



The Deflagrating Davy Lamp – Renaissance eines chemischen Kabinettstücks zur Substitution von Gefahrenstoffen im zeitgemäßen Schulversuch

Marco Reinmold* und Arnim Lühken*^[a]

Zusammenfassung: Im Experimentalunterricht wird die heterogene Katalyse oft am Experiment der oszillierenden Verpuffung eines Methanol-Luftgemisches an einem Kupfer- oder Platindraht vorgestellt. Dieses Experiment wird seit etwa 30 Jahren von verschiedenen Autor:innen weiterentwickelt. Jedoch birgt die Verwendung von Methanol in diesem Experiment einige Gefahren, da unabhängig von dessen toxischer Wirkung bei der Reaktion Methanal entsteht. Aufgrund der Gefahreinstufungen von Methanol und Methanal ist die Durchführung dieses Experimentes im Chemieunterricht als kritisch zu bewerten. In diesem Beitrag wird nun durch Rückgriff auf einen historischen Erkenntnisstand zur heterogen-katalytischen Wirkung des Platins ein neuartiger Schulversuch zur oszillierenden Reaktion von Alkanen mit Luftsauerstoff vorgestellt. Die Verwendung von haushaltsüblichem Waschbenzin ermöglicht die Durchführung als Schülerexperiment ab der 4. Klasse und vereinfacht die Handhabung des Versuchs.

Stichworte: Heterogene Katalyse · Oszillierende Reaktion · Historischer Erkenntnisstand · Substitution

The Deflagrating Davy Lamp – Renaissance of an chemical masterstroke to substitute hazardous substances in modern experimental courses

Abstract: In experimental courses, the experiment of the oscillating deflagration of a methanol-air mixture on a copper or platinum wire often introduces heterogeneous catalysis. Various authors have developed this experiment for about 30 years. However, regardless to its toxic effects the use of methanol in this experiment poses some hazards, e.g. the formation of formic aldehyde during the reaction. Due to the hazard classification of methanol and formic aldehyde, the realization of this experiment in chemistry classes should be considered as critical. This post now presents a new school experiment on the oscillatory reaction of alkanes with atmospheric oxygen by resorting to historical context-knowledge on the heterogeneous catalytic effects of platinum. The use of household petroleum ether also allows students to do the experiment from the 4th grade onwards and simplifies the handling.

Keywords: heterogeneous catalysis · oscillatory reaction · historical context-knowledge · substitution

[a] M. Reinmold, A. Lühken
Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Chemie
Max-von-Laue-Straße 7
60438 Frankfurt am Main
* E-Mail: chemiedidaktik@uni-frankfurt.de
reinmold@chemie.uni-frankfurt.de

1. Einleitung

Einer der ersten Demonstrationsversuche der heterogenen Katalyse an einem Platindraht ist „The Repeating „Exploding“ Flask [...]“, welcher 1993 von R. Battino, T. Letcher und D. Rivett publiziert wurde [1]. Im Experiment werden zuvor erwärmte Alkohole von Methanol bis 1-Propanol an einem Platindraht in einem Erlenmeyerkolben mit Luftsauerstoff exotherm oxidiert. Bei der Oxidation kommt es zu einer Verpuffung des Gasgemisches im Inneren des Erlenmeyerkolbens. Ein eingehängtes Blechstück sorgt bei dem Aufbau für den nötigen Kamineffekt, sodass die Reaktion oszilliert. Die durch einen glühenden Kupferdraht katalysierte oszillierende Oxidation von Methanol mit Luftsauerstoff war zu damaliger Zeit bereits als „Methanalverpuffung“ bekannt [2]. In dem Versuch heizt sich eine zuvor erwärmte Kupferspirale bei der katalytischen Oxidation von Methanol auf, bis die Zündtemperatur für das Gasgemisch aus Methanol, Methanal und Sauerstoff erreicht ist. Auch bei dieser Reaktion kommt es zu einer Verpuffung des Gasgemisches, welche durch die Kaminwirkung eines in den Erlenmeyerkolben eingehängten Bleches oszilliert. Die beiden genannten klassischen Experimente zur heterogen-katalytischen Oxidation von Alkoholen in der Gasphase wurden seitdem fortwährend weiterentwickelt.

Der Versuch „Oszillierender Platindraht“ aus dem Werk „Chemische Kabinettstücke [...]“ beschreibt analog zu „The Repeating „Exploding“ Flask“ die Oxidation von Methanol an einem Platindraht in einem Erlenmeyerkolben [3]. Die Oxidation oszilliert auch bei diesem Versuchsaufbau, welcher auf ein Metallblech zur Einstellung des Kamineffektes verzichtet. Methanol wird auch hier an einem zuvor erwärmten Platinmotiv katalytisch oxidiert. Die Reaktion oszilliert indem sich der Platindraht während der katalytischen Prozesse aufheizt und schließlich das Methanol-Luft-Gemisch im Erlenmeyerkolben verpufft. Als weiteren Versuch zur heterogenen Katalyse ist das „Glühende Platinherz“ zu nennen [4]. Bei diesem Aufbau wird an einem zuvor erhitzten und zu einem Herz gewundenen Platindraht Methanol in der Gasphase oxidiert. Auch hier wird eine oszillierende Reaktion beschrieben, bei der sich „Glüh- und Verpuffungsfolgen“ abwechseln. Der Versuchsaufbau wurde hinsichtlich einer höhenverstellbaren Aluhalterung zur Aufhängung des Platinherzes und der Nutzung eines DURAN-Glaszylinders anstelle eines Erlenmeyerkolbens im Vergleich zum „Oszillierenden Platindraht“ modifiziert. Das „Glühende Platinherz“ wird ebenso im Sammelwerk „Chemisches Feuerwerk“ vorgestellt [5]. Der Versuch wird hier um ein Zusatzexperiment erweitert, durch welches die Temperatur des glühenden Platindrahts abgeschätzt werden kann. Vornehmlich wird in den Experimenten Methanol als Ausgangsstoff verwendet, bei dessen Oxidation am Katalysator Methanal entsteht. Für Methanol ist trotz der Mög-

lichkeit des Einsatzes ab der 4. Klasse aufgrund seiner Toxizität eine besondere Substitutionsprüfung erforderlich [6].

In diesem Beitrag wird nun ein neuartiger Schulversuch auf Basis der historischen Befunde von Sir Humphry Davy zur heterogen-katalytischen Oxidation von Alkanen an einem Platindraht vorgestellt. Sir Humphry Davy untersuchte bereits Ende des 18. bis Anfang des 19. Jh. die katalytische Wirkung von Platindraht gegenüber Gemischen von Kohlenwasserstoffen, Alkoholen mit Luftsauerstoff [7]. Nach Davy glüht ein zuvor erhitzter Platindraht in diesen Gemischen ohne zusätzliche Energiezufuhr weiter. Die experimentellen Erkenntnisse waren zu damaliger Zeit vor allem für den Bau von Grubenlampen (Sicherheitslampen für den Bergbau) von großer Bedeutung [8]. Der in diesem Beitrag vorgestellte Versuchsaufbau gleicht dem des klassischen Experiments von R. Battino, T. Letcher und D. Rivett. Durch den Aufbau wird eine oszillierende Oxidationsreaktion der Alkane ermöglicht und vorher verwendete Gefahrenstoffe durch Alkane und Gemische von Alkanen substituiert. Dabei bietet die Substitution von Methanol durch Alkane mehrere Vorteile. Zum einen müssen die Alkane zu Beginn der Reaktion nicht durch eine externe Wärmequelle erhitzt werden – das bloße Erwärmen des Reaktionsgefäßes mit den Händen reicht hierbei vollkommen aus. Zum anderen besitzt das Experiment durch den Einsatz von Alkanen als Edukte ein geringeres Gefährdungspotential, sodass der Versuch problemlos an Schulen auch von Schüler:innen durchgeführt werden kann. Des Weiteren können die Schüler:innen ihre Erkenntnisse über die Struktur-Eigenschafts-Beziehung zwischen Alkanen unterschiedlicher Kettenlänge sowie ihr Wissen über oszillierende Reaktionen durch ihre Beobachtungen und Deutungen weiter ausbauen.

2. Verpuffung verschiedener n-Alkan-Luft-Gemische am Platindraht (Oszillierende Reaktion)

Material: 50-ml-Erlenmeyerkolben mit weitem Hals (\varnothing : 4 cm), Teelichthülle (D \times H: 5,5 cm \times 2 cm), Bunsenbrenner, Stift, Tiegelszange, Schere, Platindraht (\varnothing : 0,5 mm), Holzunterlage.

Chemikalien: n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan, n-Oktan, Leichtbenzin, Waschbenzin.

Durchführung: Der Platindraht wird an einem Ende um einen Glimmspan mit einem Durchmesser von ca. 0,4 cm zu einer Spirale mit ca. 7 Windungen gewunden. Das Metallblech wird aus einer alten Teelichthülle (D \times H: 5,5 cm \times 2 cm) zugeschnitten und einmal in der Mitte gefaltet (Abb. 1 und 2). Um die Beweglichkeit der beiden aufeinanderliegenden Bleche zu minimieren, werden diese an der unteren Kante nochmals zusammengefaltet. Das Blech kann mit einem Stift geglättet werden. Da die Schnittkanten scharf sind, sollten die Schritte zur Herstellung des Blech-Kamins vorsichtig durchgeführt werden. Die Alkane werden in ihrer absteigenden Kettenlänge einzeln den Boden des Erlenmeyerkolbens bedeckend ca. 0,5 cm hoch eingefüllt und der Erlenmeyerkolben anschließend auf ein Holzbrett gestellt. Das Teelichtblech wird schräg zur Höhe in den Erlenmeyerkolben eingeführt, sodass eine große und eine kleine Öffnung am oberen Ende des Erlenmeyerkolbens entstehen (Abb. 3). Die Platinspirale wird nun mit einer Tiegelszange in die rauschende Flamme des Bunsenbrenners gehalten, bis zum Glühen erhitzt und durch die kleine Öffnung in den Erlenmeyerkolben getaucht. Sobald der Platindraht beim Eintauchen in den Erlenmeyerkolben stark aufglüht, wird der Abstand zwischen der Drahtspirale und der Flüssigkeitsoberfläche am Erlenmeyerkolben markiert. Der Platindraht wird anschließend am oberen Ende so gebogen,

dass er mit der die Spirale mittig zur Höhe der zuvor gemachten Markierung im Erlenmeyerkolben hängt. Der gebogene Platindraht wird nun erneut erhitzt und durch die kleine Öffnung in den Erlenmeyerkolben gehängt.



Abb. 1: Zuschneiden einer Teelichthülle.



Abb. 2: Teelichthülle gefaltet.

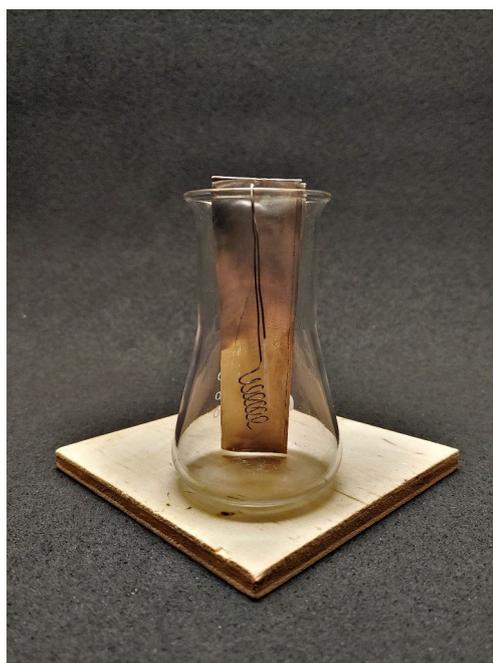


Abb. 3: Platindraht im Reaktionsgefäß mit Kamin.

Beobachtung: Beim ersten Eintauchen des Platindrahts in den Erlenmeyerkolben glüht dieser stark auf und kann sogar die Gasphase im Erlenmeyerkolben entzünden. Wird der Platindraht das zweite Mal auf Höhe der gesetzten Markierung in den Erlenmeyerkolben gehängt, glüht er am oberen Ende zunächst schwach auf. Das Glühen wandert die Windungen des Platindrahtes hinab, wobei der Draht immer heller leuchtet, bis sich das Gasgemisch im Inneren des Erlenmeyerkolbens mit einem „ploppenden“ Geräusch entzündet. Nachdem das Gasgemisch entflammt ist, glüht der Platindraht schwach bis kaum wahrnehmbar nach. Die Flamme erlischt kurz nach der Entzündung der Gasphase, woraufhin der Platindraht am oberen Ende wieder anfängt leicht aufzuglühen. Das Glühen wandert erneut die Windungen hinab, wird dabei immer heller, bis der Draht die Gasphase im Erlenmeyerkolben entzündet. Dieses oszillierende Entzünden der Alkane am Platindraht kann bei n-Oktan bis n-Hexan bis zu einer Stunde beobachtet werden.

Nachfolgende Tabelle gibt die Anzahl der Verpuffungen des Gasgemisches in einem Intervall vom 10 Minuten sowie die gemessene Höhe der für das Einhängen des Platindrahtes gesetzten Markierungen wieder (Tab. 1).

Bei Leicht- und Waschbenzin kommt es kurz nach dem Eintauchen in den Erlenmeyerkolben zur spontanen Verpuffung des Gasgemisches am aufglühenden Platindraht. Die Reaktion oszillierte auch in diesem Fall. Unterschiede gibt es lediglich hinsichtlich der Eintauchtiefe des Platindrahtes (Abb. 4 und 5).

Tab. 1: Abhängigkeit der Eintauchtiefe der Platinspirale und der Anzahl der Verpuffungen von der Art des Alkans.

Alkan-/gemisch	Abstand zur Flüssigkeitsoberfläche in [cm]	Anzahl der Verpuffungen pro 10 min
n-Oktan ^[a]	1,5	32
n-Heptan	2,5	23
n-Hexan ^[b]	3,5	13
n-Pentan ^[c]	5,1	stetiges Entflammen
Leichtbenzin	4,2	20
Waschbenzin	2,1	29
„Atomic“ ^[d]		

^[a] n-Oktan entflammte erst nach einer Zeit von 3,5 – 4 Minuten nach dem Eintauchen. ^[b] Aufgrund der Toxizität von n-Hexan ist von dessen Einsatz im Unterricht abzuraten. ^[c] n-Pentan entflammte sofort. Die Flammen müssen mit einem Keramikdrahtnetz gelöscht werden. ^[d] Waschbenzin „Atomic“, Fa. Heinz Tröber GmbH & Co. KG, Deutschland: Hamburg.



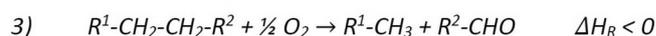
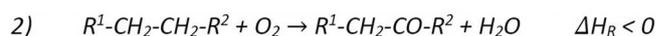
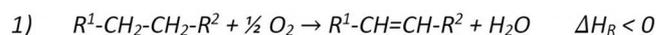
Abb. 4: Glühender Platindraht im Erlenmeyerkolben mit Waschbenzin.



Abb. 5: Glühender Platindraht im Erlenmeyerkolben mit n-Hexan.

Deutung: Das Platin katalysiert in diesem Versuch die Oxidation der Kohlenwasserstoffe durch Luftsauerstoff. Hierbei handelt es sich um eine oszillierende Reaktion, welche am Beispiel der „Pulsierenden Platinspirale im Feuer spuckenden Erlenmeyer“ [9] ausführlich erläutert wurde. Der strukturbildende Prozess der oszillierenden katalytischen Oxidation der n-Alkane an einem Platindraht kann an dem hier vorgestellten Versuch qualitativ beschrieben werden. Aufgrund der exothermen Reaktion erwärmt sich der Platindraht zunächst stetig, bis die Zündtemperatur für das Alkan-Luft-Gemisch erreicht ist und das Gasgemisch verpufft. Direkt nach der Verbrennung ist nicht mehr genügend dampfförmiges Alkan und Luftsauerstoff im Inneren des Kolbens vorhanden, sodass die Flamme der Verpuffung erlischt und der Platindraht abkühlt. Reichert sich die Gasphase um den Draht daraufhin wieder mit dem Alkan-Luft-Gemisch an, kommt es erneut zur exothermen Oxidation am Platindraht und er glüht erneut auf. Der Zyklus der Oszillation, bestehend aus dem Aufglühen der Platinspirale, dem Entzünden des Gasgemisches im Inneren des Kolbens, der Verbrennung des Gasgemisches und dem Erlöschen der Flamme, wiederholt sich solange genügend n-Alkane als Edukte im Erlenmeyerkolben zur Oxidation zur Verfügung stehen. Das Aufglühen des Platindrahtes bis zur Verpuffung visualisiert autokatalytisch ablaufende exotherme Prozesse der Oxidation. Als Mechanismus der Oxidation können radikalische Kettenreaktionen angenommen werden [10]. Diese sind vor allem bei höheren Alkanen komplex, weshalb hier vereinfacht drei Möglichkeiten angegeben sind. Die Reaktionsenthalpien der ablaufenden Oxidationsreaktionen können mittels Bindungsenergien abgeschätzt werden [11].

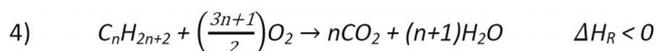
Mögliche Oxidationsreaktionen:



$$R^1 = C_n H_{2n+1}, R^2 = C_m H_{2m+1} \quad \text{mit } m, n \in \mathbb{N}_0 : m + n \leq 6$$

Die Verbrennung entspricht einem autoinhibitorischen Prozess, da durch sie Edukte verbraucht werden, welche eine weitere Verbrennung bis hin zum Erlöschen der Flamme und dem Abkühlen des Platindrahts unterdrücken. Auch die Verbrennung als Totaloxidation ist hierbei exotherm.

Totaloxidation:



Aufgrund der unterschiedlichen Kettenlänge der Alkane besitzen diese bei Raumtemperatur und unter Atmosphärendruck einen unterschiedlichen Dampfdruck, was durch das Setzen der Markierungen beobachtet werden kann. Der Dampfdruck kann für alle verwendeten Alkane sowie Leichtbenzin nachgeschlagen werden [12], was die Eintauchtiefe des Platindrahtes in den Erlenmeyerkolben erklärt. n-Oktan besitzt den niedrigsten Dampfdruck, sodass die Sättigungsgrenze des Oktan-Dampfes bei 1,5 cm über der Flüssigkeitsoberfläche des n-Oktans im Erlenmeyerkolbens liegt. Aufgrund der vergleichsweise hohen Kettenlänge benötigt n-Oktan ca. 4 Minuten, bis die flüssige Phase von der leicht glühenden Platinspirale aufgewärmt wird, sodass der Raum unterhalb der glühenden Platinspirale ausreichend mit Luftsauerstoff und n-Oktan-Dampf gesättigt ist. Hat die Platinspirale im Moment der Sättigung die nötige Zündtemperatur erreicht, kommt es zu einer Verpuffung des n-Oktan-Luft-Gemischs. Die Beobachtungen bei n-Heptan und n-Hexan und deren Erklärung gleichen denen des n-Oktans. n-Pentan hingegen besitzt den höchsten Dampfdruck der verwendeten Alkane, sodass die Sättigungsgrenze des Pentan-Dampfes im Erlenmeyerkolben 3,6 cm über der des n-Oktans liegt. Entzündet sich das n-Pentan-Luft-Gemisch an der Platinspirale auf Höhe der gesetzten Markierung, kann genügend Luft nachströmen, sodass die Verbrennung des n-Pentan-Dampfes von dieser dauerhaft unterhalten wird. Bei den höheren Alkanen wirkt der Kamineffekt, durch den ausreichend Luftsauerstoff von außen in das Innere des Erlenmeyerkolbens einströmen kann, aber nicht zu viel, um die Verbrennung nach der Verpuffung fortlaufend unterhalten zu können. Die Anzahl der Verpuffungen kann durch die unterschiedliche Stöchiometrie der Verbrennung der Alkane mit Luftsauerstoff erklärt werden. Zudem steigt die Oxidierbarkeit der Alkane mit der Kettenlänge, was unter anderem in der besseren Abstraktionsfähigkeit der Wasserstoffatome in langkettigen Alkanen begründet liegt [13]. Während der Verpuffung wird bei langkettigen Alkanen zudem mehr Sauerstoff benötigt, als bei kurzkettigen. Da immer die gleiche Menge an Luftsauerstoff nachströmt, werden durch die Verpuffung nicht alle Moleküle langkettiger Alkane aus der Dampfphase vollständig zu CO_2 und H_2O oxidiert. Es befinden sich weiterhin Alkane in der Dampfphase, welche mit nachströmenden Sauerstoff am Platindraht zur Verpuffung gebracht werden können.

Leicht- und Waschbenzine sind Stoffgemische unterschiedlich langer Kohlenwasserstoffe mit einer Kettenlänge von 4 bis 8 Kohlenstoffatomen. Je nach Zusammensetzung verändert sich der Dampfdruck dieser Stoffgemische, wodurch die Eintauchtiefe der Platinspirale in den Kolben, sowie die Anzahl der Verpuffungen pro 10 Minuten je nach Zusammensetzung variiert und zwischen den Werten der einzelnen Alkane (n-Hexan bis n-Oktan) liegt.

3. Verpuffung eines n-Pentan-Luft-Gemischs am Platindraht (Oszillierende Reaktion):

Aufgrund der bei der Verpuffung von n-Pentan unter Abschnitt 2 beschriebenen Komplikationen, ist für die Reaktion von n-Pentan mit Luftsauerstoff ein abgewandelter Aufbau zu empfehlen.

Geräte: 200-ml-Erlenmeyer-Kolben ($\varnothing_{\text{Öffnung}}$: 4 cm), Metallblech (Abschnitt 1.1), Magnesiastäbchen, Tiegelfzange, Platinspirale (Abschnitt 1.1), Bunsenbrenner, Holzunterlage.

Chemikalien: n-Pentan.

Durchführung: Der Erlenmeyerkolben wird bis zu einer Höhe von 0,5 cm mit n-Pentan befüllt. Das Blech aus Abschnitt 2 wird an einem oberen Ende um ein Magnesiastäbchen gefaltet, sodass das Blech am Magnesiastäbchen hängt. Der Platindraht wird so gebogen, dass er im Erlenmeyerkolben mit der untersten Windung der Spirale auf gleicher Höhe mit dem einzuhängenden Blech liegt. Das Blech wird daraufhin in die Mitte der Öffnung des Erlenmeyerkolbens gehängt. Die Platinspirale wird in der rauschenden Flamme des Bunsenbrenners analog zu Abschnitt 2 bis zum Glühen erhitzt und mit in den Erlenmeyerkolben gehängt (Abb. 6 und 7).

Beobachtung: Der Platindraht glüht im Erlenmeyerkolben hell auf, woraufhin das Gasgemisch im Inneren des Erlenmeyerkolbens verpufft. Der Draht kühlt nach der Verpuffung ab und glüht kurz darauf wieder auf, wobei sich das Glühen der Spirale intensiviert. Es kommt zur erneuten Verpuffung des Gemischs. Die Reaktion oszilliert (Abb. 8).



Abb. 6: Aufbau frontal, Verpuffung von n-Pentan am Platindraht.



Abb. 7: Aufbau seitlich, Verpuffung von n-Pentan am Platindraht.

Deutung: Die fachliche Auswertung schließt sich der Auswertung aus 2 an. Hier gelang es durch die Einstellung des Kamineffektes, sowie der richtigen Eintauchtiefe des glühenden Platindrahtes, eine Verpuffung des Gasgemischs im Erlenmeyerkolben zu ermöglichen, ohne dass der Luftsauerstoff die Flammen der Verpuffungsreaktion weiterhin zu unterhalten vermag.



Abb. 8: Moment der Verpuffung des n-Pentans am Platindraht.

4. Fazit und Ausblicke:

Die vorgestellten Versuche veranschaulichen die katalytische Wirkung von Platin bei der Oxidation verschiedener Kohlenwasserstoffe. Das unterschiedlich helle Glühen der Platinspirale zeigt zudem die Abhängigkeit der Katalysatoraktivität von der Konzentration der in der Gasphase befindlichen Edukte. Das Oszillieren der Reaktion kann nicht nur durch das immer wiederkehrende „aufploppende“ Geräusch der Verpuffung wahrgenommen werden, sondern auch durch das erneute Aufglühen und dessen Bewegung entlang des Platindrahtes. Ebenso kann das Prinzip der Oszillation an dem vorgeschlagenen Versuch qualitativ beschrieben und ausgewertet werden. Dabei sind alle notwendigen Bedingungen für den strukturbildenden Prozess der Oszillation nach [9] gegeben. Wichtig für das Gelingen sind jedoch die Faktoren der Luftzirkulation in und aus dem Erlenmeyerkolben heraus (Kamineffekt), die Temperatur der Edukte, die Eintauchtiefe der Platinspirale sowie die Wahl einer geeigneten Unterlage des Erlenmeyerkolbens, um ein Abkühlen der Alkane zu verhindern. Im Vergleich zur oszillierenden Reaktion mit Methanol ermöglicht die Verwendung von Waschbenzinen und Teelicht-Blechen die Anwendung von Alltagsgegenständen und -chemikalien. Die Durchführung des Experiments unter der Verwendung von Waschbenzinen ist für Schüler:innen ab der 4. Klasse problemlos möglich [14]. Ebenso ist die Handhabung weniger problematisch, da die Alkane, sowie der Stoffgemische Wasch- und Leichtbenzin, vor Versuchsdurchführung im Gegensatz zu Alkoholen nicht erwärmt werden müssen.

Abgesehen von der katalytischen Wirkung des Platins erlaubt der Versuch auf Basis der Beobachtungen Rückschlüsse auf die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Kohlenwasserstoff-

fen unterschiedlicher Kettenlänge zu ziehen. So kann der Dampfdruck oder eher die Flüchtigkeit von Kohlenwasserstoffen unterschiedlicher Kettenlänge anhand der unterschiedlichen Eintauchtiefe der Platinspirale gezeigt werden. Die Eintauchtiefe sowie die Anzahl der Verpuffungen pro 10 Minuten erlaubt die Diskussion der Zusammensetzungen der Stoffgemische Wasch- und Leichtbenzine.

Der Preis für den verwendeten Platindraht mit einer Länge von 20 cm und einem Durchmesser von 0,5 mm liegt bei etwa 50 Euro. Momentan werden Darstellungsmöglichkeiten platinbeschichteter Materialien und deren Einsatz im Experiment untersucht, um kostengünstigere Varianten vorzustellen.

Literatur

- [1] Battino, R., Letcher, T., Rivett, D. (1993). The Repeating “Explosion” Flask: A Demonstration of Heterogeneous Catalysis. *Journal of Chemical Education*, 70/12, 1029–1030.
- [2] Häusler, K., Rampf, H., Reichelt, R. (1991). *Experimente für den Chemieunterricht* (1. Aufl.). Oldenbourg, München, 259.
- [3] Roesky, H. W., Möckel, K. (1994). *Chemische Kabinettstücke: spektakuläre Experimente und geistreiche Zitate*. VCH, Weinheim, 234.
- [4] Zitt, J. (2000). Oszillierende Reaktion – Das glühende Platinherz. *PdN-Ch.*, 1/49, 36.
- [5] Nick, S., Parchmann, I., Demuth, R. (2001). *Chemisches Feuerwerk – 50 effektvolle Schauversuche*. Aulis Verl. Deubner, Köln, 173–179.
- [6] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2019). *Stoffliste zur DGUV Regel 113-018*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., 65.
- [7] Reschetilowsky, W. (2015). *Einführung in die heterogene Katalyse* (1. Aufl.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1 ff.
- [8] Weyer, J. (2018). *Geschichte der Chemie Band 2 – 19. Und 20. Jahrhundert* (1. Aufl.). Springer-Verlag GmbH, Berlin, 332 ff.
- [9] Tausch, M. W. (2008). Weitab vom chemischen Gleichgewicht. *PdN-ChiZ*, 1/57, 14–18.
- [10] Hegeß, C. I. (2006). *C₁-C₄ Hydrocarbon Oxidation Mechanism* (Dissertation, Doctor of Natural Science). <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/7379/1/diss.pdf> (letzter Zugriff am 25.05.2021).
- [11] Holleman, A. F., Wiberg, E., Wiberg, N. (2017). *Anorganische Chemie, Band 1: Grundlagen und Hauptgruppenelemente* (103. Auflage). Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 152–155.
- [12] GESTIS Stoffdatenbank (o.J.). Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV).: <https://gestis.dguv.de> (letzter Zugriff am 26. Februar 2021).
- [13] Diehl, F. et al. (2010). Catalytic Oxidation of Heavy Hydrocarbons over Pt/Al₂O₃. Influence of the Structure of the Molecule on its Reactivity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 97, 2017–227.
- [14] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2019). *Stoffliste zur DGUV Regel 113-018*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., 14.

Eingegangen am 9. März 2021

Angenommen am 27. April 2021

Online veröffentlicht am ■■ ■■■ 0000