

Gelegentlich wird die Meinung geäußert, daß Experimental-Vorlesungen überholt seien und daß Vorlesungsexperimente zugunsten einer frühzeitigen theoretischen Vertiefung abgeschafft werden sollten. Im Gegensatz hierzu vertreten die Autoren die Auffassung, daß Vorlesungsexperimente im Hinblick auf die notwendige Verkürzung der chemischen Praktika an Bedeutung gewinnen. Jedoch erscheinen zwei Forderungen unabdingbar:

1. Die Experimente müssen, bezogen auf die dafür benötigte Zeit, eine genügende Dichte an Informationen liefern.
2. Auch in großen Hörsälen mit 400 bis 700 Plätzen muß jeder Studierende die demonstrierten Vorgänge in allen Einzelheiten verfolgen können.

Die chemische Experimentalvorlesung wird seit Jahrzehnten — soweit es Experimente mit großen Glasapparaturen, mit Kelchgläsern usw. betrifft — an vielen Universitäten in praktisch gleicher Weise gestaltet. Es muß vermessen erscheinen, hieran Kritik zu üben. Wir haben uns jedoch in den letzten Jahren immer wieder davon überzeugen müssen, daß Vorlesungsexperimente in der klassischen Ausführung schon aus der Mitte eines Hörsaals mit 400 Plätzen nicht mehr so zu erkennen und in ihrem zeitlichen Ablauf zu verfolgen sind, wie das notwendig ist, und daß selbst den in den ersten Reihen Sitzenden häufig die Feinheiten verloren gehen. Von den letzten Reihen aus betrachtet, können die Experimente wohl auch zu einem mehr oder weniger amüsanten Leerlauf entarten.

Nun gibt es wohl in jeder Experimentalvorlesung seit langem schon einige Experimente, die in Projektion vorgeführt werden, wie z. B. die katalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid am Platindraht oder die Demonstration der kritischen Temperatur. Diesen Weg haben wir in den letzten Jahren konsequent ausgebaut. Im Sommersemester 1967 wurden in der anorganisch-chemischen Grundvorlesung der Universität Münster insgesamt 460 Demonstrationen gebracht; davon 166 in Projektion mit einem besonders konstruierten Episkop, 188 in Durchlichtprojektion (optische Bank) und neun im Schattenriß. Bei den verbleibenden 97 klassisch ausgeführten Experimenten han-

delt es sich im wesentlichen um solche mit Explosionen oder gut sichtbaren Verbrennungs- und Leuchterscheinungen, sowie um einige Großversuche (Thermit).

Die Demonstrationen eignen sich besonders als Anleitung zur Beobachtung chemischer Vorgänge. Der Student lernt dabei, auf verschiedenste Erscheinungen zu achten: Man erkennt Konzentrationsunterschiede in der Lösung (Schlierenbildung) beim Auflösen von Stoffen oder beim Verdünnen. Z. B. zeigt sich bei der Kupfersulfat-Elektrolyse die Verarmung der Lösung an der Kathode durch aufsteigende helle Schlieren. Es ist ferner zu beobachten, wie sich Gasblasen auflösen, wie die Entwicklung von Gasen an bestimmten Punkten der Gefäßwand einsetzt, wie Stoffe ausfallen oder Kristalle wachsen. Man erkennt örtliche Unterschiede und Reaktionszonen.

Der zeitliche Ablauf kann in der Regel, z. B. durch Wahl der Konzentration, so eingerichtet werden, daß der Vortragende auf Einzelheiten des sichtbaren Geschehens mit dem Zeigestock hinweisen kann.

Wegen der geringen umgesetzten Substanzmenge verlaufen die Experimente hinreichend schnell. Es ist nicht notwendig „später“ nochmals auf ein Experiment zurückzukommen, um das Ergebnis zu betrachten.

Gefährliche Substanzen (z. B. Chlordioxid) können in geringer, harmloser Menge hergestellt werden; sie sind dennoch für jeden Hörer sichtbar.

Der apparative Aufwand ist viel geringer als bei den klassischen Demonstrationen. Die Geräte sind billig und leicht zu reinigen. Ihre Aufbewahrung erfordert nur wenig Raum. Der Chemikalienverbrauch ist minimal.

Bei den in Projektion vorgeführten Experimenten sehen selbst die in den ersten Reihen Sitzenden mehr als sonst. Wir würden daher diese Arbeitstechnik auch in einem kleineren Hörsaal vorziehen.

Verständlicherweise muß man einen gewissen inneren Widerstand überwinden, wenn man die klassische Ausführungsform der Experimente zugunsten der hier empfohlenen aufgeben soll. Jedoch sind

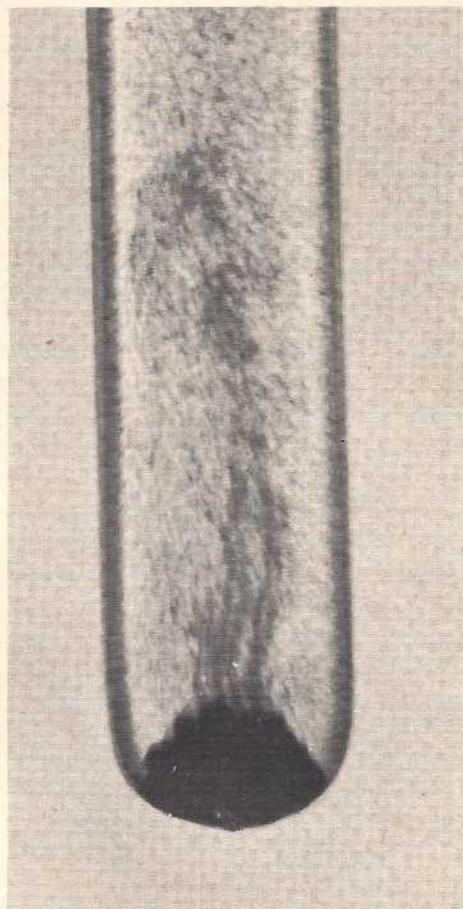
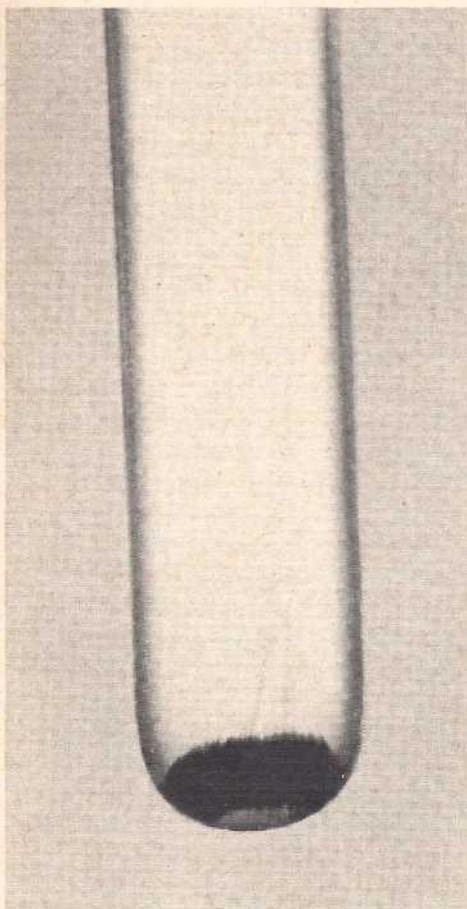


Abb. 1. Wasserstoffentwicklung bei der Reaktion von Zink mit $2n$ CH_3COOH bzw. $2n$ HCl [D].

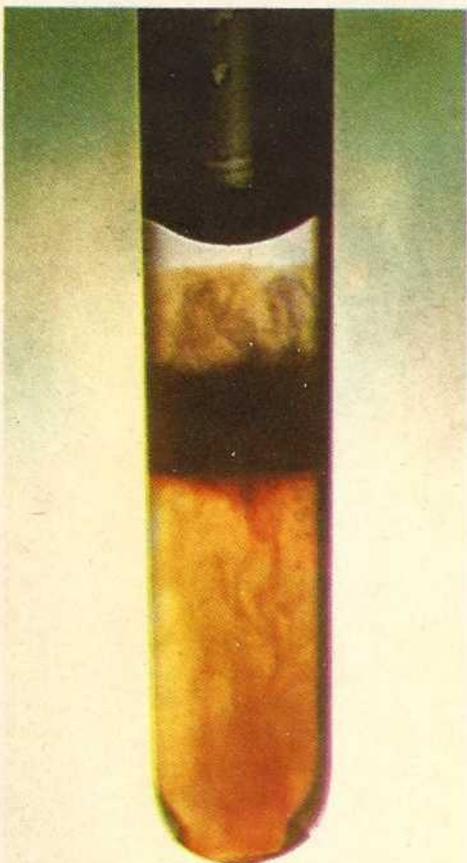


Abb. 2. Reaktion von KJ -Lösung mit Cl_2 -Wasser [D]. Jod-Ausscheidung und Auflösung als J_3^- .

wir sicher, daß jeder, der die beschriebene Methode kennengelernt hat, gewiß nicht zur klassischen Ausführungsweise zurückkehren wird.

Projektionsgeräte

Episkop (Auflichtprojektion)

Die üblichen Episkope sind wegen ihrer geringen Tiefenschärfe, wegen ihrer Korrosionsanfälligkeit und der großen Entfernung vom Experimentiertisch für die Demonstration chemischer Experimente wenig günstig, aber nicht ungeeignet. Eine zweckmäßigere eigene Konstruktion hat folgende Ausrüstung:

2 Lampen 110 Volt, 1500 Watt; Einphasenregeltrafo 4 KVA; Luftkühlung mit zwei Ventilatoren; Objektiv $1:2,8/250\text{mm}$ Tiefenschärfe 3 bis 4 mm bei geöffneter Blende, 10 bis 12 mm bei halb geöffneter Blende; Glasscheibe zwischen optischem Teil und Experimentierraum. Mit dieser Konstruktion können auch Experimente durchgeführt werden, bei denen aggressive Gase entweichen; ferner kann ohne Beschädigung der Optik mit dem Bunsenbrenner erhitzt werden.

Optische Bank (Durchlichtprojektion)

Jede optische Bank, die mit Bogenlampe und Kondensator, mit Irisblende, Abbildungslinse und Umkehrprisma ausgerüstet ist, kann verwendet werden. Der Abstand Prisma — Projektionswand beträgt bei uns 4 m. Das Bild erscheint auf der Projektionsfläche oberhalb der Tafel. Mit Flüssigkeit gefüllte Reagenzgläser werden aus optischen Gründen in eine mit Wasser gefüllte Küvette gestellt. Diese vermag vier Reagenzgläser ($10 \times 120\text{ mm}$) nebeneinander aufzunehmen. Auf der Projektionswand hat ein solches Reagenzglas einen Durchmesser von etwa 300 mm .

Projektion im Schattenriß

Hier dient die Bogenlampe als Lichtquelle. Die auf dem Experimentiertisch aufgebauten Geräte erscheinen im Schattenriß auf der Projektionswand. Besonders schön lassen sich Experimente in der Gasflamme zeigen, weil die verschiedenen heißen Zonen der Flamme im Schattenriß recht gut wiedergegeben werden.

Chemisches Gerät und Anwendungsbeispiele

Es wurde Wert darauf gelegt, daß soweit wie möglich normales Laborgerät verwendet wurde. Unvermeidbare Sonderkonstruktionen sollen möglichst einfach und überschaubar sein.

In der folgenden Zusammenstellung ist die zugehörige Projektionsart mit den Buchstaben [A] (Auflicht, Episkop), [D] (Durchlicht, optische Bank) oder [S] (Schattenriß) gekennzeichnet. Außerdem werden jeweils einige typische Experimente stichworthaft angegeben.

Reagenzgläser (10 x 120 mm), im Küvettentrog mit Wasser [D]

Viele Reaktionen in Lösung mit Farbwechsel; Vergleich von Reaktionen mit mehreren Reagenzgläsern nebeneinander; Gaseinleiten in Lösungen. *Beispiele:* Vergleich der Reaktion von Zn mit 2n CH_3COOH und 2n HCl (Abbildung 1). — KJ-Lösung + Cl_2 -Wasser: Fällung und Auflösung von I_2 (Abbildung 2). — $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cu} \rightarrow 2 \text{FeSO}_4 + \text{CuSO}_4$, Farbwechsel der Lösung. — Extraktionen mit Chloroform, Äther usw.

Reagenzgläser (10 x 120 mm), ohne Küvette

Beispiele: Jodsublimation [D] (Abbildung 3). — Mn_2O_7 -Bildung aus $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ und Verpuffung beim Erwärmen [D]. — Thermische Zerlegung von HgO [A] (Abbildung 4).

Porzellanschalen (schwarz und weiß) [A]

Beispiele: Fällungen, Wiederauflösung von Niederschlägen. — Amalgambildung ($\text{Hg} + \text{Na}$; Abbildung 5). — Schmelzflusselektrolyse von NaOH : Gasentwicklung an der Anode, Na-Kügelchen an der Kathode.

Tiegelschube [A]

Diese sind dünnwandig und daher zum Erhitzen besonders geeignet. Wegen des flachen Bodens ist die Tiefenschärfe nicht kritisch. *Beispiele:* $\text{Pb}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{PbO}$. — $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Lösung} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (fest) $\rightarrow \text{CuO}$ (Abbildung 6). — $\text{NaCl} + \text{KHSO}_4$, HCl -Nachweis mit Kongorotpapier.

Tüpfelplatten [A]

Tüpfelplatten aus Porzellan (schwarz und weiß) und aus Glas. Vorwiegend für Fällungsreaktionen, mehrere Proben neben-

Abb. 3a. Jodsublimation im Reagenzglas [D].

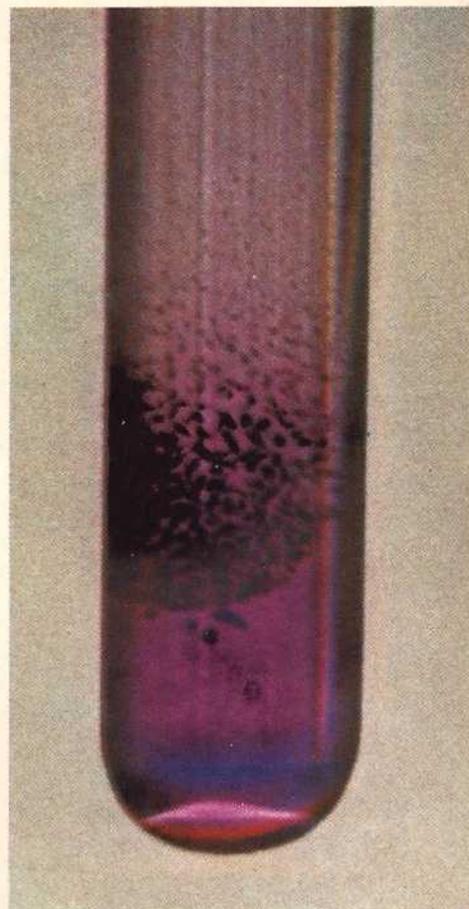


Abb. 3b. Zum Vergleich Literkolben mit Joddampf auf dem Hörsaaltisch, aufgenommen von der Mitte des Hörsaals aus.

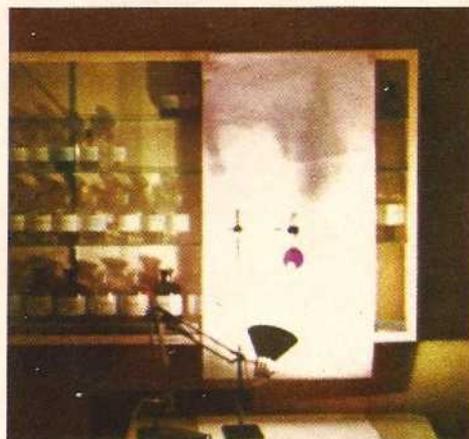
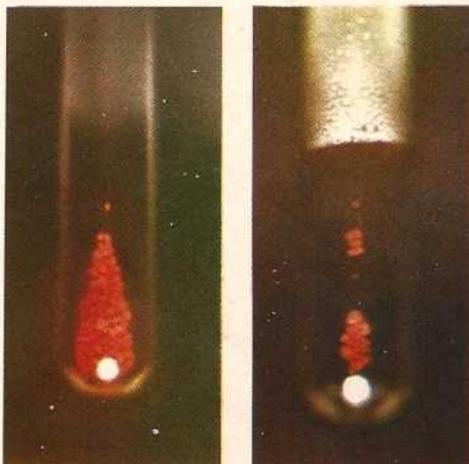


Abb. 4. Thermische Zerlegung von Quecksilberoxid [A]. HgO , Hg -Beschlag.



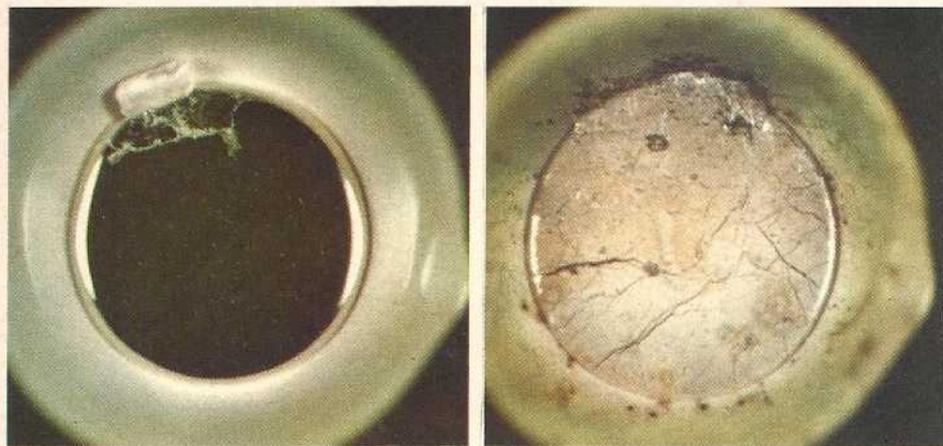


Abb. 5. Reaktion von Quecksilber mit Natrium [A].

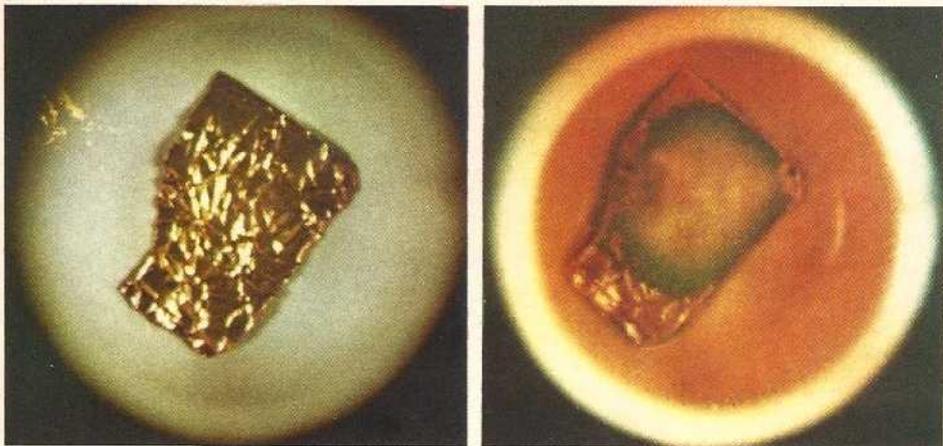
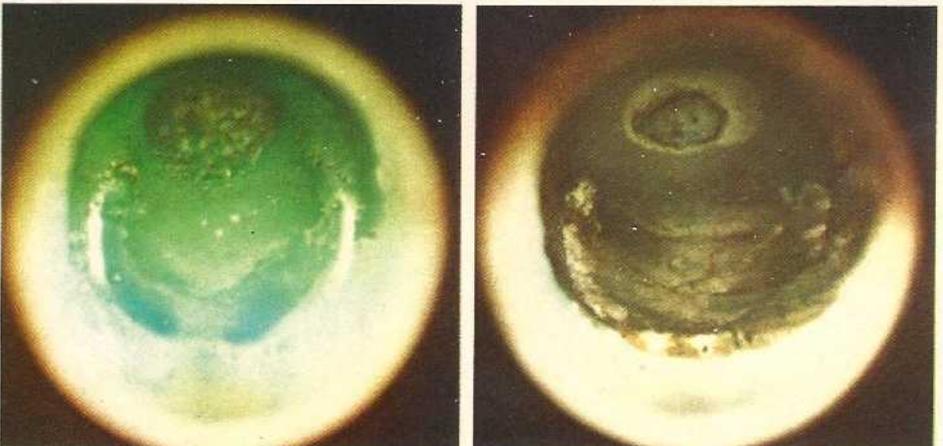
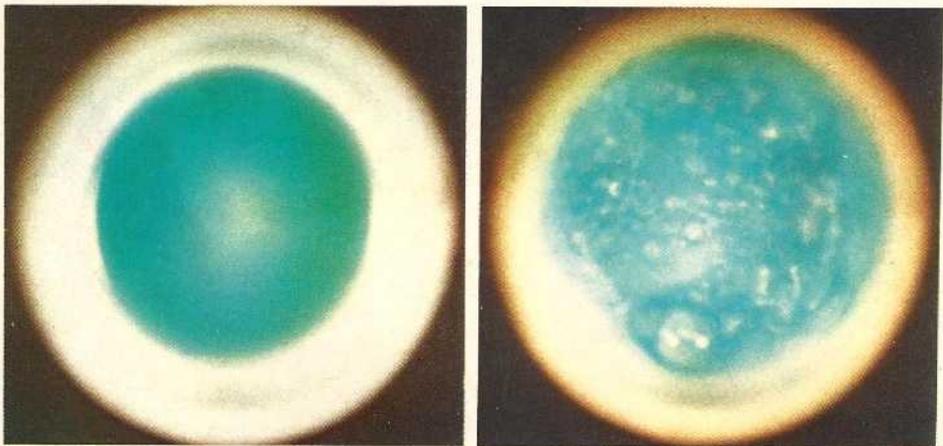


Abb. 6. Auflösung von Kupferfolie in Salpetersäure (NO_2 -Bildung) und Verglühen des Nitrats zu CuO [A].



einander. Vorzeigen charakteristischer Substanzen. Die Projektion von Stoffen ist notwendig: Wenn mehrere hundert Studenten 15 Minuten nach Schluß der Vorlesung im nächsten Hörsaal sitzen sollen, so kann man nicht erwarten, daß auf dem Hörsaaltisch ausgestellte Substanzen von vielen wirklich betrachtet werden.

Poröse Tonplatten [A]

Tonplatten werden verwendet, wenn Flüssigkeit aufgesaugt werden soll. *Beispiele:* Oxidation von frisch gefälltem $Mn(OH)_2$ durch Luft. — Schwärzung von $AgCl$ am Licht; Vergleich mit $AgCl + Eosin$. — Spezielle Tüpfelreaktionen.

Petrischalen [A]

Beispiele: Modell eines Bleiakкумуляtors [Farbänderung der Pb-Platten beim Laden, Ablesen der Spannung; Abbildung 7]. — Kalium auf Wasser (vgl. Abbildung 8 und Erläuterung).

Küvetten [D]

a) vom Institutsglasbläser angefertigte Duranglasküvetten (mit aufgeschmolzenen planen Fenstern und einem oder zwei Ansatzrohren). Durchmesser 25 bzw. 35 mm; Schichtdicke 10 mm, Ansatzrohr mit 8 mm Durchmesser. Verwendet zum Erhitzen von Flüssigkeiten. *Beispiele:* $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$, kochen $\rightarrow CaCO_3$. — $KOH + Cl_2$ (mit Kapillare eingeleitet), kochen, $KClO_3$ kristallisiert beim Abkühlen aus. — Schmelzen von Schwefel: Farbe, Viskosität, Kristallisation. — $Fe + Cl_2 \rightarrow Fe_2Cl_6$ (Gas) $\rightarrow FeCl_3$ (fest) (Küvette mit Zu- und Ableitung für Cl_2).

Mit Wasser gefüllte Küvetten als kalte Wand: Kondensat von H_2O aus H_2 -Flamme. — Schwefel-Kondensat (gelb, geschmolzen), aus H_2S -Flamme (partielle Verbrennung).

b) Käufliche Duranglasküvetten mit 40 bzw. 90 mm Durchmesser und 25 bzw. 45 mm Schichtdicke. Besonders für farbige Gase geeignet. *Beispiele:* $NO_2 + SO_2$ -Wasser $\rightarrow H_2SO_4 + NO$; $NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + NO$; schütteln der verschlossenen Küvette, in beiden Fällen erneute Reaktion bei Zufuhr von O_2 .

c) Küvettentrog (120 x 120 x 30 mm) [D] [S]. Für Elektrolysen (mit gleichzeitiger Projektion von Volt- und Ampère-Skala).

Abb. 7. Modell eines Bleiakкумуляtors, Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure, geladener Zustand [A]. Aufgenommen aus der Mitte des Hörsaals.

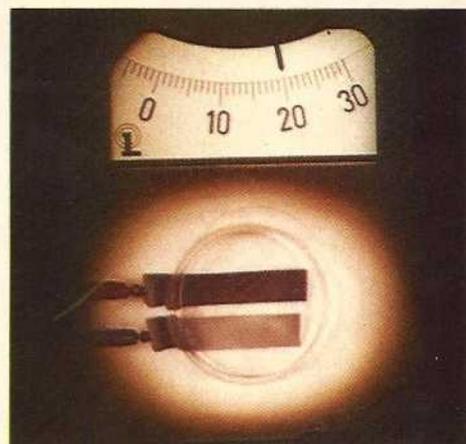
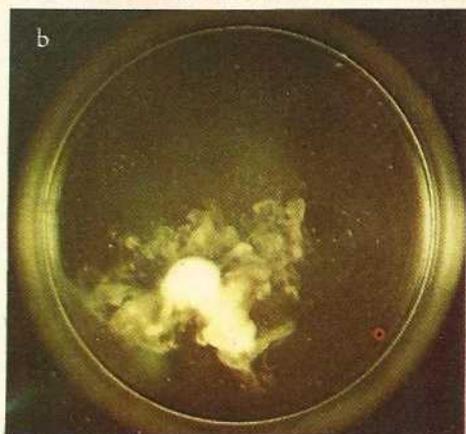
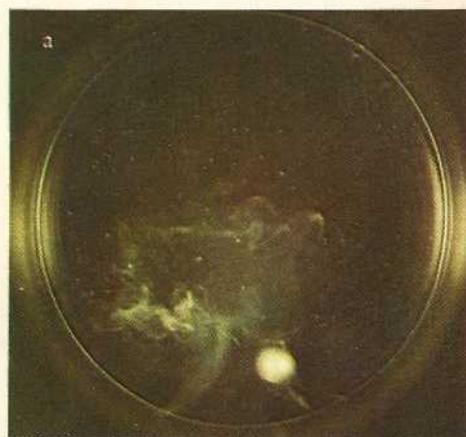


Abb. 8. Reaktion von Kalium mit Wasser. (a) durch Reaktionswärme geschmolzene Kalium-Kugel; (b) Reaktion auf dem Höhepunkt [A].



Beispiele: Zersetzungsspannung des Wassers. — Wasserzerlegung mit Volumenvergleich von H_2 und O_2 (Abbildung 9). — Elektrolyse von $NaCl$ -Lösung mit eingestellter, gelochter Plexiglasscheibe als Diaphragma. — Elektrolytische Abscheidung und Raffination von Cu . — Entfärbung von Indigolösung mit Aktivkohle (Abb. 10).

Reaktion in Glas- oder Quarzrohren [A]

Geeignet für Reaktion von Feststoffen (Porzellanschiffchen) mit Gasen. *Beispiele:* $PbO + H_2$. — $NiO + H_2 \rightarrow Ni + Cl_2$. — Deaconprozeß mit Cl_2 -Nachweis durch KJ-Papier. — $Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$: man

sieht das Schmelzen von Na und die Oxidation zu Na_2O_2 ; beim Löschen der Projektionslampe wird die Na -Flamme sichtbar; nach dem Erkalten liegt gelbes Na_2O_2 vor.

Spezielle Geräte

Gerät zur Demonstration der Ionenwanderung im elektrischen Feld: Lösungen von KNO_3 , $KMnO_4$ [D].

Elektrisch heizbare Pt-Spiralen: Kontaktverfahren, $SO_2 + O_2$ an Pt-Spirale $\rightarrow SO_3$ -Nebel [D]. — NH_3 -Zerfall, NH_3

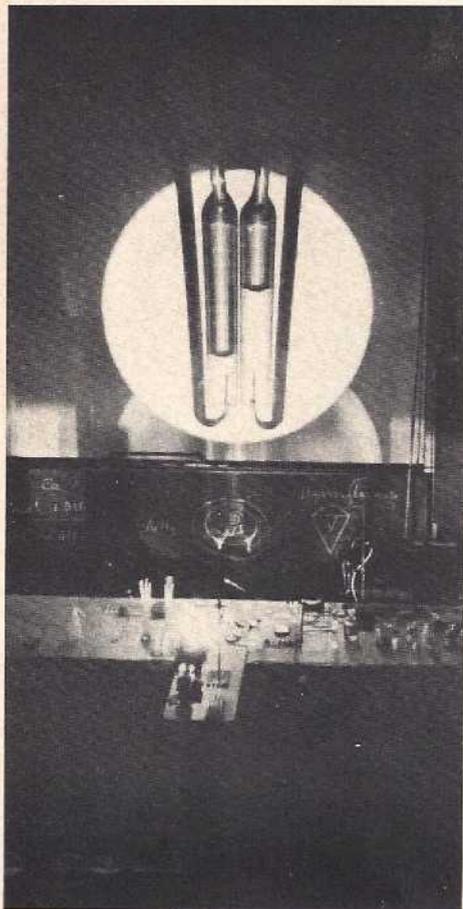


Abb. 9. (links) Elektrolytische Zerlegung des Wassers [D]. Dauer 30 sec. Aufnahme aus der letzten Reihe des Hörsaals.

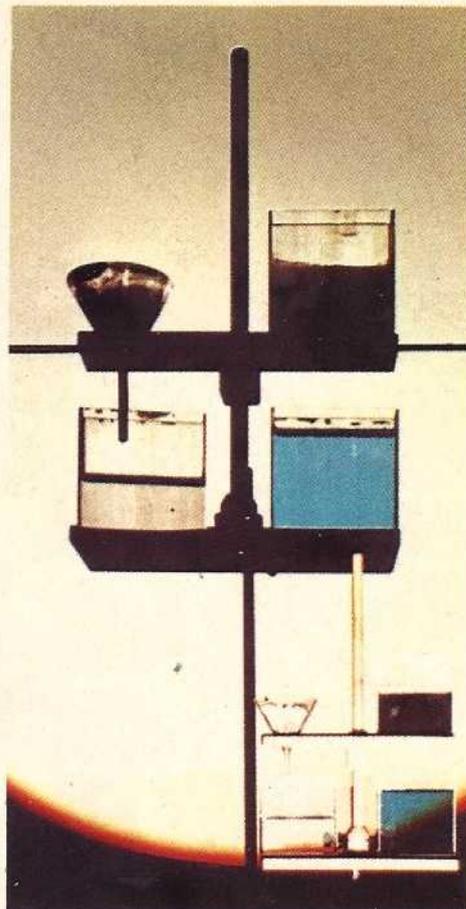


Abb. 10. (rechts) Filtration von Indigolösung nach Entfärbung mit Aktivkohle, daneben Küvette mit Vergleichslösung [S]: Rechts unten das eigentliche Gerät, darüber die Abbildung auf der Projektionswand.

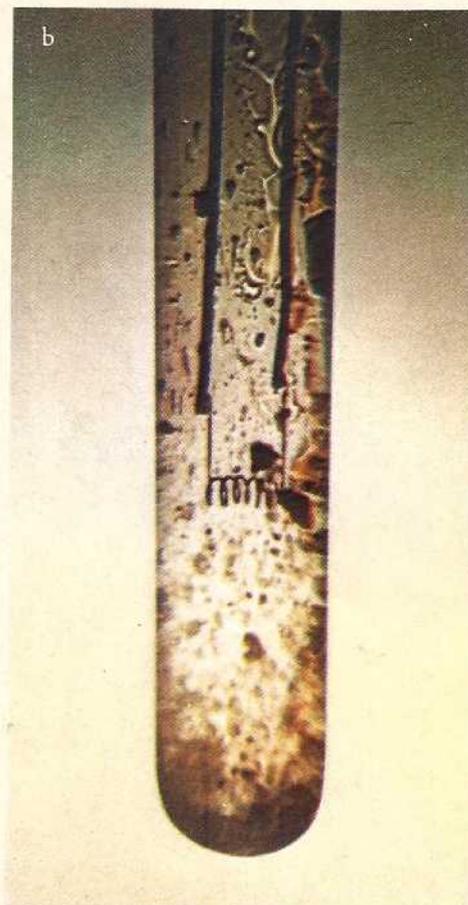
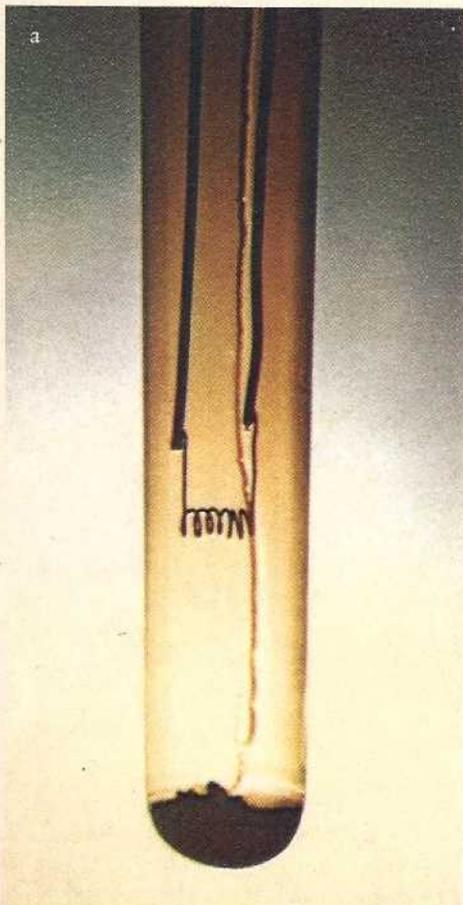
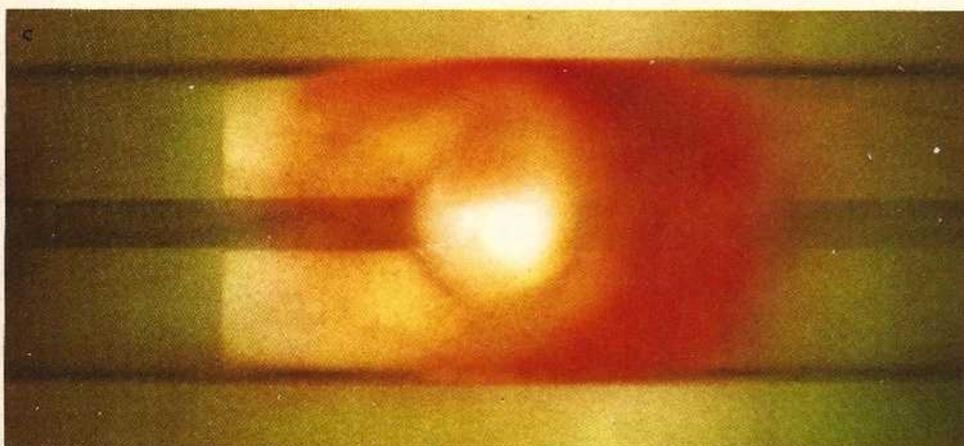
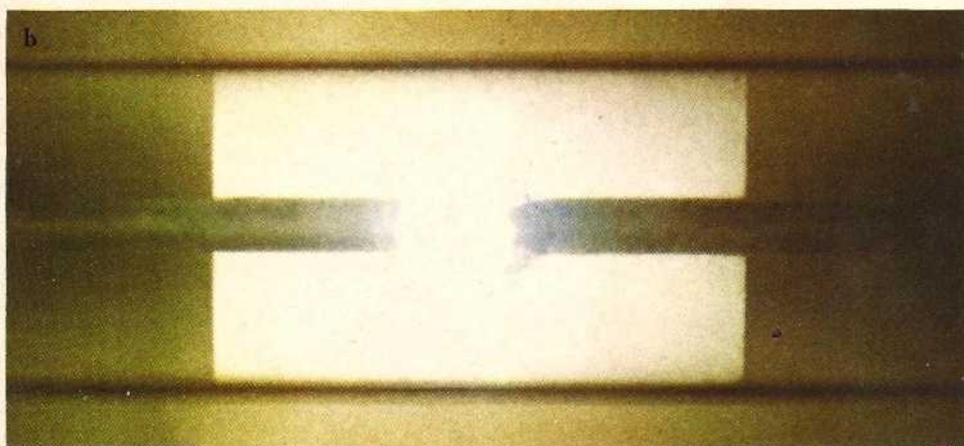
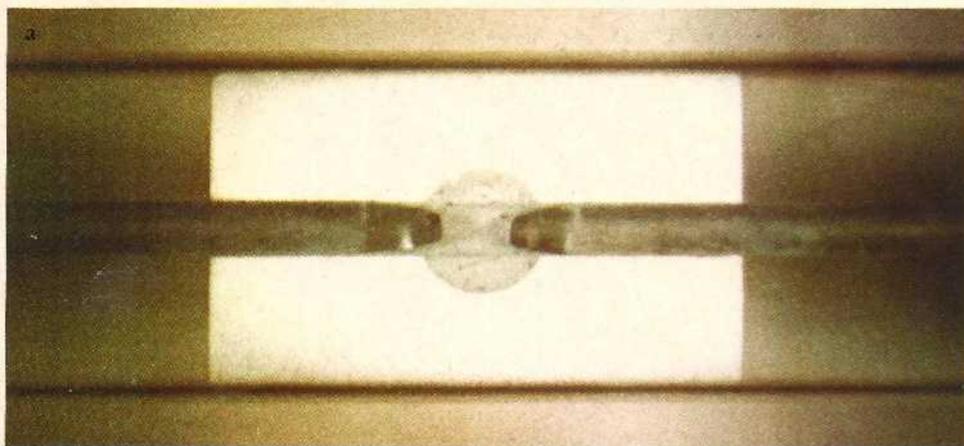


Abb. 11a. (links) $\text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ClO}_2$
 b. (rechts) thermischer ClO_2 -Zerfall nach elektrischer Erwärmung der Pt-Spirale [D].

Abb. 12. (auf S. 115) Phosphordarstellung. Tablette von $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) + \text{SiO}_2 + \text{C}$ auf Steatitunterlage [A].

- a) vor der Zündung
- b) Lichtbogen gerade gezündet
- c) etwa 10 Sekunden später; Phosphorbeschlag auf der Wand des Quarzrohrs.



über Pt-Spirale, dann durch dünnes Rohr in Küvettentrog mit Wasser geleitet, NH_3 wird absorbiert; beim Erhitzen des Platins entweichen Blasen von $\text{H}_2 + \text{N}_2$. — ClO_2 aus $\text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$, gelbbraunes Gas [D] (Abbildung 11). Bei Zündung mit elektrisch erwärmter Pt-Spirale Explosion mit erheblichem Knall.

Lichtbogen zwischen zwei Kohlelektroden [A]: Schmelzen von Korund. — Phosphor-Darstellung aus $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) + \text{C} + \text{SiO}_2$ (Abbildung 12).

Pneumatische Wannen [D]

Entwicklung von N_2O aus NH_4NO_3 im Reagenzglas mit Ableitungsrohr, Auffangen des Gases über Wasser (Küvettentrog). Die Gasmenge (~ 8 ml) reicht aus, um einen glimmenden Span zu entflammen. — Absorption von NH_3 an ausgeglühter Holzkohle, Quecksilber als Sperrflüssigkeit.

Destillationsapparat mit Vorlage [D]:

Volumen des Kolbens ~ 5 ml. *Beispiele:* S_2Cl_2 aus $\text{S} + \text{Cl}_2$. — HNO_3 aus $\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$. — Holzverschwelung.

Thermometer [D]: Kleine runde Küvette (Durchmesser 25 mm) mit Steigrohr, etwa zu 1/3 mit einer Lösung von Methylrot in Aceton gefüllt. Nachweis des exothermen oder endothermen Charakters von Reaktionen, die im Küvettentrog ausgeführt werden. *Beispiele:* Neutralisationswärme. — Lösen von $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in H_2O . — Anblasen des Thermometers mit $\text{HCl} + \text{NH}_3$.

Schlußbemerkung

Die abgebildeten Aufnahmen wurden normalerweise mit einem Abstand von 5 m von der Projektionswand aufgenommen. Abbildung 9 wurde von der letzten Reihe des Hörsaals (400 Plätze) aufgenommen. Der mitabgebildete Hörsaaltisch gibt einen Eindruck von den Größenverhältnissen.

Bei der Beurteilung dieser Abbildungen ist ferner zu bedenken, daß diese gerade den besonders wichtigen und eindrucksvollen stetigen Ablauf der Experimente nicht wiedergeben können.

Wir stellen nicht die These auf, daß die beschriebene Art der Demonstration von Vorlesungsexperimenten die einzig mögliche sei. Für jedes Experiment muß die optimale Demonstrationstechnik gewählt werden. Bisher waren wir nicht in der Lage, die Farbfernsehtechnik zu erproben. Wir sind der Meinung, daß sich die hier beschriebene Arbeitsweise wegen ihrer geringen Kosten, Einfachheit und Übersichtlichkeit und der farbgerechten Wiedergabe nicht generell durch Fernsehen ersetzen lassen wird. Vermutlich wird bei uns die Anwendung der Fernsehtechnik auf Sonderfälle, z. B. die Übertragung aus anderen Räumen des Instituts beschränkt bleiben.

Aus Platzgründen mußten alle Angaben sehr kurz gehalten werden. Die Autoren sind zu ausführlichen Auskünften gerne bereit.

Prof. Harald Schäfer ist Direktor des Anorganisch-Chemischen Instituts der Universität Münster. Dr. D. Bauer ist Mitarbeiter und C. Brendel chemisch-technischer Assistent in seinem Arbeitskreis.