spannungen anliegen. Sicherheitshinweise für Schülerinnen und Schüler sind beim Umgang mit Transformatoren und Netzteilen grundsätzlich wichtig. Bei Verwendung einer zentralen Spannungsversorgung darf diese nicht unbeabsichtigt verstellbar sein.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

-
- durchgeführt werden.
-
- nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Hörnerblitztransformator
Jgst. 9 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Sicherheits-Anschlussdose, Spule 500 Wdg. (alternativ: Netzspule 500 Wdg.), Spule 23000 Wdg., U-Kern mit Joch und Spannvorrichtung, Hörner (ggf. zusätzlich Isolierständer), Sicherheitsexperimentierkabel (auf die zulässige maximale Spannung für diese Kabel achten), Warnschild Hochspannung


Ersatzprüfung:

kein gleichwertiges alternatives Experiment zur Erzeugung von Hochspannung bekannt

Gefährdungsarten:

<input checked="" type="checkbox"/> mechanisch	<input checked="" type="checkbox"/> elektrisch	<input checked="" type="checkbox"/> thermisch	<input type="checkbox"/> IR-, optische, UV-Strahlung
<input type="checkbox"/> Maschineneinsatz	<input type="checkbox"/> Lärm	<input checked="" type="checkbox"/> Gefahrstoffe	<input checked="" type="checkbox"/> ionisierende Strahlung



konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
berührunggefährliche Spannungen (230 V Netzspannung auf der Primärseite, ca. 10 kV auf der Sekundärseite)	<p>Technische Voraussetzungen (z. B. des Unterrichtsraums):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steckdose abgesichert mit Schlüsselschalter, Not-Aus-Einrichtung und Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorhanden • Sicherheitsexperimentierkabel (falls im Aufbau Kabel eingesetzt werden müssen, auf die zulässige maximale Spannung für diese Kabel achten) und berührungssichere Steckbuchsen verwenden <p>Organisatorische Schutzmaßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • die Not-Aus-Einrichtung auf fehlerfreie Funktion überprüfen; • die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auf fehlerfreie Funktion überprüfen; • das Vorhandensein einer aktuellen Prüfplakette an der Sicherheits-Anschlussdose (falls im Einsatz) kontrollieren; • Leitungen und Bauteile auf erkennbare Beschädigungen überprüfen; • auf die Standsicherheit von Transformator und Hörnern achten; • Schülerinnen und Schüler über versuchsspezifische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen unterrichten; • Warnschild Hochspannung aufstellen <p>Vorgehensweise und Verhaltensmaßnahmen bei der Durchführung des Experiments:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versuchsaufbau in möglichst großem Abstand zu den Schülerinnen und Schülern positionieren; • Stromversorgung (Schlüsselschalter) zunächst ausschalten und erst kurz vor Versuchsbeginn wieder einschalten; • Versuch mit einem Schalter starten, der sich möglichst weit vom Versuchsaufbau befindet; zum schnellen Abschalten dort mit der Hand bleiben (kein reflexartiges Eingreifen, falls der Aufbau doch umfallen sollte) und nach dem Versuch die Stromversorgung auch am Schlüsselschalter sofort wieder unterbrechen; • bei ungeeignetem Hörnerabstand Versuchsanordnung vom Netz trennen und erst dann den Abstand korrigieren; • Versuch nur kurzzeitig durchführen
Kippen der Versuchsanordnung	auf eine ausreichende Stabilität der Versuchsgeräte achten
Auftreten von Röntgenstrahlung beim Funkenüberschlag	kurzzeitige Durchführung des Versuches und ausreichenden Abstand halten
starke Erwärmung der Primärspule	kurzzeitige Durchführung des Versuches
Entstehung von Ozon	Lüften nach der Versuchsdurchführung

Ergänzungen:

Zur Unterstützung des Funkenüberschlags kann der Versuch mit einer brennenden Kerze (z. B. Teelicht) unter den Hörnern durchgeführt werden; die Position der Kerze nur verändern, wenn die Versuchsanordnung vom Netz getrennt ist!

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

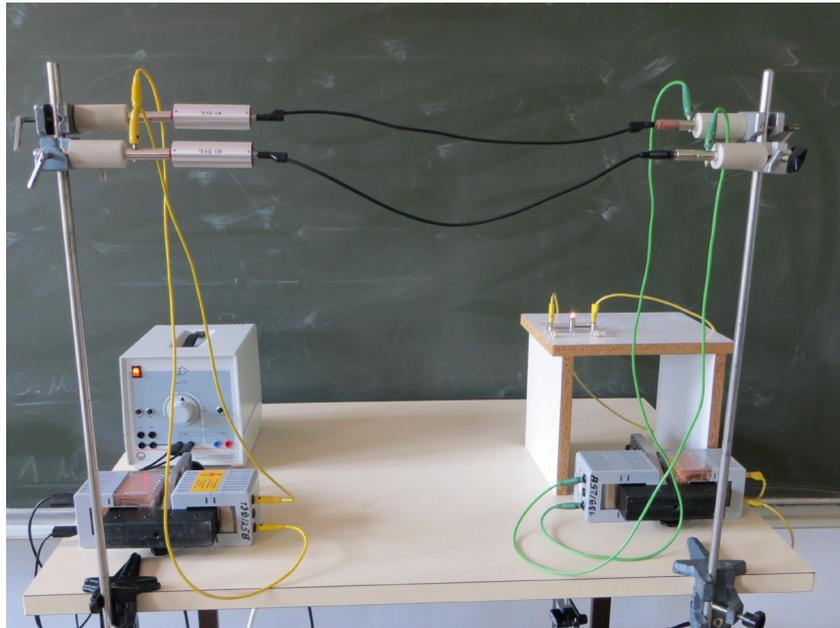
-

Versuch: Hochspannungsleitung
Jgst. 9 (Profil, Gym)

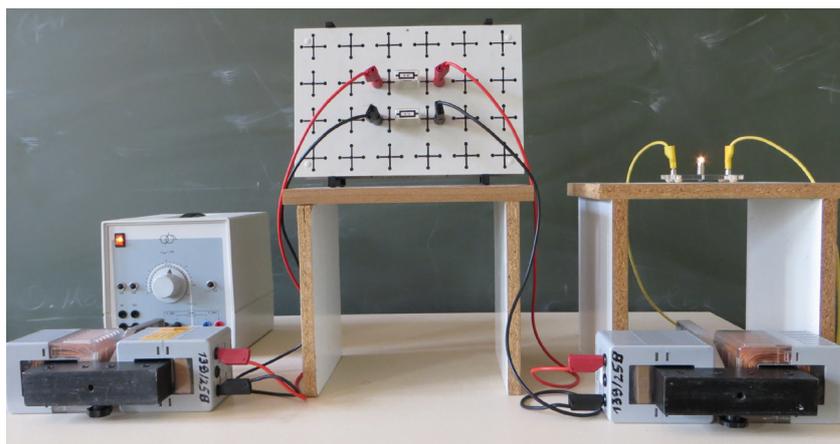
- Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Wechselspannungsquelle 8 V, zwei Transformatoren (250 und 10000 Wdg., Eisenkern mit Joch), Lämpchen 6 V / 100 mA, zwei Leitungen mit jeweils einem Widerstand (1,0 k Ω), Isolatoren und Stativmaterial


Ersatzprüfung:

Es kann (soweit didaktische Überlegungen nicht dagegen sprechen) auf die Isolatoren und Stativstangen verzichtet werden und alternativ die Hochspannungsleitung lediglich mit Sicherheitsexperimentierkabeln, Widerständen und Sicherheitsbuchsen realisiert werden.


Gefährdungsarten:

- mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung



konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
berührungsgefährliche Spannung im Bereich der Hochspannungsleitung ($U_{\sim} = 320 \text{ V}$); Vorsicht: Fehlerstrom-Schutzeinrichtung spricht in diesem Bereich nicht an	Generelle Schutzmaßnahmen bei berührungsgefährlicher Spannung: <ul style="list-style-type: none"> • Not-Aus-Einrichtung und Fehlerstrom-Schutzeinrichtung im Unterrichtsraum vorhanden; diese Schutzeinrichtungen auf fehlerfreie Funktion überprüfen; • Leitungen, Bauteile und Geräte auf erkennbare Beschädigungen überprüfen; • den ordnungsgemäßen Aufbau des Versuches überprüfen; insbesondere beim lampenseitigen Transformator prüfen, ob die Spulen nicht vertauscht sind; • Sicherheitsexperimentierkabel (und entsprechende Buchsen an allen Bauteilen) für die „Hochspannungsleitung“ verwenden; • Falls der Versuchsaufbau mit Isolatoren und Stativstangen gewählt wird, den Versuch mit einem Schalter starten und stoppen, der sich nicht in unmittelbarer Nähe des Versuchsaufbaus befindet, um ein versehentliches Berühren der „Hochspannungsleitung“ zu vermeiden. • Schülerinnen und Schüler über versuchsspezifische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen unterrichten
Umkippen der Stativstangen und der Transformatoren	Auf einen standfesten Aufbau achten.

Ergänzungen:

Das obige Experiment darf keinesfalls als Schülerexperiment durchgeführt werden, da berührungsgefährliche Spannungen auftreten. Aus Sicherheitsgründen kann auch die Lehrkraft zu dem Entschluss kommen, den gesamten Aufbau anders zu dimensionieren und hierbei darauf zu achten, dass die maximal auftretende Wechselspannung nur 24 V beträgt. Im Buch „Grundlegende Experimentiertechnik im Physikunterricht“ (Oldenbourg Verlag, 2011) wird hierzu Folgendes vorgeschlagen: Die Spulen der beiden Transformatoren besitzen 75 Windungen und 900 Windungen. Wenn an der Primärseite des Stelltransformators 2,5 V AC anliegen, so beträgt die Spannung auf der Sekundärseite dieses Transformators also nur rund 24 V AC. Als Zuleitung dient eine Messleitung mit 0,14 mm² Querschnitt und 23 m Länge. Als Verbraucher werden drei parallel geschaltete Glühlampen 2,5 V/0,3 A verwendet.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Personen auf Skateboards und das Wechselwirkungsgesetz	Jgst. 9 (Gym)
--	----------------------

Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Zwei Schüler befinden sich auf jeweils einem Skateboard und ziehen an einem Seil, das sie beide in Händen halten.

Ersatzprüfung:

Denkbare Ersatzexperimente, z. B. der Stoß zweier Gleiter auf der Fahrbahn bei magnetischer Wechselwirkung, demonstrieren zwar wesentliche Elemente des Wechselwirkungsgesetzes, beziehen aber die für das Lernen sehr hilfreiche Selbsterfahrung nicht mit ein.

Gefährdungsarten:

mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Sturzgefahr	Hinsetzen der Versuchspersonen auf die Skateboards

Ergänzungen:

Der Versuch ist auch mit geübten Skateboard-Fahrern im Stehen möglich. In diesem Fall sollten weitere Schüler hinter den Versuchspersonen für Hilfestellungen bereitstehen.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Entladen eines Elektroskops durch α-Strahlung	Jgst. 9 (Gym)
---	----------------------

Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Ein Am-Präparat wird in die Nähe der Konduktorkugel eines geladenen Elektroskops gehalten, woraufhin sich das Elektroskop entlädt.

Ersatzprüfung:

Der Einsatz eines Präparats hoher Aktivität ($A > 330$ kBq) ist notwendig.

Gefährdungsarten:

mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Gefährdung durch die ionisierende Strahlung des Am-Präparats	Präparat nur kurzzeitig aus dem Behälter entnehmen; unmittelbar nach der Stunde das radioaktive Präparat in den Strahlenschutzschrank zurücklegen; nicht in den Strahlengang hineingreifen sowie die einschlägigen Bestimmungen des Strahlenschutzes beachten

Ergänzungen:

Mit anzeigepflichtigen Präparaten, wie einem Am-Präparat mit Bauartzulassung vor dem 01.08.2001, dürfen nur unterwiesene Lehrkräfte (und natürlich ein Strahlenschutzbeauftragter) umgehen. Währenddessen muss ein Strahlenschutzbeauftragter erreichbar sein. Sind diese Voraussetzung erfüllt, so dürfte auch eine unterwiesene Schülerin oder ein unterwiesener Schüler bei obigem Experiment mitwirken.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-



Versuch: Spezifische Wärmekapazität von Aluminium	Jgst. 9 (Gym)
--	----------------------

Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Aluzylinder in heißes Wasser tauchen; die beiden Massen und Anfangstemperaturen sowie die Mischtemperatur messen

Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:

mechanisch
 elektrisch
 thermisch
 IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz
 Lärm
 Gefahrstoffe
 ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Gefahr von Schnittverletzungen bei Bruch des Glasgefäßes	Aluzylinder vorsichtig in das leere Glasgefäß setzen und erst dann das warme Wasser hinzugeben
Glasbruchgefahr bei Verwendung von Flüssigkeitsthermometern	Instruktion der Schülerinnen und Schüler: sorgsamer Umgang
Verbrühungsgefahr bei zu stark erhitztem Wasser	Instruktion der Schülerinnen und Schüler: Anfangstemperatur von Wasser maximal 60 °C

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.
 nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Konvektionsrohr
Jgst. 9 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Der Versuch zeigt das Prinzip einer Warmwasserheizung unter Verwendung eines Konvektionsrohrs. Das wassergefüllte Rohr wird an einer Ecke erhitzt. Die entstehende Zirkulation wird mithilfe eines Farbstoffs sichtbar gemacht.

Ersatzprüfung:

Zur Einfärbung des Wassers wird nicht Kaliumpermanganat, sondern Lebensmittelfarbe oder Tinte verwendet. Falls Tinte eingesetzt wird, muss darauf geachtet werden, dass diese bei einer Temperatur ab ca. 60 °C zersetzt wird.

Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Bei Bruch des Konvektionsrohrs besteht Verbrühungsgefahr und die Gefahr von Schnittverletzungen.	Es ist auf einen stabilen Aufbau zu achten; ggf. sind zwei Halterungen einzusetzen. An der Ecke des Konvektionsrohrs, die erhitzt wird, ein Wärmeleitgitter (siehe Ergänzungen) verwenden.
Verbrennungsgefahr	direkten Hautkontakt mit dem Rohr vermeiden; besondere Vorsicht beim Umgang mit der offenen Flamme

Ergänzungen:

- Vor dem Abbau des Versuches das Konvektionsrohr ausreichend abkühlen lassen.
- Unter „Wärmeleitgitter“ ist ein Drahtgitter aus Kupfer oder einem anderen guten Wärmeleiter gemeint. Das Gitter wird an der Ecke, die erhitzt werden soll, um das Konvektionsrohr herumgelegt, damit die Hitze der Kerze oder des Bunsenbrenners über eine größere Fläche verteilt wird und es so zu keinen übermäßigen Spannungen im Glas kommt.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-


Versuch: Untersuchung der Zentripetalkraft
Jgst. 10 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Experimentelle Untersuchung der Abhängigkeit der Zentripetalkraft von der Masse des rotierenden Körpers, dem Bahnradius sowie der Winkelgeschwindigkeit.


Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Stoßen am Aufbau (z. B. Stativstangen auf Augenhöhe), Umkippen des Aufbaus (z. B. beim Passieren der Tür mit dem Experimentierwagen)	Aufbau weitestgehend optimieren, ggf. vorragende Teile kennzeichnen und abpolstern (z. B. durch Aufstecken von aufgeschnittenen Tennisbällen)
Gefährdung durch rotierende Teile	Drehteller ausreichend fixieren; den stabilen Aufbau vor der Inbetriebnahme nochmals kontrollieren; ggf. einen separaten griffbereiten Schalter (z. B. schaltbare Mehrfachsteckdose) vorsehen; ein Hineingreifen bei laufendem Motor vermeiden
Gefährdung durch wegfliegende Teile	Massehalter vor dem Versuch kontrollieren; mit kleinen Bahngeschwindigkeiten beginnen; einen Versuchsaufbau in Kopfhöhe der Schüler vermeiden; Sicherheitsabstand einhalten (Flugbahn grob abschätzen); ggf. Schutzscheibe verwenden

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-


Versuch: Beugung und Interferenz von Laserlicht am Doppelspalt und Gitter
Jgst. 10, 11 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

In den Strahlengang eines Lasers werden verschiedene Spalte bzw. Gitter gestellt und das jeweilige Interferenzbild auf einem Schirm (z. B. Wand des Physiksaals) beobachtet.

Ersatzprüfung:

Es ist der Einsatz einer monochromatischen Lichtquelle notwendig. Bei Verwendung von Laserlicht ist eine ausreichende Sichtbarkeit für alle Schülerinnen und Schüler sichergestellt.


Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Schädigung des Auges (die Lehrkraft, Schülerinnen und Schüler oder eine in den Physiksaal eintretende Person könnten betroffen sein)	<ul style="list-style-type: none"> • Laser fixieren; • Aufbau nicht auf Augenhöhe; • ggf. Abschirmung des Laserlichts, das am Gitter reflektiert wird, und in Richtung der Schülerinnen und Schüler fallen könnte; • Vermeidung von weiterem reflektiertem Licht durch Beachtung örtlicher Gegebenheiten (z. B. Glasschränke); • matte Oberfläche (z. B. Wand) als Schirm verwenden; • Türen berücksichtigen (ggf. Warnschild von außen an die entsprechende Tür hängen); • Warnschild Laser im Unterrichtsraum aufstellen <p>Instruktion der Schülerinnen und Schüler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hinweis auf die von Laserstrahlung ausgehende Gesundheitsgefährdung bei unkontrolliertem Lichteinfall ins Auge; • sofort „bewusst wegschauen“, falls Laserlicht im Auge wahrgenommen wird

Ergänzungen:

Keinesfalls darf Laserstrahlung verwendet werden, falls das Interferenzbild subjektiv beobachtet werden soll, also kein Schirm zum Einsatz kommt und der Experimentator durch das Gitter in Richtung der Lichtquelle blickt.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Beugung und Interferenz von Laserlicht am Doppelspalt und Gitter
Jgst. 10, 11 (Gym)

- Lehrerexperiment
 Lehrerexperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Interferenzbilder werden von den Schülerinnen und Schülern mithilfe eines Laserpointers sowie eines Doppelspalts bzw. Gitters erzeugt und ggf. quantitativ ausgewertet.


Ersatzprüfung:

Einfachheit des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung; keine externe Spannungsversorgung der Lichtquelle und keine Verdunklung des Raums (Sicherheitsaspekt) notwendig; sehr exakte Messergebnisse; sicherheitsbewusster Umgang mit dem Alltagsgegenstand Laserpointer als pädagogisches Ziel des Unterrichts (Sicherheitserziehung); alternativ können LED-Lichtquellen eingesetzt werden (im LehrplanPLUS der Jgst. 11 sind diese explizit zur Durchführung des Schülerexperiments genannt).

Gefährdungsarten:

- | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> mechanisch | <input type="checkbox"/> elektrisch | <input type="checkbox"/> thermisch | <input checked="" type="checkbox"/> IR-, optische, UV-Strahlung |
| <input type="checkbox"/> Maschineneinsatz | <input type="checkbox"/> Lärm | <input type="checkbox"/> Gefahrstoffe | <input type="checkbox"/> ionisierende Strahlung |



konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Schädigung des Auges (die Lehrkraft, Schülerinnen und Schüler oder eine in den Physiksaal eintretende Person könnten betroffen sein)	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau so gestalten, dass die Reflexion des Laserlichts in Richtung Wand (nicht zur Fensterseite) erfolgt; • auf sinnvolle Strahlrichtungen unter den Schülergruppen und auf Türen achten (ggf. Blenden verwenden); • Arbeitsplätze mit zusätzlichen Blenden zur Abschirmung ausstatten; • Laserpointer der Klasse 2 ($P < 1$ mW Kennzeichnung) verwenden (Vorsicht: Laserpointer der Kennzeichnung $P < 1$ mW können in Einzelfällen eine reelle Leistung bis 10 mW haben); • Aufstellen des Warnschilds Laser im Unterrichtsraum <p>Instruktion der Schülerinnen und Schüler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hinweis auf die von Laserstrahlung ausgehende Gesundheitsgefährdung bei unkontrolliertem Lichteinfall ins Auge; • sofort „bewusst wegschauen“, falls Laserlicht im Auge wahrgenommen wird; • sicherheitsbewusster Umgang mit Laserpointern auch im Alltag; • Durchführung des Experiments: <ul style="list-style-type: none"> – Aufbau stets beibehalten; – Laserpointer bei Betrieb nicht in der Hand halten; – Taster des Laserpointers nicht fixieren; – Laserstrahlung nur auf das Gitter richten; – Versuchsdurchführung im Stehen, sodass die Augen niemals auf der Höhe der Laserstrahlung sein können; – Reflexionen vermeiden (z. B. Uhren ablegen, keine Geodreiecke bei der Versuchsdurchführung verwenden, Bleistifte zum Markieren der Maxima verwenden).

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Hallwachsexperiment
Jgst. 10 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Auf ein Elektroskop wird eine kurz vor dem Versuch frisch mit Sandpapier abgeriebene Zinkplatte gesteckt. Die geladene Zinkplatte wird mit dem Licht einer Hochdruck-Quecksilberdampfampe bestrahlt. Der Versuch zeigt bei negativer Aufladung des Elektroskops eine Entladung durch den Hallwachs-Effekt.


Ersatzprüfung:

Zur Ablösung von Photoelektronen aus der Zinkplatte ist eine Strahlung mit hoher Energiedichte im UV-Bereich erforderlich. Das Versuchsziel lässt sich daher ohne den Einsatz einer Hg-Dampfampe (oder einer vergleichbaren Strahlungsquelle im UV-Bereich) nicht erreichen.

Gefährdungsarten:

<input checked="" type="checkbox"/> mechanisch	<input checked="" type="checkbox"/> elektrisch	<input checked="" type="checkbox"/> thermisch	<input checked="" type="checkbox"/> IR-, optische, UV-Strahlung
<input type="checkbox"/> Maschineneinsatz	<input type="checkbox"/> Lärm	<input checked="" type="checkbox"/> Gefahrstoffe	<input type="checkbox"/> ionisierende Strahlung



konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
berührungsfähige Spannung (Betriebsspannung der Lampe ca. 115 V)	Versorgungsgerät (Drossel) ist abgeschlossen; Isolierung des Anschlusskabels prüfen; ggf. berührungssichere Steckbuchsen verwenden
Bruch der Hochdrucklampe und Freisetzung von Quecksilber	Lampe keinen mechanischen Belastungen (z. B. Stößen) aussetzen und sicher fixieren. Im Falle des Bruchs der Lampe: Umgehend alle Fenster öffnen und den Raum verlassen. Anschließend die Sammlungsleiterin oder den Sammlungsleiter informieren und eine fachgerechte Entsorgung der Lampenreste organisieren (vgl. Ergänzungen).
Verbrennungen bei Berühren der Hochdrucklampe (über 100 °C)	Lampenkörper beim Experimentieren und auch nach dem Ausschalten beim Abkühlen nicht berühren; die Betriebszeit begrenzen
Schädigung von Haut und Auge durch UV-Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtprüfung des Lampengehäuses auf Beschädigungen • Schutzscheibe (z. B. Fenster- oder Plexiglas) zwischen Beobachter und Lampe aufstellen; • Ausbreitungsrichtung des UV-Lichts senkrecht zur Beobachtungsrichtung wählen; • nicht in das direkte oder reflektierte Lichtbündel blicken; • nicht in den Strahlengang greifen, da das UV-Licht auch die Haut schädigen kann.
leicht entzündlicher Zinkabrieb	Zinkplatte nicht im Unterrichtsraum abschmirlen

Ergänzungen:

Die von den Lehrmittelfirmen vertriebenen Hochdruck- bzw. Höchstdrucklampen enthalten etwa 15 mg Quecksilber. Unmittelbar nach dem Zerschlagen der Lampe ist die Quecksilberkonzentration in der Luft am höchsten. Daher sollte in der Nähe der zerbrochenen Lampe nicht eingeatmet werden. Es sollten sofort die Fenster geöffnet und der Raum verlassen werden. Erst nach 15 bis 30 Minuten bei weiter geöffneten Fenstern mit Einweghandschuhen (oder mit Kunststoff beschichteten Handschuhen) die Lampenreste sorgfältig, z. B. mit Karton oder steifem Papier, zusammenkehren oder mit Klebeband aufnehmen. Um das Quecksilber nicht aufzuwirbeln, sollten Lampenreste bei der ersten Grobreinigung nicht mit einem Besen oder Staubsauger entfernt werden. Alle benutzten Materialien sind in einen verschließbaren Behälter (z. B. Glasbehälter mit Schraubverschluss) zu geben. Der Behälter wird mit der Aufschrift „Achtung, kann Quecksilberreste enthalten“ gekennzeichnet und bei einer Entsorgungsstelle abgeliefert.

Zum Vergleich: Energiesparlampen haben einen Quecksilbergehalt von bis zu 2,5 mg (neuer Grenzwert ab 01.01.2013 für Leistungen unter 30 W). Das Umweltbundesamt empfiehlt nach dem Bruch eines solchen Leuchtmittels ein sofortiges, fünfzehnminütiges und gründliches Lüften.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Kundt'sches Rohr
Jgst. 10 (Profil, Gym)

-
- Lehrereperiment
-
- Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
-
- Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Sichtbarmachung stehender Longitudinalwellen und Bestimmung der Schallgeschwindigkeit


Ersatzprüfung:

kein alternativer Versuch zur Erreichung der Versuchsziele bekannt

Gefährdungsarten:

-
- mechanisch
-
- elektrisch
-
- thermisch
-
- IR-, optische, UV-Strahlung
-
-
- Maschineneinsatz
-
- Lärm
-
- Gefahrstoffe
-
- ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Gefährdung durch Glasbruch	sichere Arretierung der Glasröhre; kein Überstehen der Glasröhre über Tischränder; alternativ: Plexiglasrohr verwenden
Schädigung des Gehörs (≈ 115 dB)	Hörschutz verwenden (z. B. Kopfhörer für die Lehrkraft und Einweg-Gehörschutzstöpsel für die Schülerinnen und Schüler); Versuch nur kurzzeitig durchführen

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

-
- durchgeführt werden.
-
- nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

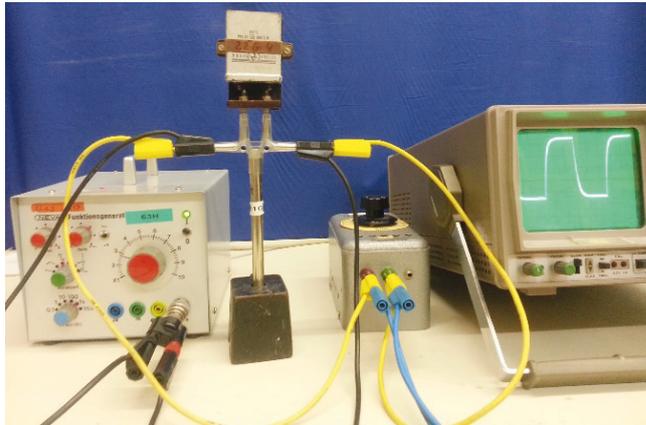
-


Versuch: Auf- und Entladung eines Elektrolytkondensators
Jgst. 11 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Ein Kondensator (ggf. Elektrolytkondensator) wird mithilfe der Rechteckspannung eines Funktionsgenerators aufgeladen und über einen Widerstand entladen. Der Strom- und Spannungsverlauf wird mit einem Oszilloskop aufgezeichnet.

Anstelle des Funktionsgenerators kann auch eine Gleichspannungsquelle verwendet werden. Das Umschalten zwischen Laden und Entladen erfolgt dann per Hand mit einem Wechselschalter. Die Messwerte werden in diesem Fall mithilfe eines Messwerterfassungssystems oder eines t-y-Schreibers aufgenommen.


Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
ggf. berührungsgefährliche Spannung schlagartige Entladung des Kondensators bei ungewolltem Kurzschluss (Funkenschlag und Knall bei großer Entladeenergie)	Die am Kondensator anliegende maximale Spannung wird deutlich kleiner als 60 V gewählt (z. B. 10 V). Wird dies nicht realisiert, so ist bei der Wahl der Kapazität des Kondensators und der angelegten Spannung in jedem Fall darauf zu achten, dass die Entladeenergie des Kondensators höchstens 350 mJ beträgt (und somit keine berührungsgefährliche Spannung vorliegt). Sorgsamer Umgang mit dem geladenen Kondensator; ggf. die Entladeenergie des Kondensators (auch für den Fall, dass $U < 60 \text{ V}$ gilt) kleiner als 350 mJ wählen (siehe Beispiel unten); den Kondensator vor dem Versuchsabbau und seiner Aufbewahrung in der Sammlung kontrolliert entladen.
Bei Einsatz eines Elektrolytkondensators: Gefährdung durch Platzen des Kondensators und Austreten von Gefahrstoffen	Die Polung des Kondensators beachten und die für den Kondensator maximal zulässige Spannung nicht überschreiten.

Ergänzungen:

- Es ist zu beachten, dass es beim Laden von Kondensatoren mit einer Gleichspannung von mehr als 60 V zu gefährlichen Aufladungen der Kondensatoren kommen kann; auch wenn eine Spannungsquelle mit Strombegrenzung zum Aufladen genutzt wird. Beim Entladen ist nämlich keine Strombegrenzung mehr vorhanden.
- Beispiel: Damit der elektrische Energieinhalt $E = \frac{1}{2} C U^2$ des Kondensators unter dem Grenzwert 350 mJ bleibt, darf bei einer anliegenden Spannung von 12 V die Kapazität des Kondensators maximal 4,8 mF betragen.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

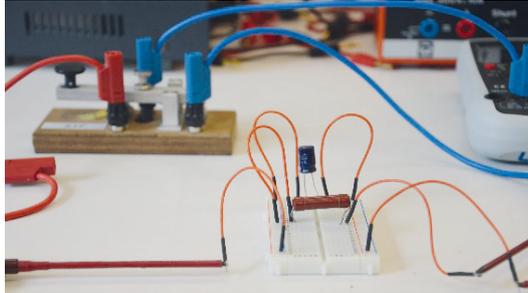
-


**Versuch: Ausschaltvorgang bei einem RC-Glied
(Elektrolytkondensator)**
Jgst. 11 (Gym)

-
- Lehrereperiment
-
- Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
-
- Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Ein Kondensator hoher Kapazität ($C = 370 \mu\text{F}$) wird mit einer Batterie ($U = 9 \text{ V}$) aufgeladen und über einen hochohmigen Widerstand ($R = 150 \text{ k}\Omega$) entladen. Hierbei wird die Stromstärke I in Abhängigkeit von der Zeit t gemessen.


Ersatzprüfung:

Die Ersatzprüfung kann entfallen, da der Versuch mit einer nicht berührungsgefährlichen Spannung durchgeführt wird.

Gefährdungsarten:

-
- mechanisch
-
- elektrisch
-
- thermisch
-
- IR-, optische, UV-Strahlung
-
-
- Maschineneinsatz
-
- Lärm
-
- Gefahrstoffe
-
- ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
elektrische Spannung	Die am Kondensator anliegende maximale Spannung wird deutlich kleiner als 60 V gewählt (bei obigem Versuchsaufbau 9 V), sodass mit einer nicht berührungsgefährlichen Spannung experimentiert wird.
schlagartige Entladung des Kondensators bei ungewolltem Kurzschluss (Funkenschlag und Knall bei großer Entladeenergie)	Bei der Wahl der Kapazität des Kondensators und der angelegten Spannung wird darauf geachtet, dass die Entladeenergie des Kondensators höchstens 350 mJ beträgt (bei obigem Versuchsaufbau gilt $E = \frac{1}{2} C U^2 = 15 \text{ mJ} < 350 \text{ mJ}$); Instruktion der Schülerinnen und Schüler: <ul style="list-style-type: none"> • Hinweis auf die elektrische Gefährdung, die von geladenen Kondensatoren ausgehen kann, • den Kondensator vor dem Versuchsabbau kontrolliert entladen.
Bei Einsatz eines Elektrolytkondensators: Gefährdung durch Platzen des Kondensators und Austreten von Gefahrstoffen	Die Polung des Kondensators beachten und die für den Kondensator maximal zulässige Spannung nicht überschreiten.

Ergänzungen:

-

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

-
- durchgeführt werden.
-
- nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons (Fadenstrahlrohr)
Jgst. 11 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Unter Aufsicht der Lehrkraft messen ausgewählte Schülerinnen und Schüler die für die Auswertung des Experiments entscheidenden Größen (insbesondere den Bahndurchmesser).


Ersatzprüfung:

Falls zur Beschleunigung der Elektronen ein Netzgerät eingesetzt wird, das eine nicht berührungsgefährliche Spannung (Strombegrenzung auf 12 mA) bereitstellt, so kann auf die nachfolgenden Schutzmaßnahmen zur elektrischen Gefährdung verzichtet werden.

Gefährdungsarten:

mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung



konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Das Fadenstrahlrohr könnte zu Bruch gehen (Implosionsgefahr).	Fadenstrahlrohr in der vorgesehenen Halterung sachgemäß aufbauen; sorgsamer Umgang mit dem Glaskörper
ggf. berührungsgefährliche Beschleunigungsspannung (falls z. B. $U = 250\text{ V}$ und keine Strombegrenzung auf 12 mA vorliegt)	ggf. generelle Schutzmaßnahmen bei berührungsgefährlicher Spannung <ul style="list-style-type: none"> • Not-Aus-Einrichtung und Fehlerstrom-Schutzeinrichtung im Unterrichtsraum vorhanden; diese Schutzeinrichtungen auf fehlerfreie Funktion überprüfen; • das Vorhandensein einer aktuellen Prüfplakette am Netzgerät (für die Beschleunigungsspannung) kontrollieren; • Leitungen, Bauteile und Geräte auf erkennbare Beschädigungen überprüfen; • den ordnungsgemäßen Aufbau des Versuches überprüfen; • Sicherheitsexperimentierkabel (und entsprechende Buchsen an allen Bauteilen) verwenden; • Schülerinnen und Schüler über versuchsspezifische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen unterrichten.

Ergänzungen:

- In der Gebrauchsanweisung 555 571 von Leybold zum Fadenstrahlrohr und Helmholtz-Spulenpaar finden sich gleich zu Beginn folgende Sicherheitshinweise: „Das Fadenstrahlrohr benötigt zur Beschleunigung der Elektronen berührungsgefährliche Spannungen bis zu 300 V . Andere Spannungen, die mit dieser berührungsgefährlichen Spannung verbunden sind, sind ebenfalls berührungsgefährlich. Berührungsgefährliche Spannungen liegen somit bei Betrieb des Fadenstrahlrohres am Anschlussfeld des Ständers und an den Helmholtz-Spulen an.“ Es soll außerdem darauf geachtet werden, dass „der Versuchsaufbau und insbesondere die Helmholtz-Spulen im Betrieb nicht berührt werden“.
- Schülerinnen und Schüler dürfen grundsätzlich nicht mit berührungsgefährlicher Spannung experimentieren. Ausnahmen sind lediglich in den Jahrgangsstufen 11 und 12 zulässig. In diesem Fall obliegt der Lehrkraft eine besondere Verantwortung.
- Hinweis: Damit das Fadenstrahlrohr nicht zerstört wird, dürfen die Betriebsparameter des Fadenstrahlrohres (siehe Datenblatt; insbesondere z. B. eine Heizspannung von $6,3\text{ V}$) nicht überschritten werden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

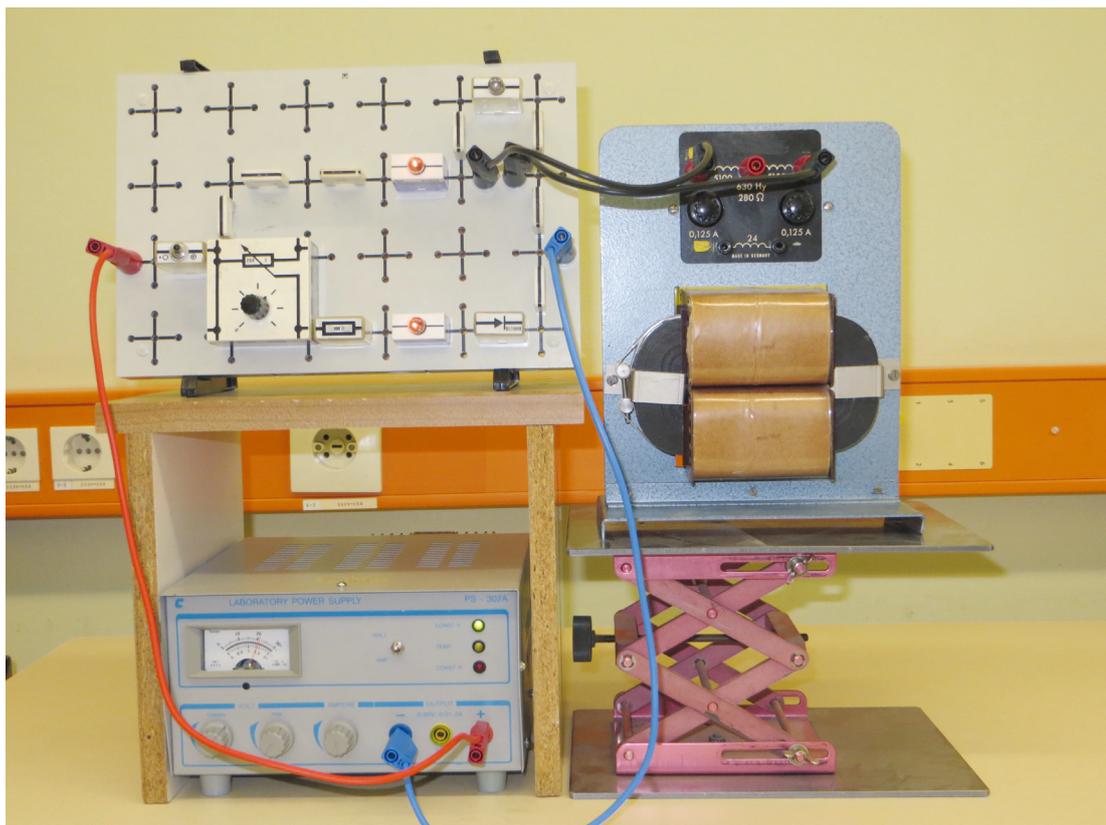
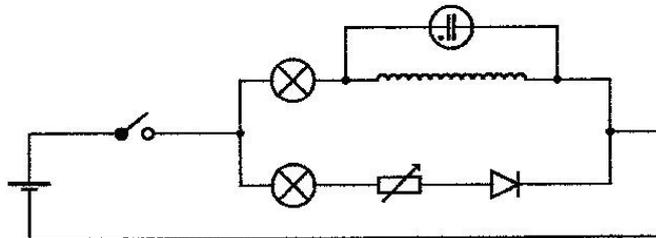
-

Versuch: Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule
Jgst. 11 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:
Versuchsmaterialien:

Gleichspannungsnetzteil 30 V, Glühlämpchen 6 V/0,6 W, Spule hoher Induktivität (z. B. 630 H, 280 Ω), Potentiometer (z. B. 320 Ω), Diode, Glimmlampe, Schalter, Sicherheitsexperimentierkabel, Sicherheitsbuchsen

Der Widerstand wird so gewählt, dass beide Lämpchen gleich hell leuchten. Die Diode dient dazu, beim Ausschaltvorgang den Stromkreis über den Widerstand zu sperren.


Ersatzprüfung:

Zur Demonstration des Effekts muss eine Spule hoher Induktivität verwendet werden.

Gefährdungsarten:

mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung



konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
<p>Beim Ausschaltvorgang entsteht eine berührungsfähliche Selbstinduktionsspannung an der Spule, die deutlich größer als die 30 V-Spannung des verwendeten Gleichspannungsnetzteils ist. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der magnetische Energieinhalt der Spule bei Verwendung obiger Materialien deutlich größer als der Grenzwert 350 mJ ist:</p> $E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = 0,5 \cdot 630 \text{ H} \cdot (0,1 \text{ A})^2 = 3 \text{ J}$	<p>Generelle Schutzmaßnahmen bei berührungsfählicher Spannung beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Not-Aus-Einrichtung und Fehlerstrom-Schutzeinrichtung im Unterrichtsraum vorhanden; diese Schutzeinrichtungen auf fehlerfreie Funktion überprüfen; • Leitungen, Bauteile und Geräte auf erkennbare Beschädigungen überprüfen; • den ordnungsgemäßen Aufbau des Versuches überprüfen; • Sicherheitsexperimentierkabel (und entsprechende Buchsen an allen Bauteilen) verwenden; • Schülerinnen und Schüler über versuchsspezifische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen unterrichten; insbesondere weil bei diesem Versuch die berührungsfähliche Spannung nicht offensichtlich ist und eine Schülerbeteiligung in der Oberstufe vorliegen kann.

Ergänzungen:

- Schülerinnen und Schüler dürfen grundsätzlich nicht mit berührungsfählicher Spannung experimentieren. Ausnahmen sind lediglich in den Jahrgangsstufen 11 und 12 zulässig. In diesem Fall obliegt der Lehrkraft eine besondere Verantwortung.
- Es ist verboten, Experimente mit berührungsfählichen Spannungen an Schülerinnen und Schülern vorzunehmen. So darf in einer Abwandlung des obigen Versuches keinesfalls das „Weidezaunprinzip“ am Menschen demonstriert werden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.

nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Aufnahme eines Röntgenspektrums
Jgst. 11 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Mit der Röntgenröhre wird nach Betriebsanweisung ein Röntgenspektrum mit einem Geiger-Müller-Zählrohr aufgezeichnet.

Ersatzprüfung:

-

Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
berührunggefährliche Spannung	ausreichender Schutz durch Maßnahmen baulicher Art gegeben
Gefährdung durch ionisierende Röntgenstrahlung	Prüfsiegel am Röntgengerät auf Gültigkeit prüfen; Aufbau des Versuches mit Strahlrichtung senkrecht zur Beobachtungsrichtung

Ergänzungen:

- Soll (z. B. als Einstieg in das Thema Röntgenstrahlung) ein Röntgenbild bei Durchleuchtung gezeigt werden, so kann dies z. B. unter Einsatz von Kamera und Beamer erfolgen.
- Schulröntgeneinrichtungen dürfen nur Lehrkräfte, die von einem Strahlenschutzbeauftragten unterwiesen sind (und natürlich Strahlenschutzbeauftragte), in Betrieb nehmen bzw. verwenden. Während der Durchführung eines Demonstrationsexperiments muss ein Strahlenschutzbeauftragter an der Schule oder zumindest kurzfristig erreichbar sein. Unterwiesene Schülerinnen und Schüler dürfen bei Versuchen mit einer Röntgenröhre nur in Anwesenheit und unter der Aufsicht eines Strahlenschutzbeauftragten mitwirken.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

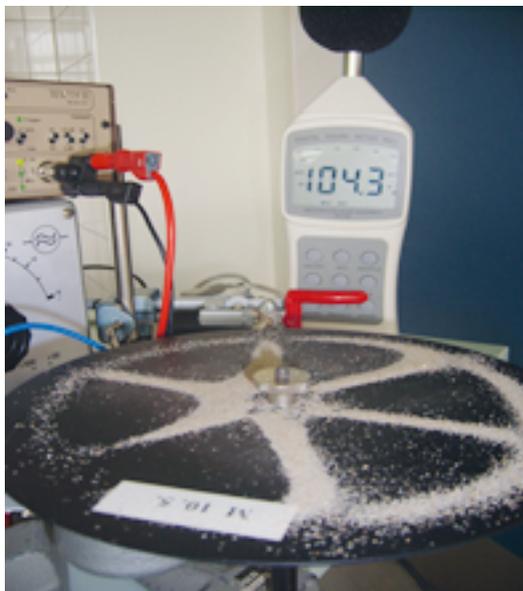

Versuch: Chladni-Klangfiguren
Jgst. 12 (Gym)
 Lehrereperiment Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Darstellung zweidimensionaler stehender Wellen auf schwingender Metallplatte

Ersatzprüfung:

-


Gefährdungsarten:
 mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Schädigung des Gehörs (≈ 100 dB)	Hörschutz verwenden (z. B. Kopfhörer für die Lehrkraft und Einweg-Gehörschutzstöpsel für die Schülerinnen und Schüler); Versuch nur kurzzeitig durchführen (die einzustellenden Resonanzfrequenzen im Vorfeld bestimmen und entsprechende Notizen für den Unterrichtseinsatz bereithalten)

Ergänzungen:

Alternativ können die Schwingungsmoden unter Einsatz eines Geigenbogens gezeigt werden.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

 durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch: Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre	Jgst. 12 (Gym)
---	-----------------------

Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

-

Ersatzprüfung:

Das historische Franck-Hertz-Experiment kann am besten mithilfe einer Hg-Röhre nachgestellt werden.

Gefährdungsarten:

mechanisch
 elektrisch
 thermisch
 IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz
 Lärm
 Gefahrstoffe
 ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)
Bruch der Röhre und Freisetzung von Quecksilber	Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen und auf einen stabilen Aufbau achten. Im Falle des Bruchs der Röhre: Raum gut lüften (während des Lüftens sollten sich keine Personen im Raum befinden); eine fachgerechte Entsorgung einleiten
Bruch des Quecksilberthermometers	Quecksilberthermometer durch einen elektronischen Fühler ersetzen
Verbrennungsgefahr (heißes Gehäuse)	keramische Unterlage verwenden; bei und kurz nach Betrieb der Röhre das Gehäuse nur am Griff anfassen; das Warnschild „Vorsicht heiß“ aufstellen bzw. dafür Sorge tragen, dass keine Person das heiße Gehäuse berührt
Es liegt eine berührunggefährliche Beschleunigungsspannung vor, falls diese größer als 60 V gewählt wird.	den Wert 60 V für die Beschleunigungsspannung nicht überschreiten; andernfalls Sicherheitsexperimentierkabel verwenden sowie die generellen Schutzmaßnahmen bei berührunggefährlicher Spannung beachten
UV-Strahlung	Es liegt nur eine sehr geringe Gefährdung durch UV-Strahlung vor, da eine Glasscheibe im Gehäuse verbaut ist.

Ergänzungen:

Soweit eine mit Neon gefüllte Röhre zur Verfügung steht, kann diese alternativ eingesetzt werden, um die Anregung von Atomen durch Elektronenstöße experimentell zu demonstrieren.

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

durchgeführt werden.
 nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:

-

Versuch:	Jgst.
-----------------	--------------

- Lehrereperiment
 Lehrereperiment mit Schülerbeteiligung
 Schülerexperiment

Ggf. kurze Beschreibung des Experiments:

Ersatzprüfung:

Gefährdungsarten:

- mechanisch elektrisch thermisch IR-, optische, UV-Strahlung
 Maschineneinsatz Lärm Gefahrstoffe ionisierende Strahlung

konkrete Gefährdungen	Schutzmaßnahmen (z. B. gerätebezogen, baulich, bei der Durchführung des Experiments)

Ergänzungen:

Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung:

Das Experiment kann unter Berücksichtigung der obigen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen, der eigenen Fachkenntnisse sowie pädagogischer Gesichtspunkte (z. B. Klassensituation)

- durchgeführt werden. nicht durchgeführt werden.

Wirksamkeit:



Verhalten in Fachräumen der Physik

(Allgemeine Anweisungen für Schülerinnen und Schüler)

1. Fachräume dürfen nur bei Anwesenheit einer Lehrkraft betreten werden.
2. In Fachräumen darf weder gegessen noch getrunken werden.
3. Schultaschen und Jacken sind so abzulegen, dass niemand darüber stolpert bzw. genügend Platz zum Vorbeigehen ist.
4. Geräte und Versuchsaufbauten (z. B. am Experimentiertisch vorne) dürfen ohne Erlaubnis der Lehrkraft keinesfalls berührt werden, auch wenn die Situation völlig ungefährlich erscheint.
5. Die elektrische Energie- und Gasversorgung darf eigenmächtig nicht bedient werden.
6. Beschädigte Steckdosen, Stecker, Geräte oder Kabel sowie offene Gashähne, Gasgeruch oder andere Gefahrenstellen sind sofort der Lehrerin oder dem Lehrer zu melden.
7. Im Gefahrenfall einen Not-Aus-Schalter betätigen; Standorte und die Bedienung von Not-Aus-Schaltern sind bekannt.
8. Wer anderen im Gefahrenfall hilft, achtet auf seine eigene Sicherheit.
9. Die Standorte
der Feuerlöscheinrichtungen,
des Erste-Hilfe-Materials und
des nächsten Telefons (im Notfall ggf. auch Handy nutzen) sind bekannt.

Notrufnummern 112 (integrierte Leitstelle) oder 110 (Polizei)
(beim Schultelefon muss erst 0 gewählt werden und dann 112 bzw. 110).
10. Bei einem Feueralarm sind die Verhaltensregeln zu beachten; der Fluchtweg ist bekannt.

Verhalten beim Experimentieren

(Anweisungen für Schülerinnen und Schüler)

1. Beim Experimentieren dürfen Mappen und Kleidungsstücke nicht auf dem Experimentiertisch abgelegt werden. Es ist darauf zu achten, dass es keine Stolperfallen (z. B. Schultaschen) gibt und genügend Platz zum Arbeiten ist.
2. Die Schülerinnen und Schüler befolgen die Arbeitsanweisungen der Lehrkraft gewissenhaft. Versuchsanleitungen sind sorgfältig zu lesen. Bei Unklarheiten fragen die Schülerinnen und Schüler die Lehrkraft.
3. Die von der Lehrkraft angeordneten Schutzmaßnahmen sind zu befolgen (u. a. bei offenen Flammen, erwärmten Flüssigkeiten oder bei elektrischer Gefährdung), um sich selbst und andere Personen nicht zu gefährden.
4. Beschädigte Steckdosen, Stecker, Geräte oder Kabel sowie offene Gashähne, Gasgeruch oder andere Gefahrenstellen sind sofort der Lehrerin oder dem Lehrer zu melden. Geräte sind sorgfältig zu handhaben.
5. Ohne die Erlaubnis der Lehrkraft (ggf. Lehrkraft zum eigenen Experimentierplatz holen und um Kontrolle des Aufbaus bitten)
 - dürfen keine Geräte eingeschaltet werden,
 - darf die Arbeit mit den Versuchsmaterialien nicht begonnen werden.
6. Eigenmächtig „mal etwas ausprobieren“ ist ohne Erlaubnis der Lehrerin oder des Lehrers untersagt.
7. Im Gefahrenfall oder bei einem Unfall ist sofort die Lehrkraft zu rufen.
8. Nach Beendigung des Versuches
 - wird dieser ordnungsgemäß abgebaut (z. B. Elektroschalter ausschalten),
 - werden Versuchsmaterialien an ihren Platz zurückgebracht,
 - wird der Arbeitsplatz falls nötig gesäubert; ggf. auch die Hände gewaschen.
9. Aus Sicherheitsgründen dürfen Experimente, die in der Schule gezeigt oder unter Aufsicht der Lehrkraft von Schülerinnen und Schülern durchgeführt wurden, nicht gedankenlos oder leichtsinnig zu Hause wiederholt werden. Bei Heimexperiment ist auch auf Sicherheit zu achten.



Linkliste zum Thema Sicherheit

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): Sichere Schule: <http://www.sichere-schule.de>



Auf dieser Seite geht es um die Einrichtung und Ausstattung von Fachräumen. Man kann sich z. B. einen virtuellen Physiklehrraum oder eine virtuelle Physikvorbereitung ansehen und sich über die verschiedenen vorgeschriebenen Sicherheitseinrichtungen wie z.B. Verbandskasten, Not-Aus etc. informieren.

Kommunale Unfallversicherung Bayern, Bayerische Landesunfallkasse (KUVB): <http://www.kuvb.de>



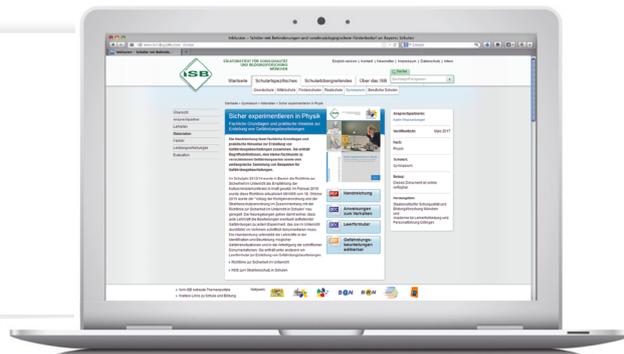
Unter dem Pfad → *Medien* → *Druckschriften und Broschüren* können verschiedene, für die Schule relevante, Broschüren heruntergeladen werden. Besonders interessant ist das unter → *Medien* → *Druckschriften und Broschüren* → *Eigene Broschüren* zu findende *Medienverzeichnis Bildungseinrichtungen*. In diesem finden sich verschiedene die Schule betreffende Medien wie z. B. eine Information zum sicheren Experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen oder Aufkleber zum Kennzeichnen von Erste Hilfe Schränken, die man beim KUVB meist kostenlos bestellen kann.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: <http://www.baua.de>



Hier finden sich unterschiedliche Informationen, die den Arbeitsschutz betreffen. So gibt es unter dem Pfad → *Themen von A-Z* → *Optische Strahlung* z. B. Grenzwerte und Regelungen bzgl. optischer Strahlung.

► www.isb.bayern.de/gymnasium/materialien/sicher-experimentieren-in-physik



Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus,
Wissenschaft und Kunst, Ref. Öffentlichkeitsarbeit,
Salvatorstraße 2, 80333 München

Diese Broschüre wurde im Auftrag des Bayerischen
Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft
und Kunst erarbeitet.

Leitung des Arbeitskreises und Redaktion

StD Michael Haßfurther, ISB

StD Werner Ettinger, ALP

Mitglieder des Arbeitskreises

OStR Gernot Erler	Albert-Schweitzer-Gymnasium Erlangen, MB-Fachreferent für Verkehrserziehung und Unfall- schutz, Mittelfranken
StD Bernhard Halla	Luitpold-Gymnasium München, Seminarlehrer Physik
StD Gerwald Heckmann	Albert-Einstein-Gymnasium München, Zentraler Fachberater Physik
StD Christian Hellmich	Leibniz-Gymnasium Altdorf, Seminarlehrer Physik
StD Alexander Jung	Lise-Meitner-Gymnasium Unterhaching, MB-Fachreferent Physik Obb.-Ost
StD Roland Kopf	Christoph-Probst-Gymnasium Gilching, MB-Fachreferent Phy- sik Obb.-West
StD Karl-Heinz Preßlein	Holbein-Gymnasium Augsburg, Seminarlehrer Physik
StD Alfred Schmitt	Friedrich-Dessauer-Gymnasium Aschaffenburg, Seminarlehrer Physik

Anschrift ISB

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung
Abteilung Gymnasium
Schellingstr. 155
80797 München
Internet: www.isb.bayern.de
E-Mail: abt.gym@isb.bayern.de

Anschrift ALP

Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung
Abteilung Fachdidaktik Unterrichtsentwicklung II
Kardinal-von-Waldburg-Str. 6-7
89407 Dillingen a. d. Donau
Internet: www.alp.dillingen.de
E-Mail: akademie@alp.dillingen.de

Fotos

StD Bernhard Halla, StD Christian Hellmich,
StD Alexander Jung, StD Roland Kopf,
StD Karl-Heinz Preßlein, StD Alfred Schmitt,
StDin Michaela Trinder

Gestaltung

PrePress-Salumae.com, Kaisheim

Druck

Appel & Klinger Druck und Medien GmbH,
Schneckenlohe

Diese Publikation wurde
auf 100 % Altpapier gedruckt.



Stand

Oktober 2017

Hinweis: Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken

und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Telefon 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

