

Klemeyer, Horst; Ruppertsberg, Klaus
Experimentalkompetenz beim Unterricht mit Gefahrstoffen. Eine gefahrstoffrechtliche Stellungnahme

formal überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:

formally revised edition of the original source in:

Chemie konkret : CHEMKON 28 (2021) 1, S. 30-34



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /
Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:0111-pedocs-287931

10.25656/01:28793

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-287931>

<https://doi.org/10.25656/01:28793>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Experimentalkompetenz beim Unterricht mit Gefahrstoffen -

Eine gefahrstoffrechtliche Stellungnahme

Experimenting with hazardous substances and experimental
competence: A legal statement

Horst Klemeyer und Klaus Ruppertsberg

Zusammenfassung:

Das sichere Experimentieren mit Gefahrstoffen ist eine Schlüsselkompetenz für Lehrkräfte im Fach Chemie. Somit ist es für die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Chemielehrkräften wichtig, die fachlich fundierte, sichere Kompetenz zum Experimentieren zu fördern und zu pflegen. In diesem Beitrag werden am Beispiel von Chlor und Brom Methoden vorgestellt, mit denen man trotz hoher und sehr hoher Stoffgefahren sichere Schulexperimente durchführen kann. Es wird erläutert, welche Bedeutung die Fähigkeit hat, anhand der eigenen Gefährdungsbeurteilung den Experimentalunterricht rechtssicher zu entwickeln, zu dokumentieren und durchzuführen.

Abstract:

Safe experimentation with hazardous substances is a key competence for chemistry teachers. It is therefore important for the initial and further training of chemistry teachers to promote and maintain professional experimentation skills. This article uses the example of chlorine and bromine to present methods for carrying out safe school experiments despite high and very high chemical hazards. The ability to develop, document and carry out experimental lessons on the basis of one's own risk assessment has a high significance.

1 Einleitung

Wo, wenn nicht im Chemieunterricht, kann und soll der richtige Umgang mit gefährlichen Substanzen und die Vermeidung von Gefahren gelehrt und geübt werden? Kein anderes Fach verfügt über derartig breite Mittel und Möglichkeiten, vorhersehbare Gefahren einzuschätzen und die richtige Handlungsweise zu erklären!

Leider ist im Rahmen des Chemieunterrichts vielfältig zu beobachten, dass Unterrichtsphasen mit Gefahrstoffen vermieden oder nicht optimal durchgeführt werden. Mit den richtigen Kenntnissen können jedoch Motivation und Beteiligung der Schülerinnen und Schüler im Unterricht gefördert und nachhaltige Lernergebnisse erreicht werden.

Schülerexperimente sind dabei den Lehrer-Demonstrationsexperimenten grundsätzlich überlegen, sofern die jeweilige Aufgabenstellung und die hiermit verbundenen Tätigkeitsbeschränkungen es zulassen. Aber auch Demonstrationsexperimente haben, insbesondere bei Vorliegen der affektiven Dimensionen Fühlen und Riechen [1], herausragende Vorteile gegenüber Computeranimationen oder gar Videoclips, die keine multidimensionalen Lerngelegenheiten bieten können.

Für den Unterricht mit Schülerexperimenten werden in der fachdidaktischen Literatur erkenntnistheoretische, lernpsychologische, fachdidaktische und pädagogische Gründe angeführt [2]. Die Fachgruppe Chemieunterricht der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) fordert deshalb folgerichtig, dass die Schulträger für den Chemieunterricht Fachräume zur Verfügung stellen, die einen sicheren Unterricht mit Schülerexperimenten ermöglichen [3].

2 Beispiel: Welche technischen und gefahrstoffrechtlichen Rahmenbedingungen sind bei Experimenten mit den bei Einatmen lebensgefährlichen Stoffen Chlor und Brom zu berücksichtigen?

In seinem Artikel „Brom in der Schule“ [4] stellt der Autor die Frage, ob der Reinstoff Brom angesichts von Unfallserien mit „aus der Hand gerutschten Bromfläschchen“ und Kosten im Bereich von jeweils ca. 60.000 Euro überhaupt noch in schulischen Chemiesammlungen zu bevorraten sei. Im Diskussionsbeitrag „Experimente mit Brom an Schulen sind zu kostspielig“ [5] wird die Meinung vertreten, dass man auf Brom in der Schule durchaus verzichten könne und auf Videomaterial zurückgreifen sollte. Aus heutiger Sicht würde dies einen traurigen Rückzug der Experimentalchemie darstellen, dem durch eine Kompetenzinitiative entgegengewirkt werden muss.

2.1 Reaktionen mit Brom

Unter den motivationsförderlichen Experimenten, die das Reaktionsvermögen und die Oxidationseigenschaften der Halogene unter Nutzung affektiver Lernkanäle mit Licht, farbigem Rauch, Schall und wahrnehmbarer Wärmestrahlung demonstrieren, ist die Reaktion von Brom mit Aluminium besonders eindrucksvoll. Bei dieser Reaktion verbrennt das in der Alltagserfahrung der Schülerinnen und Schüler besonders haltbare Aluminium nach dem Kontakt mit Brom ohne Aktivierungsenergie und ohne einen Katalysator spontan und unter Knistern so heftig, dass glühende Partikel aus dem Reaktionsgemisch geschleudert werden („Bromvulkan“). Bei diesem klassischen Schulexperiment kann Brom naturgemäß nicht substituiert werden, da der Versuch ohne Brom nicht funktioniert. Da aber Brom im Fall seiner

Freisetzung schnell eine beim Einatmen lebensgefährliche Atmosphäre bildet, sind besondere Vorkehrungen notwendig (siehe Abb. 1):

- Anstelle einer 300-g-Flasche wird eine Brom-Box verwendet, die nur eine geringe Menge Brom enthält.
- Bei versehentlichem Verschütten steht eine Flasche mit Natriumthiosulfat-Lösung bereit.
- Zum Hantieren wird ein sogenannter Bromfüller verwendet, den man sich leicht aus einer Pasteurpipette herstellen kann.



Abb. 1: Links: selbstgebastelte Brom-Box aus einer apothekenüblichen Salbendose und Innengefäß, das auf Aktivkohle steht; Hinten: Natriumthiosulfatlösung, davor PTFE-Gefäß und kunststoffummantelte Glasflasche, beide bruchsicher, zum Aufbewahren von elementarem Brom; Davor: abgeknickte Pasteur-Pipette (=“Bromfüller”). (Foto: Ruppertsberg)

Brom ist als Reinstoff schon an sich faszinierend, weil es flüssig und dreimal so schwer ist wie ein vergleichbares Volumen an Wasser. Es kann in geschlossenen Behältern und in abschließbaren, entlüfteten Schränken sicher gelagert und daraus verwendet werden. Gemäß Richtlinie für die Sicherheit im Unterricht (RiSU, II-2.5, Halogene) [6] ist es zulässig, unter Beachtung der Sicherheitsgrundsätze den Reinstoff Brom in der Schule zu lagern und im Rahmen von Lehrerexperimenten auch im Unterricht fachgerecht einzusetzen (Stand 2022) [7].

Wird Bromwasser grundsätzlich durch das Lösen von Brom in Wasser zubereitet, entfällt die sonst hierfür gemäß RiSU, Tab. 1 in Schulen als Ausnahme erlaubte Beschaffung, Lagerung und der Umgang mit der krebserzeugenden Natrium- oder Kaliumbromatlösung (Stand 2022) [8]. Somit kann die sichere Bevorratung von Brom nicht nur zulässig, sondern unter Umständen sogar empfehlenswert sein. Eine weitere Alternative wird in [9] beschrieben.

2.2 Reaktionen mit Chlor

Flüchtige Gefahrstoffe und Stoffgemische, wie z. B. die wässrigen Lösungen von **Chlor**, Brom, Schwefeldioxid oder Methanol, bilden beim offenen Umgang durch Ausgasen oder Verdunsten gesundheitsgefährdende, übelriechende oder brennbare Dämpfe [10]. Gemäß der Stoffliste DGUV-Information 213-098 sind Schülereperimente mit diesen wässrigen Lösungen zwar durchaus zulässig, dabei ist aber zu beachten, dass die Verwendung von giftigen und beim Einatmen ätzenden Stoffen nur in geschlossenen Verfahren (Systemen) erfolgen darf (RiSU – I-3.4.3).

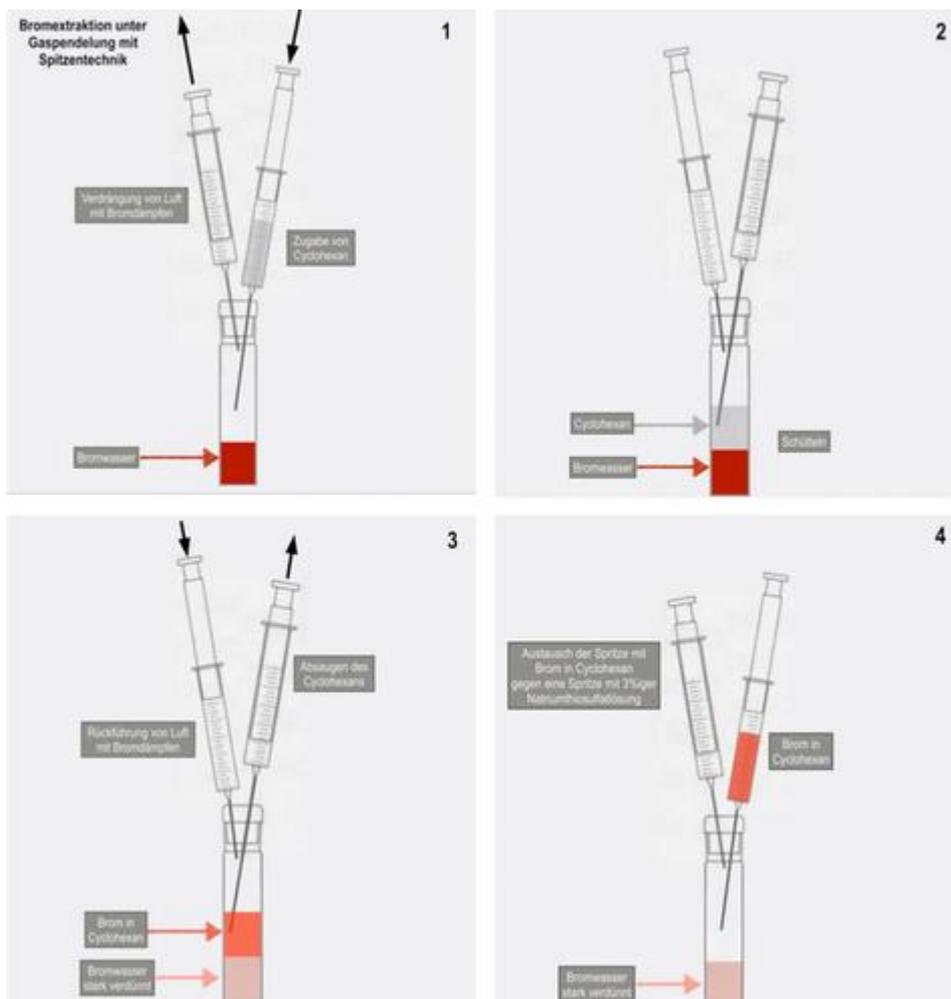


Abb. 2: Bromierung mit Bromwasser. Bromextraktion unter Gaspendingelung mit Spritzentechnik.

Mit Hilfe der Spritzen- bzw. der Medizintechnik [11] können viele sonst eher kritische Schulexperimente sicher im geschlossenen Verfahren durchgeführt werden. Damit können diese Experimente einfacher und kostengünstiger organisiert werden, als dies mit den traditionellen Glasapparaturen möglich ist. Ein Beispiel hierfür ist die radikalische Substitution mit Brom an Cyclohexan im Licht eines Overheadprojektors [12].

In Abb. 2 wird die Herstellung der Lösung von Brom in Cyclohexan im geschlossenen Verfahren schrittweise (1 bis 4) illustriert.

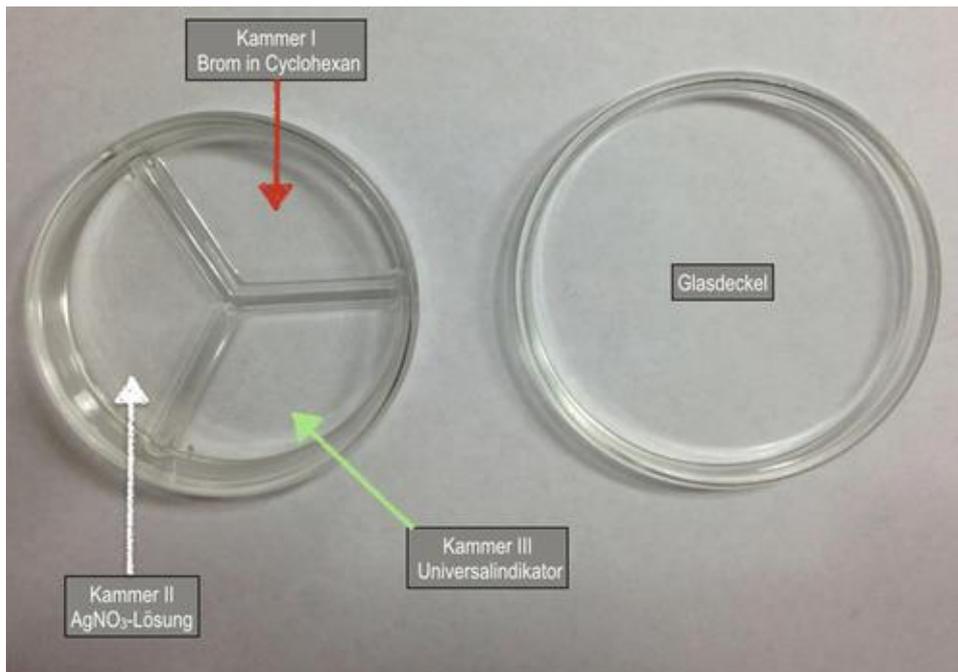


Abb. 3: Die dreigeteilte gläserne Petrischale für photochemisch gestartete chemische Reaktionen im komplett geschlossenen System. In Kammer I die radikalische Bromierung von Cyclohexan unter Entfärbung der Lösung. In den Kammern II und III Diffusion von Bromwasserstoffgas aus Kammer I und dessen Hydrolyse zu Bromwasserstoffsäure; in Kammer II Nachweis von gelösten Bromidionen durch Bildung eines gelblichen Silberbromid-Niederschlags und in Kammer III Nachweis der Säure durch die rote Färbung des Universalindikators.

Schülerinnen und Schüler dürfen keine Tätigkeiten mit lebensgefährlichen Stoffen durchführen. Aufgrund dieser Tätigkeitsbeschränkung sind die Reaktionen von Chlor oder Brom mit Natrium Lehrer- und damit Demonstrationsexperimente (RiSU, Tab. 3b). Aber auch diese Experimente können mit sehr kleinen Ansatzgrößen mittels Spritzentechnik durchgeführt werden. Der Reaktionsverlauf kann unter Verwendung geeigneter Vergrößerungs- und Präsentationstechnik für die Schülerinnen und Schüler im Unterricht erlebbar gemacht werden.

3 Die Gefährdungsbeurteilung

Zur sicherheitsgerechten Entwicklung oder Optimierung von traditionellen Schulexperimenten eignet sich das systematische Verfahren der Gefährdungsbeurteilung. Es ist für jede Unterrichtssituation, in der mit Gefahrstoffen umgegangen wird, oder bei denen Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden, eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen. Die Richtlinie für Sicherheit und Unterricht fordert, dass dabei nach der Technischen Richtlinie Gefahrstoffe zur Gefährdungsbeurteilung (TRGS 400), der technischen Richtlinie Gefahrstoffe über die Schutzmaßnahmen (TRGS 500) und der Technischen Richtlinie Gefahrstoffe zur Substitution (TRGS 600) vorgegangen wird. In der aktuellen TRGS 400 ist dargelegt, dass über die GHS-Kennzeichnung hinaus **alle** Eigenschaften, die einen Stoff zum Gefahrstoff machen, in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind. Die hierfür notwendigen Informationen sind in die Gefahrstoffliste aufzunehmen.

Zudem sind mit der Gefährdungsbeurteilung die Möglichkeiten der Substitution (Ersatzstoff- und Ersatzverfahrensprüfung) zu prüfen. Geht die Gefährdung über ein geringes Maß hinaus, ist das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung einschließlich der Substitutionsprüfung zu dokumentieren. In der TRGS 500 wird hierfür das S.T.O.P.-Prinzip beschrieben (Substitution, technische, organisatorische, persönliche Schutzmaßnahmen).

In Konsequenz ist auch bei Schulexperimenten mit Gefahrstoffen die Sicherheit vorrangig durch die Stoffauswahl vor der Festlegung von technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen zu schaffen. Zudem ist dort die Dichtigkeit von Anlagen (Versuchsaufbauten) zur Vermeidung einer Stofffreisetzung an diversen Beispielen (Arbeitsverfahren) qualitativ und quantitativ beschrieben.

In der TRGS 600 werden anhand des Spaltenmodells zur Substitution die Kriterien und die Vorgehensweise beschrieben, nach denen das S.T.O.P. -Prinzip umgesetzt bzw. die Ersatzstoff- und die Ersatzverfahrensprüfung vorgenommen werden soll. Wenn es möglich ist zwischen alternativen Stoffen zu entscheiden, ist hierfür die Höhe der Gefahr, die für jede Stoffgefahr in diesem Regelwerk festgelegt ist, so zu berücksichtigen, dass bei der finalen Versuchsvorschrift die verbliebenen Gefahren unter Einbeziehung der Gefahr durch das Verfahren minimiert sind (RiSU III-2, Ermittlung des Gefahrenpotenzials gem. CLP-VO/GHS) [13, 14].

Für den experimentellen Unterricht steht eine große Anzahl traditioneller und neuerer Unterrichtsentwürfe, Versuchsvorschriften und vorgefertigten Gefährdungsbeurteilungen zur Verfügung. Häufig stehen diese Materialien sogar zum kostenlosen Download aus dem Internet bereit. Ob die rechtlichen Vorgaben bei der Anfertigung der Gefährdungsbeurteilungen und Substitutionsprüfungen eingehalten sind, ist für die Lehrkräfte schwierig zu beurteilen. Für vorgefertigte Gefährdungsbeurteilungen gibt es bisher kein Gütesiegel, das die Umsetzung der oben genannten Anforderungen garantiert.

In der aktuellen Stoffliste DGUV-Information 213-098 [15] fehlen unter anderem zur Überprüfung der vorgefertigter Gefährdungsbeurteilungen oder zur Erstellung neuer Gefährdungsbeurteilungen:

- Hinweise über das Vorhandensein von hautresorptiven Stoffeigenschaften der DFG-MAK-Liste [16];
- die Flammpunkte, die zwecks Abschätzung der Brand- und Explosionsgefahren wesentlich sind;
- die Informationen über die Einträge in das Merkblatt zur Berufskrankheitenverordnung über die durch organische Lösungsmittel verursachte Entzündung von Hirn und Nervensystem (BK-Report 1/2018 – BK1317) [17];
- die Zuordnung der physikalisch-chemischen, der akuten und der chronischen Gesundheitsgefahren zu den amtlich festgelegten Gefahrenhöhen und die Information über die Höhe des temperaturabhängigen Freisetzungsvermögens der Reinstoffe und gegebenenfalls der Gemische gemäß dem GHS-Spaltenmodell zur Substitution.

Angesichts der unvollständigen Informationslage durch die Stoffliste DGUV-Information 213-098 ist es für die Lehrkraft häufig nicht einfach zu erkennen, ob dort alle relevanten Stoffeigenschaften angemessen berücksichtigt und die Substitutionsprüfungen sorgfältig durchgeführt wurden.

4 Gefahrstoffmanagement-Programme

Da durch die oben geschilderte mangelhafte Unterstützung die gründliche Erstellung oder Überprüfung von Gefährdungsbeurteilungen für Lehrkräfte zu einem Aufwand führen würde, der neben ihrer Unterrichtsverpflichtung kaum zu leisten ist, wurde das Programm Chemac_win entwickelt. Die Einträge der IFA Gefahrstoffliste sind hier wie im Programm D-GISS bereits eingepflegt. Dieses Programm unterscheidet sich von allen anderen Angeboten, da es alle Stoffgefahren einschließlich des temperaturabhängigen Freisetzungsvermögen und die verwendeten Verfahren gemäß den Vorgaben der TRGS 400, 500 und 600 einer diskreten Gefahrenhöhe zuordnet. Somit kann nach der Auswahl der Stoffe, die als Edukte, Produkte, Lösungsmittel und Hilfsstoffe an einem Schulversuch beteiligt sind eine Gefährdungsbeurteilung einschließlich der Substitutionsprüfung mit sehr kurzem Zeitaufwand oder sogar unterrichtsbegleitend als Gefährdungsbeurteilung per Mausklick vorgenommen werden [18].

Die Sachgruppe Gefahrstoffe des DGUV e.V. stellt im Rahmen der kostenfreien Datenbank DEGINTU einen Pool mit allgemein zugänglichen Versuchsvorschriften mit impliziten Gefährdungsbeurteilungen zur Verfügung [19]. Dieses Angebot „soll die Lehrkräfte dabei unterstützen, den Experimentalunterricht effizient vorzubereiten und sicher durchzuführen, so dass Unfälle und Erkrankungen vermieden werden“. Bei den derzeit 549

Versuchsvorschriften und Gefährdungsbeurteilungen, die bei DEGINTU abgerufen bzw. fertiggestellt werden können, gibt es zumeist keine durch die Dokumentation nachvollziehbaren Ersatzverfahrens- oder Ersatzstoffprüfung. Informationen über die Gefahrenhöhe fehlen dort wie zumeist auch die Hinweise auf die gefährlichen Eigenschaften, die nicht durch die Kennzeichnung zum Ausdruck gebracht werden.

Während die bei DEGINTU eingestellten Gefährdungsbeurteilungen jeweils durch die Lehrkraft für sich abgeschlossen werden können, indem sie die Plausibilität der bei DEGINTU abgebildeten Informationen und die Maßnahmen in der Versuchsbeschreibung mit einem „Ja“ bestätigt, bietet DEGINTU nach der eigenen Beschreibung [20] keine ausreichende Hilfe an, damit sowohl für die traditionellen Experimente, die nicht in die öffentliche Datenbank aufgenommen sind, als auch für neu entwickelte Experimente rechtssichere Gefährdungsbeurteilungen selbst erstellt werden können. In der Beschreibung zu DEGINTU werden keine operationalisierbaren Kriterien für die Erstellung rechtssicherer Gefährdungsbeurteilungen genannt, die die DGUV anstatt des GHS-Spaltenmodells zur Substitution verwendet. Die aktuelle Auswahl der vorgestellten Versuchsvorschriften ist intransparent und berücksichtigt neue Konzepte nicht, wie z. B. Experimente in der Inverter-Mikrowelle [21], mit Heißluftgebläsen [1] oder im Ultraschallbad [22].

Bis jetzt steht die Überarbeitung der systematischen Schwächen in DEGINTU durch die DGUV noch aus. Trotzdem spricht sie im Rahmen ihrer Kompetenz als gesetzlicher Unfallversicherer ihren allgemein zugänglichen Versuchsvorschriften die pauschale verlässliche Rechtssicherheit gegenüber den Anforderungen des Arbeitsschutzgesetzes und der Gefahrstoffverordnung beim anwendungsgerechten Experimentieren im Unterricht zu.

Es besteht durch diese Rahmensetzung die konkrete Gefahr, dass die kommerziellen, aber besser geeigneten Gefahrstoffmanagementprogramme durch DEGINTU vom Markt verdrängt werden, ohne dass bis dahin das Angebot von DEGINTU die schnelle, unkomplizierte und umfassende Unterstützung vorsieht, wie es beispielsweise Chemac_win bietet.

Dies würde den Bemühungen, eigene Schulexperimente zu entwickeln, eine wichtige Grundlage nehmen und kann so langfristig den Fortschritt bei Schulexperimenten behindern. Trotz einer Fülle von vorhandenen Versuchsvorschriften, bei denen die o.a. neueren Konzepte verwendet werden, fällt auf, dass bei DEGINTU bisher keine diesbezüglichen Versuchsvorschriften mit impliziter Gefährdungsbeurteilung zu finden sind. Werden für solche Versuchsaufbauten und Versuchsdurchführungen keine allgemein zugänglichen Versuchsvorschriften auf DEGINTU aufgenommen, besteht dort auch keine Option auf die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen mit verlässlicher Rechtssicherheit beim anwendungsgerechten Experimentieren. Setzt sich DEGINTU trotz dieser Auffassung am Markt durch, würde die Freiheit der Lehre von der DGUV willkürlich durch Unterlassen eingeschränkt werden können.

Die gesetzliche Unfallversicherung hat die Aufgabe mit allen geeigneten Mitteln Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten sowie arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren zu verhüten [23]. Demzufolge sollte jetzt vorrangig von ihr die Stoffliste DGUV-Information 213-098 mit allen Informationen ausgestattet werden, die für die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen notwendig sind (RiSU, I-0). Außerdem wäre es an der Zeit, dass von der DGUV transparente Kriterien, bevorzugt als detaillierte Anleitung für die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen für den Unterricht mit Gefahrstoffen erstellt werden, die auch an allen Gefährdungsbeurteilungen aus DEGINTU modellhaft nachvollzogen werden können.

Da die eigene rechtssichere Gefährdungsbeurteilung stets die Tätigkeitsbeschränkungen berücksichtigt und die Substitutionsprüfungen [24] in Form von systematischen Ersatzstoff- und Ersatzverfahrensprüfungen beinhaltet, bewirken weitere Verbote und Vorgaben für die verantwortungsbewusst geplanten Schulexperimente grundsätzlich keinesfalls mehr Sicherheit, sondern können zu einem trügerischen Gefühl externer Verantwortung für den eigenen Unterricht führen.

Die Datenbank DEGINTU könnte bei der Entwicklung des eigenen Unterrichts mit Gefahrstoffen zukünftig eine wichtige Unterstützung bieten, wenn für die in der Datenbank aufgenommenen Stoffe über die Stoffgefahren der H-Sätze und der Tätigkeitsbeschränkungen hinaus auch alle Eigenschaften berücksichtigt wären, die diese Stoffe zu Gefahrstoffen machen und sie die Erstellung der obligatorischen Substitutionsprüfungen konstruktiv unterstützen würde (TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung“, 5.3 Weitere relevante stoffbezogene Informationen und RiSU (2019), I-3.4, Maßnahmen der Gefahrstoffverordnung).

Da DEGINTU bisher diese Erwartungen, wie oben dargelegt, zurzeit nicht erfüllt, ist man bis auf weiteres bei der schnellen eigenen Erstellung neuer rechtssicherer Gefährdungsbeurteilungen auf Computerprogramme wie das Gefahrstoffmanagementsystem CHEmac_win angewiesen.

Einerseits führt die unbedachte und dadurch sicherheitsgefährdende Verwendung von Haushaltschemikalien wie Brennspritus und Sanitärreinigern und von Baumarkt- bzw. Campingbedarfs-Produkten wie Kartuschenbrennern [25] (RiSU, I-5.4 Kartuschenbrenner) gelegentlich zu schweren Unfällen. Andererseits sind angehende Lehrkräfte oftmals den Anforderungen des experimentellen Unterrichts mit Gefahrstoffen nicht gewachsen, da z. B. die Handhabung von Brom oder einer Wasserstoffflasche nicht an allen Universitäten gelehrt und eingeübt werden. Dies deutet auf eine ungünstige Heterogenität bei den Lehramtsstudiengängen hin. Die Arbeitsgruppe Experimentalunterricht der Fachgruppe Chemieunterricht hat deshalb einen Katalog von experimentell-praktischen Kompetenzen zusammengestellt, über die Absolventinnen und Absolventen des Lehramts Chemie nach Abschluss ihrer universitären Ausbildung bundeseinheitlich verfügen müssen. Die

Studierenden sind demzufolge zu befähigen, eigene qualifizierte Gefährdungsbeurteilungen unter Berücksichtigung der S.T.O.P.-Regel und des Spaltenmodells zur Substitution schrittweise zu erstellen. Die Nutzung vorgefertigter Gefährdungsbeurteilungen ohne transparente Stoffauswahl bzw. ohne transparente Ersatzstoffprüfungen eignen sich hierfür so wenig wie die durchgehende Benutzung des Taschenrechners zum Erwerb der Befähigung zum Kopfrechnen.

5 Fazit

Im Aufsatz „Experimentieren mit Gefahrstoffen und Experimentalkompetenz – Eine fachdidaktische Stellungnahme“ [26] wird die fachlich fundierte sichere Kompetenz beim Experimentieren als Ziel einer gelungenen Ausbildung zur Chemielehrkraft beschrieben. Hinzukommen müssen jedoch noch die Kenntnis über die aktuellen rechtlichen Vorgaben einschließlich der Tätigkeitsbeschränkungen und die routinierte Fähigkeit, anhand der eigenen Gefährdungsbeurteilung den Experimentalunterricht rechtssicher zu entwickeln, zu dokumentieren und durchzuführen. Diese Fähigkeiten sind nicht nur die Grundlagen für authentischen und guten Unterricht, sondern sie schaffen die Voraussetzung dafür, dass für den experimentellen Unterricht mit Gefahrstoffen langfristig die Freiheit der Lehre gelebt werden kann.

6 Literatur

- [1] Klemeyer, H. J. (2008). Freihandexperimente zum Thema Ester, Chemkon 15/2,85–86
- [2] Fucia, D. (2007). Begründung für den Einsatz von Schülerexperimenten im Chemieunterricht; Akademiebericht Nr.434: „Experimentelle Aufgabenstellungen im Chemieunterricht“, 2008, Hrsg.: ALP Dillingen a. d. Donau.
- [3] Stellungnahme zu baulichen Voraussetzungen für den Experimentalunterricht an Schulen (2018):
https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Chemieunterricht/PDF/Stellungnahme_FGCU_Fachra__ume_2018.pdf (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [4] Ruppertsberg, K. (2015). Ist elementares Brom in schulischen Chemiesammlungen nötig, Nachr. Chem. 63, 540–542, DOI 10.25656/01:12299.
- [5] Seilnacht, T. (2015). Experimente mit Brom an Schulen sind zu kostspielig, Nachr. Chem. 63,892.
- [6] Richtlinie für Sicherheit im Unterricht, (RiSU), (2019), siehe
https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinie_zur_Sicherheit_im_Unterricht
- [7] Täuscher, E., Weiß, E. (2015). Brom–aber selbstverständlich, Nachr. Chem. 63, 893.
- [8] DEGINTU, Versuchsbeschreibung und Gefährdungsbeurteilung –Reaktion von Bromid mit Bromatlösung: <https://degintu.dguv.de/experiments/278> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020)

- [9] Proske, W. et al. (2019). Herstellung von Bromwasser in der Schule, Chemkon 26/4,165–168.
- [10] Klemeyer, H. (2017). Sicheres Experimentieren im Chemieunterricht. Praxis der Naturwissenschaft –Chemie in der Schule 1/2017, 47/49; Klemeyer H. (2018). Sicheres Experimentieren–Das Ausgasen von Gefahrstoffen aus ihren wässrigen Lösungen und ihre Kennzeichnung. <https://www.biologie.uni-hamburg.de/einrichtungen/ihw/download/180913-hjklemeyer-2018-sicheres-experimentieren.pdf>. (letzter Zugriff am 01. Juli 2020); Klemeyer, H. J. (2019). Sicheres Experimentieren–Das Ausgasen von Gefahrstoffen aus ihren wässrigen Lösungen, Chemkon,26/4, 171–172.
- [11] Brand, B. H. (2013). <http://www.bhbrand.de/downloads/lowcostskript27506.pdf> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [12] Klemeyer H. (2017). Versuchsbeschreibung über die radikalische Substitution an Cyclohexan,
http://klemeyer.net/Explosionsschutz/Ersatzstoffprufung_files/RadikalischeSubstitution vonCyclohex-an.pdf (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [13] Die Technischen Richtlinien Gefahrstoffe(TRGS):400 „Gefährdungsbeurteilung“:
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-400.pdf>(letzter Zugriff am 01.Juli2020);500 Schutzmaßnahmen, 5Rang-folge der Schutzmaßnahmen-„STOP–Prinzip“ und Anlage2:<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-500.pdf> (letzter Zugriff am 01.Juli2020);600 „Substitution“, Anlage2,Spaltenmodell,
18/20:<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-600.pdf> (letzter Zugriff am 01.Juli 2020).
- [14] GHS-Spaltenmodell zur Suche nach Ersatzstoffen (2020):
<https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3736>(letzter Zugriff am 01.Juli2020).
- [15] DGUV-Information 213-098. https://degintu.dguv.de/media/DEGINTU_Stoffliste_113-018.pdf (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [16] MAK- und BAT-Werte-Liste 2019:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527826155> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [17] Gefahrstoffverordnung §6 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung,10/13:
<https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/Arbeiten-mit-Gefahrstoffen/pdf/Gefahrstoffverordnung.pdf> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020); BK 1317, Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösungsmittel oder deren

Gemische (BK Report 1/2018):

http://publikationen.dguv.de/dguv/udt_dguv_main.aspx?FDOCUID=26950 (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).

- [18] Gefahrstoffdatenbank mit Gefährdungsbeurteilungs-Editor nach GHS für den Schulbereich: <http://www.chemac-win.com> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [19] Beschreibung des Sachgebiets Gefahrstoffe im Fachgebiet Rohstoffe und chemische Industrie des DGUV: <https://www.dguv.de/fb-rci/sachgebiete/ghs/index.jsp> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [20] DEGINTU, Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung: Liste der hinterlegten Versuchsvorschriften, <https://degintu.dguv.de/experiments> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020); Anleitung, Seite 6/7, nur bei den bereits vom DGUV der Allgemeinheit zugänglich gemachten Versuchsvorschriften kann durch die personalisierte Eingabe die Verpflichtung nach den einschlägigen Gesetzen und Verordnungen (insbesondere dem Arbeitsschutzgesetz und der Gefahrstoffverordnung) erfüllt werden. Seite 8, zusätzlich zu den von DEGINTU angebotenen Stoffdaten müssen demzufolge bei eigenen Schalexperimenten weitere Stoffeigenschaften zur Erstellung einer rechtssicheren Gefährdungsbeurteilung recherchiert und berücksichtigt werden, <https://degintu.dguv.de/media/AnleitungDEGINTU20180323.pdf> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [21] Ruppertsberg, K., Klemeyer, H. (2020). Lactose-Schnelltest: Wie kann man in 60 Sekunden Milchzuckernachweisen? DOI 10.25656/01:21549.
- [22] Lühken, A., (1999). Von der Lumineszenz der Schwefelsäure bis zur Oxidation von Iodid. Einfache Versuche im Ultraschallbad, <https://doi.org/10.1002/ckon.19990060405> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [23] Siehe §1 (1) im SGB VII: <https://www.sozialgesetzbuch-sgb.de/sgbvii/1.html> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [24] Klemeyer, H. (2015). Stoffgefahren im GHS-Spaltenmodell (TRGS600) und ihre Kennzeichnung (TRGS201) ISBN:9783942530026 <http://www.blume-im-inter.net/media/pdf/Erklaerung.pdf> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020); Klemeyer, H. (2020). Sicheres Experimentieren – Die Ersatzstoff- und Ersatzverfahrensprüfung – Robuste Schulversuche für den eigenen Unterricht (2020). Chemkon 27, 1–5. DOI 10.1002/ckon.201900063 (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).
- [25] <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/mainz/Drei-Verletzte-Verpuffung-im-Chemieunterricht-in-Bingen,verpuffung-schule-100.html> (letzter Zugriff am 01. Juli 2020); Unfall mit einem Kartuschenbrenner: <https://www.uk->

nord.de/fileadmin/user_upload/pdf/sicherheitstipps/Sicherheitstipp_54.pdf (letzter Zugriff am 01. Juli 2020).

- [26] Friedrich, J. (2016). Gefahrstoffe und Experimentalkompetenz in der Schule. Nachr. Chem. 64, S.145; Friedrich, J. (2018). Experimentieren mit Gefahrstoffen und Experimentalkompetenz –Eine fachdidaktische Stellungnahme, CHEMKON,25/6, 243–244.

Hinweis: Der Artikel stellt den Stand zum Zeitpunkt seines Entstehens im Jahr 2018 dar. In der Zwischenzeit könnten gefahrstoffrechtliche Änderungen eingetreten sein, die im Bedarfsfall anhand einer aktuellen Gefahrstoffdatenbank abzugleichen sind.

Die Autoren:



horst.klemeyer@uni-hamburg.de

Horst Klemeyer, Diplom-Chemiker, studierte nach der Promotion an der TUB Berlin und seinem Postdoc an der Ohio State University in Göttingen für das gymnasiale Lehramt für Chemie und Physik. Nach den beiden Staatsexamina ist er Lehrer am Gymnasium Neu Wulmstorf, Fachkraft für Arbeitssicherheit an der niedersächsische Landesschulbehörde und seit 2017 Lehrbeauftragter für Arbeitswissenschaften an der Universität Hamburg. Sein Schwerpunkt liegt auf Forschung und Lehre zum sicheren Experimentalunterricht.



klaus.ruppertsberg@uni-flensburg.de

Klaus Ruppertsberg, Jahrgang 1959, verfügt über 24 Jahre Unterrichtserfahrung als Chemie- und Biologielehrer an verschiedenen Schulformen in mehreren Bundesländern. Von 2014 bis 2021 war er an das Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel abgeordnet. In Kooperation mit der Europa-Universität Flensburg legte er 2021 seine Promotion zum Thema „Nachweis von Lactose und Maltose im Kontext Schule“ ab. Er befasst sich vor allem mit Sicherheit und der Aussagekraft von Experimenten im Unterricht.