

*Adalbert Wollrab\**

## DIE ELEMENTARISIERUNG ALS DIDAKTISCHES PRINZIP

Bei komplizierten Sachverhalten und Dingen ist es, um das Prinzip zu verstehen, unerlässlich, sie zu vereinfachen und in grundlegende Elemente zu zerlegen. Diese didaktische Methode bezeichne ich als Elementarisierung. Die Elementarisierung spielt auch im Bereich der instrumentellen Analytik eine Rolle, wenn man die Grundlagen der analytischen Methoden Schülern oder Studenten begreiflich machen möchte. Apparaturen die heute in Forschung und Routineuntersuchungen eingesetzt werden, bilden ein black box System, und sind für Lehr und Lernzwecke ungeeignet. Einfache, für didaktische Zwecke im Sinne der Elementarisierung entwickelte Apparaturen sind notwendig, um die entsprechenden analytischen Methoden und die Funktionsweise der Apparaturen verständlich darzustellen. Am konkreten Beispiel der Gaschromatographie und der Polarographie wird die Elementarisierung erläutert.

J. A. Komensky hat in seiner Schrift *Orbitus pictus* schon 1656 gezeigt, welche überragende Rolle der Anschaulichkeit bei der Vermittlung von Lerninhalten zukommt. Für die anschauliche und verständliche Darlegung von Sachverhalten und Dingen ist es oft unerlässlich, sie vereinfacht darzustellen und das Grundlegende herauszustellen. Bei komplizierten Sachverhalten und Dingen ist es für den Verständnisprozeß unumgänglich, sie in grundlegende Elemente zu zerlegen. Die didaktische Methode, komplizierte Zusammenhänge oder Dinge auf das Grundlegende zu vereinfachen, bezeichne ich als Elementarisierung.

Die Elementarisierung sollte auch bei der Vermittlung der apparativen Analytik sowohl im Chemieunterricht, als auch in der Lehre eine bedeutende Rolle spielen. Am Beispiel der Gaschromatographie und Polarographie soll das Prinzip der Elementarisierung beispielhaft erläutert werden.

Die Auftrennung eines Gasmischtes kann mit einem einfachen Gaschromatograph bei Zimmertemperatur erfolgen [1]. Seine Teile sind gut sichtbar, ihre Funktion wird durch die Demonstration und die Beschreibung

---

\* Justus-Liebig-Universität Giessen, Institut für Didaktik der Chemie, 6300 Giessen, Heinrich-Buff-Ring 58, Deutschland.

des Vorgangs verständlich. Er besteht aus der Druckgasflasche mit Trägergas, einem Druckreduzierventil, einem Vakuumschlauch einer Trennsäule und einem rechtwinklig gebogenen kurzen Glasröhrchen, das zur Kapillare verengt ist. Als Trägergas wird Wasserstoff benutzt, eingespritzt wird mit einer Einwegspritze direkt in den dickwandigen Vakuumschlauch. Die Trennsäule besteht aus einem Glasröhrchen gefüllt mit Kochsalz, das mit Hexadecan beschichtet ist. Der Wasserstoff entweicht durch ein zur Kapillare verengtes Röhrchen am Säulenende. Vor Eingabe der Probe wird der Wasserstoff, der aus der Trennsäule entweicht, entzündet. Der Austritt der einzelnen Komponenten ist an der Veränderung der Flamme visuell wahrnehmbar.

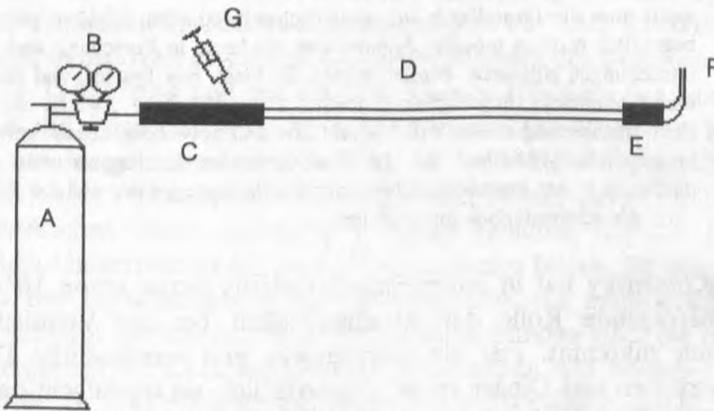


Abb. 1. Einfacher Gaschromatograph

A - Gasdruckflasche, B - Druckreduktionsventil, C - Vakuumschlauch, D - Trennsäule, E - Schlauchverbindungsstück, F - Röhrchen mit Kapilarausgang, G - Injektionsspritze

Mit dem einfachen Gaschromatograph ohne Detektor kann man z.B. Flüssiggas, das als Füllung in Feuerzeugen oder in Campingkartuschen verwendet wird, untersuchen. Es besteht zumeist aus Propan, Isobutan und Butan. Verlassen die Komponenten die Trennsäule, ist dies durch Größerwerden der Flamme und Veränderung der Flammenfärbung wahrnehmbar.

Für die Anzeige mit einem Demonstrationsmeßgerät bzw. Schreiber kann die Apparatur um einen Flammenionisationsdetektor (FID) mit Verstärker erweitert werden [2]. Auch an diesen Teilen kann die Elementarisierung demonstriert werden. Als Elektroden des Flammenionisationsdetektors dienen zwei Dental-Stahlröhre, die durch einen Korkstöpsel gesteckt sind. Durch das Loch in der Mitte des Stöpsels wird ein rechtwinkliges Röhrchen durchgeführt. Als Spannungsquelle dient die Flachbatterie des Verstärkers.

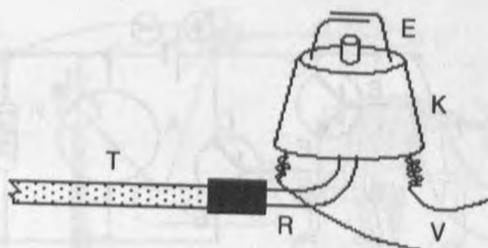


Abb. 2. Flammenionisationsdetektor

E – Elektroden, K – Korkstöpsel, R – gebogenes Röhrchen, T – Trennsäule,  
V – Verbindungsdrähte

Ein Transistorverstärker mit zwei Transistoren in Darlingtonschaltung dient der Verstärkung des Ionisationsstromes. Das Flämmchen des FID kann als variable Spannungsquelle angesehen werden. Der Ausgang des Verstärkers ist mit einem Amperemeter und/oder einem Schreiber verbunden. Bei Einsatz des Schreibers erfolgt bei der Messung eine Aufzeichnung, die als Gaschromatogramm bezeichnet wird.

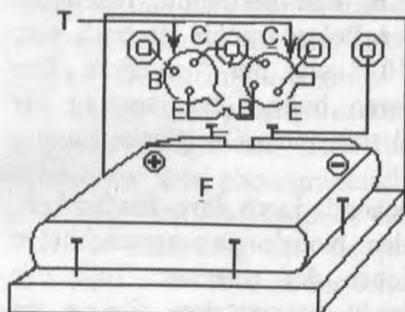


Abb. 3. Transistorverstärker

F – Flachbatterie, T – Transistoren BC 109  
B (B – Basis, C – Kollektor, E – Emitter)

Die Gesamtschaltung des einfachen Gaschromatographen mit FID und Transistorverstärker ist aus Abb. 4 zu ersehen.

Als weitere Beispiele für eine Elementarisierung werden der klassische Polarograph von Prof. J. Heyrovsky [3] und ein Schulpolarograph vorgestellt.

Bei der klassischen Polarographie wird an Elektroden, die sich in einem Elektrolyt befinden, eine sich verändernde Gleichspannung angelegt. Als Kathode dient eine polarisierbare Quecksilbertropfelektrode, die Anode ist relativ großflächig und damit praktisch unpolarisierbar. Gemessen wird die Abhängigkeit der Stromstärken von der Spannung. Erreicht die Quecksil-

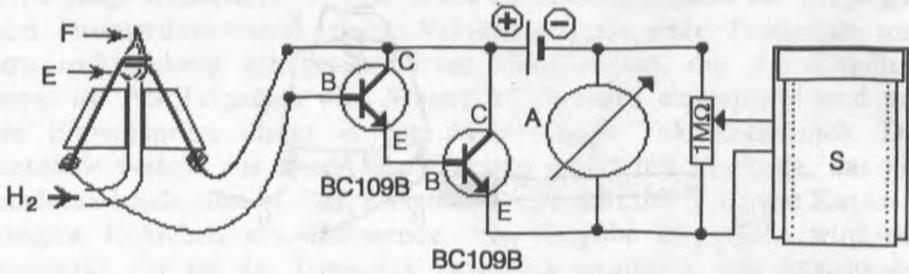


Abb. 4. Gesamtschaltung des einfachen Gaschromatographen mit FID  
 A - Ampermeter, E - Elektrode, F - Flamme, S - Schreiber, H<sub>2</sub> - Wasserstoff

bertropfelektrode ein Potential, das der Zersetzungsspannung eines im Elektrolyt gelösten Stoffes (der im weiteren als Depolarisator bezeichnet wird) entspricht, erfolgt ein Anstieg des Polarisationsstromes. Mit sich ändernder Spannung erhält man eine Strom-Spannungs-Kurve, die Aufschluß darüber gibt, welche Depolarisatoren im Elektrolyt gelöst sind und in welcher Konzentration sie vorliegen. Die Polarographie ermöglicht also sowohl eine qualitative, als auch eine quantitative Bestimmung der im Elektrolyten befindlichen Depolarisatoren (z.B. eine bestimmte Ionenart). Mit der im weiteren beschriebenen klassischen Polarographie ist noch eine Bestimmung bei einer Konzentration von  $10^{-5}$  mol dm<sup>-3</sup> möglich. Der Vorteil der Quecksilbertropfelektrode ist deren hohe Überspannung für Wasserstoff und außerdem der Umstand, daß sich deren Oberfläche ständig durch Vergrößern und Abtropfen erneuert.

Eine sehr anschauliche Apparatur, bestehend durch ihre Einfachheit, ist der Polarograph von Heyrovsky, des mit dem Nobelpreis ausgezeichneten Entdeckers der Polarographie. Die Funktionen der einzelnen Teile des Polarographen sind aus dieser Apparatur leicht zu verstehen. Sie ist ein gutes Beispiel dafür, was man unter Elementarisierung verstehen kann.

Die Spannungsquelle des Polarographen nach Heyrovsky bildet ein Akkumulator A, die Spannung ist an einen Nickel-Widerstandsdraht angelegt, welcher um eine Holzwalze gewunden ist. Die Holzwalze wird durch einen Motor M in Bewegung gesetzt. Die Bewegung wird gleichzeitig auf eine Trommel mit aufgewickelter Photopapier übertragen, welche sich in einem Gehäuse befindet, das mit einem Blendenschlitz versehen ist. Ein Gleitkontakt, der die entsprechende Spannung am Widerstandsdraht der Kohlruschwalze K abgreift, ist über einen Kontakt mit dem unten im Polarographiergefäß P befindlichem angesammeltem Quecksilber verbunden. Das eine Ende des Widerstandsdrahtes ist über einen Kontakt, der in das Quecksilber im Niveliergefäß reicht, mit der Quecksilbertropfelektrode verbunden. Die

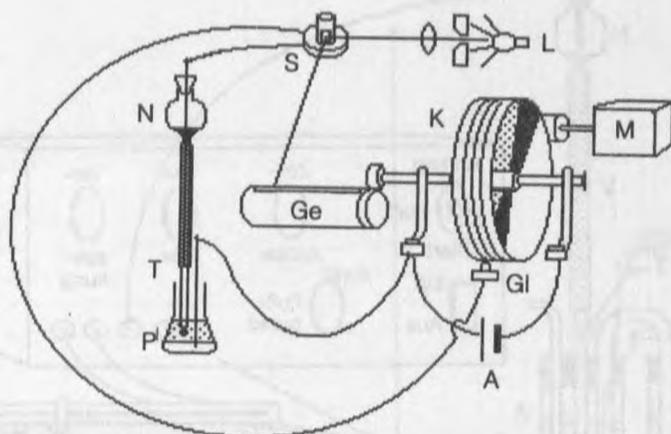


Abb. 5. Polarograph nach Heyrovsky

A – Akkumulator, Ge – Gehäuse mit Blendenschlitz, innen Trommel mit aufgewickeltem photographischem Papier, Gl – Gleitkontakt, K – Kohlradschwalze, L – Lichtquelle, M – Motor, N – Nivelliergefäß, P – Polarographiergefäß, S – Spiegelgalvanometer, T – Tropfkathode

Polarisierung der Tropfelektrode steigt durch die Drehung der Kohlradschwalze ständig an und bei einem bestimmten Potential, das dem Abscheidungspotential des Depolarisators entspricht, z.B. einer bestimmten Ionenart, erfolgt ein Anstieg des Stromdurchgangs durch das Elektrolyt. Dies bewirkt eine Auslenkung des Spiegelgalvanometers. Der Strahl trifft auf den Schlitz des Gehäuses mit der sich drehenden Trommel im Innern und der Lichtstrahl zeichnet auf dem photographischen Papier das Polarogramm, das nach dem Entwickeln des Photopapiers sichtbar wird.

Etwas nachteilig für die praktische Anwendung dieser Apparatur in Unterricht und Lehre ist das zeitraubende Einstellen des Spiegelgalvanometers und das Entwickeln des Photopapiers. Darum wurde eine Apparatur entwickelt, die sich in ihrer Konzeption an die klassische Apparatur Heyrovskys anlehnt, jedoch eine elektronische Einrichtung verwendet, die die lineare Zunahme der Spannung elektronisch regelt und eine Registrierung der Strom-Spannungskurve mit einem Schreiber ermöglicht.

In das Analysengefäß, in dem sich die zu untersuchende Lösung befindet, reicht die Tropfkapillare und ebenso eine Ionenbrücke, die zu der Kalomelektrode, die die Referenzelektrode vorstellt, führt. In die Lösung der Kalomelektrode ebenso wie in das im Nivelliergefäß befindliche Quecksilber taucht ein Platinkontakt ein. Beide Kontakte sind mit dem elektronischen Teil der Apparatur verbunden. Die Tropfkapillare ist mit dem Verbindungsschlauch mit der Nivellierbirne verbunden. Durch Höher- und Tieferstellen kann die Tropfrate der Quecksilbertröpfchen geregelt werden. Das in den

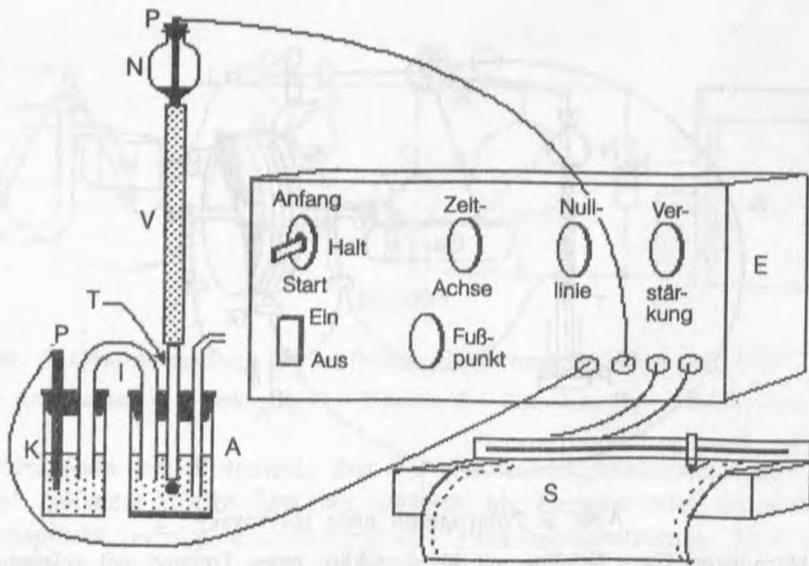


Abb. 6. Einfacher Polarograph für Unterrichts- und Lehrzwecke

A - Analysengefäß, E - Elektronischer Teil, I - Ionenbrücke, K - Kalomelektrode, N - Nivelliergefäß, P - Platinkontakt, S - Schreiber, T - Tropfelektrode

Elektrolyt reichende Röhrrchen dient zum Ausblasen des Sauerstoffs durch ein Inertgas. Der im Elektrolyt gelöste Sauerstoff muß entfernt werden, da er die Messung beeinträchtigt. Zum elektronischen Teil gehört das Netzteil, der Rampengenerator, der die linear ansteigende Polarisationsspannung erzeugt und schließlich der Meßteil mit einem variablen Stromspannungsverstärker, der den Polarisationsstrom auf ein registrierbares Signal verstärkt. Mit dem unteren runden Knopf kann man den Fußpunkt einstellen, das heißt das Anfangspotential mit dem die Messung beginnt. Stellt man den Hebel der Rampensteuerung links oben in die Stellung „Start“, wird die Messung in Gang gesetzt, setzt man den Hebel in Mittelstellung auf „Halt“, verharrt die Messung auf dem Potential bis zu dem man gekommen ist, die Hebelstellung „Anfang“ bringt das Potential der Quecksilberelektrode wieder auf den eingestellten Fußpunkt. Nachdem man den Hebel in die Stellung „Start“ gebracht hat, erfolgt der Start des Rampengenerators, der so lange läuft, bis er die obere Spannungsgrenze erreicht hat. Rechts neben dem Schalthebel zur Rampensteuerung befindet sich der Einstellknopf der Zeitachse. Mit ihr kann man einstellen, in wieviel Minuten jeweils ein Spannungsunterschied von 2 V durchlaufen wird. Die Verstärkung läßt sich kontinuierlich einstellen.

Abbildung 7 zeigt rechts das Polarogramm einer 0.5 N Salzsäurelösung mit  $Zn^{2+}$  und  $Cd^{2+}$  Ionen. Es wurde mit dem vorher beschriebenen Schulpolarograph aufgenommen. Das Polarogramm gibt Aufschluß darüber,

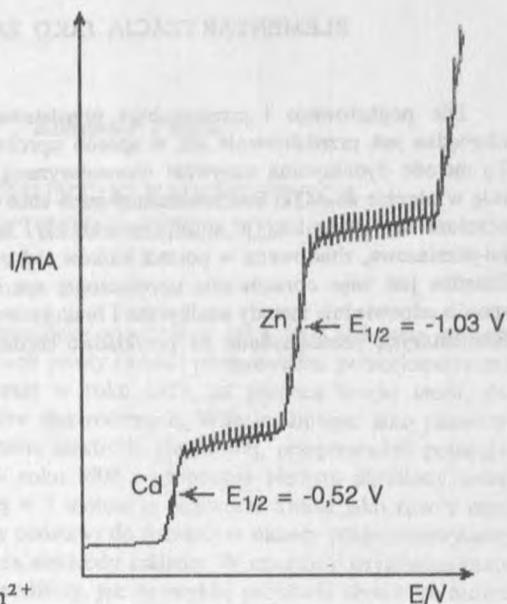


Abb. 7. Polarogramm mit  $\text{Cd}^{2+}$  und  $\text{Zn}^{2+}$

welche Depolarisatoren und in welcher Konzentration sie in der untersuchten Lösung vorzufinden sind. Die Höhe der polarographischen Welle ist direkt proportional der Konzentration des Depolarisators und das Halbwellenpotential ist für eine gegebene Lösung für einen bestimmten Depolarisator (in unserem Falle für die Ionen  $\text{Zn}^{2+}$  und  $\text{Cd}^{2+}$ ) charakteristisch. Das Halbwellenpotential ( $E_{1/2}$ ) hängt davon ab, ob die Messung in saurem, neutralen oder basischen Medium stattfindet. Die Elementarisierung von Apparaturen ermöglicht durch ihre Vereinfachung auf das Grundlegende ein besseres Verständnis für das Prinzip der entsprechenden analytischen Methode. Darüber hinaus werden Apparaturen erstellt, die billiger und für Schule und Hochschule damit auch erschwinglicher sind.

#### LITERATUR

- [1] A. Wollrab, „Chemia w szkole”, 32(5), 253 (1986)
- [2] A. Wollrab, *Chromatographie*, Aulis Verlag, Köln (1991)
- [3] J. Heyrovsky, *Polarographie*, Akademische Verlagsgesellschaft, Geest und Portig K. G., Leipzig (1985).

*Adalbert Wollrab***ELEMENTARYZACJA JAKO ZASADA DYDAKTYCZNA**

Dla pogładowego i zrozumiałego przedstawienia skomplikowanych faktów lub treści, niezbędne jest przedstawienie ich w sposób uproszczony, pokazując to co jest najistotniejsze. Tę metodę dydaktyczną nazywam elementaryzacją. Elementaryzacja odgrywa również ważną rolę w obrębie analityki instrumentalnej jeżeli chce się zasady i metody pomiarowe przedstawić uczniom czy studentom w sposób zrozumiały. Współczesna aparatura naukowa i kontrolno-pomiarowa, zbudowana w postaci bloków elektronicznych jest do tego celu nieodpowiednia. Zasadne jest więc opracowanie uproszczonej aparatury do celów dydaktycznych, aby w ten sposób odpowiednie metody analityczne i funkcjonowanie aparatury mogło być lepiej zrozumiane. Elementaryzję przedstawiono na przykładzie chromatografii gazowej i polarografii.