Von *Demokrit* zu *Bohr* - die historische Genese des Atommodells

StR Florian Spieler (M.A.), Schiller-Gymnasium Hof

Einleitung

Er gilt als einer der Klassiker unter den Erarbeitungsmethoden im Unterricht: der historisch-genetische Ansatz. Falsifikation von einst revolutionären Grundgedanken treffen auf Verifikation von Randentdeckungen, die sich später als bahnbrechend herausstellten. Durch den historisch-genetischen Ansatz kann man im Chemieunterricht die Entwicklung eines Themengebiets über Jahrtausende hinweg darstellen und schafft dabei noch zusätzlich den fächerübergreifenden Bezug zur Geschichte.

Die folgende Unterrichtssequenz befasst sich mit dem Thema *Atombau* und den *Atommodellen* unter historisch-genetischem Ansatz. Sie zeigt die Entwicklung der modellhaften Vorstellung des Atoms vom griechischen Philosophen *Demokrit*, über den englischen Naturforscher *John Dalton*, den englischen Physik-Nobelpreisträger *Joseph J. Thomson*, den deutsch-österreichisch-ungarischen Physiker *Philipp Lenard*, den neuseeländischen Physiker und Chemie-Nobelpreisträger *Ernest Rutherford* bis hin zum dänischen Physiker und Nobelpreisträger *Niels Bohr*. Es geht darum zu zeigen, wie sich Thesen über die Jahrtausende verifiziert, modifiziert oder falsifiziert haben und wie die Thesen, die manche Forscher zu ihrer Zeit aufgestellt haben, dieser so weit voraus waren, dass sie erst viele Jahre später von der Wissenschaftswelt beachtet und anerkannt wurden.

Das Atommodell unter historisch-genetischer Betrachtung

Diese didaktische Herangehensweise zählt zu den bewährten klassischen Methoden. Wichtig im hier aufgezeigten Ansatz ist jedoch die Schüleraktivierung. Vor allem auf die Förderung der naturwissenschaftlichen Lesekompetenz wird bei dieser Unterrichtseinheit großen Wert gelegt. Dazu wurden eigens Texte entworfen, die von ihrem Schwierigkeitsgrad den Anfangsklassen der Chemie, die das Atommodell behandeln, angemessen sind. Die Unterrichtsstunde umfasst insgesamt sechs Einzelstunden zu je 45 Minuten. Dabei werden in den ersten drei Stunden durch Textarbeit die nötigen Informationen und deren Erklärungen zusammengestellt, bevor diese dann gebündelt in der vierten Stunde im Plenum zusammengetragen werden. In der fünften Stunde findet dann eine *Exkursion ins Atom* statt. Was man darunter versteht, wird bei der entsprechenden Stunde dann näher

erläutert. Den Abschluss bildet die sechste Stunde in Form einer Lernzielkontrolle mit dem Thema *Wer wird Molekül?*.

Die Unterrichtseinheit kann dabei natürlich beliebig variiert werden. Sie gilt nicht als streng vorgelegter Masterplan, sondern bildet nur einen roten Faden, der die Themen *Atombau* und A*tommodelle* unter historisch-genetischer Betrachtungsweise beleuchtet.

Stunden 1 bis 4: Die Wissenschaftler

In den ersten vier Stunden werden die Thesen der folgenden Wissenschaftler dargestellt: *Demokrit*, *Dalton*, *Thomson*, *Lenard*, *Rutherford* und *Bohr*. Die Inhalte ihrer jeweiligen Entdeckungen sind in Form von Briefen dargestellt, welche sich die Forscher in historischer Reihenfolge gegenseitig geschickt haben. Natürlich ist dies z.B. von *Demokrit* zu *Dalton* nicht möglich, doch dienen diese Konversationen als Verpackung der Unterrichtsinhalte sowie Förderung der naturwissenschaftlichen Lesekompetenz.

Zur Erarbeitung der Texte kann jeweils mit der *Think, Pair, Share*-Methode gearbeitet werden. Hierbei lesen die Schüler den jeweiligen Text zunächst in Stillarbeit und notieren sich die wichtigsten Stichpunkte in ihr Heft, bevor sie dann mit ihren Sitznachbarn in der *Pair-Phase* die Informationen vergleichen und diese gegebenenfalls ergänzen oder verbessern. Beim *Share*, also dem *Teilen der Informationen mit der Klasse*, wird dann eine einheitliche Notation erarbeitet, die aber keinesfalls die bereits zusammengestellten Informationen der einzelnen Schüler, die oftmals mehr Inhalte als notwendig gesammelt haben, ersetzt. Festgehalten werden diese in einer Tabelle, die hier nicht als Kopiervorlage, sondern nur als Notationsvorschlag dargestellt wird.

Forscher	Jahr	Thesen	heute noch gültig
Demokrit	um 400 v. Chr.	▪	▪
John Dalton	1803	▪	▪
Joseph J. Thomson	1897	▪	▪
Philipp Lenard	1903	▪	▪
Ernest Rutherford	1910/1911	▪	▪
ggf. James Chadwick	1932	▪	▪
Niels Bohr	1913	▪	▪

Tabelle 1.01: ***Vom Atombau und Atommodellen (unausgefüllte Vorlage)***

Die Briefe



Verehrter Dalton,

es zermürbt mich, zu wissen, dass ich im Recht bin, doch niemand schenkt mir Glauben. Ich wünschte, dass mein Schicksal nicht so „unteilbar" wäre, wie die kleinsten Teilchen, die nach nahezu endlosem Teilen bei jedem Stoff verbleiben. Ich nenne sie „Atome". So bezeichnen meine Landsleute, die Griechen, das Unteilbare, „atomos".

Wäre nur nicht dieser Aristoteles, dem alle blind Glauben schenken, so würden wir Atomisten, mein geschätzter Lehrer Leukippos und ich, endlich die wissenschaftliche Anerkennung bekommen, die wir verdienen.

So sende ich einen Brief ins 19. Jahrhundert, in der Hoffnung, dass sich zu dieser Zeit nicht nur das Weltbild der Menschen geändert hat.

In Hochachtung

Demokrit,
Griechenland, 400 v.Chr.



Abbildung 1.01: Brief von *Demokrit* an *John Dalton*



Holder Thomson,

die Wissenschaft hält seltsame Wege bereit. So konnte ich die Thesen unseres geschätzten Vorgängers Demokrit überprüfen und bin zu dem Schluss gekommen, dass dieser Recht hatte. Und ich gehe noch weiter! Ich sage, dass unzerstörbare Atome die Bausteine aller Stoffe sind. Dabei gibt es so viele Atomarten wie Elemente. Bei chemischen Reaktionen verändern sich diese kleinsten Teilchen nicht, sondern werden nur getrennt und in neuen, ganzzahligen Verbänden zusammengesetzt. Jedes Atom unterscheidet sich von dem eines andern Elements in Größe und Masse. Diese ist natürlich nicht direkt messbar, jedoch sage ich, dass wir relative Atommassen feststellen können.

Teilen Sie mir doch bitte mit, was Sie von meinen Thesen halten. Vielleicht sehen wir uns bei einem Stück Rosinenkuchen schon bald wieder.

Ihr Kollege

John Dalton, England, 1803

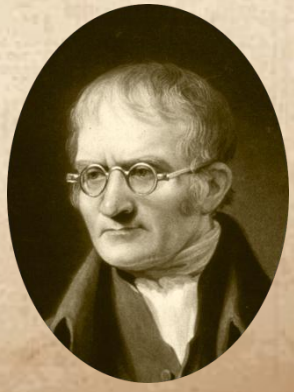


Abbildung 1.02: Brief von *John Dalton* an *Joseph J. Thomson*



Verehrter Lenard,

ob das Wort „revolutionär" angebracht ist, bitte ich Sie zu entscheiden. Mein Glühkathodenversuch hat jedoch gezeigt, dass es Teilchen gibt, die sich im Magnetfeld ablenken lassen. Ich nenne sie „Elektronen". Sie sind überall: in jedem Metall, mit dem ich experimentiert habe. Und das würde heißen, dass Atome nun doch nicht unteilbar sind, sondern eben diese Elektronen aus ihnen entfernt werden können. Anscheinend liegt eine positive Grundmaterie vor, in der diese negativ geladenen Elektronen eingelagert sind. Ich habe es scherzhaft mit dem Rosinenkuchen meiner Frau verglichen. Der Kuchen ist die positive Atommasse, die Elektronen die Rosinen.

Nach außen hin ist das Atom somit neutral, jedoch nicht mehr, wenn Elektronen abgegeben oder aufgenommen worden sind. Dann entstehen meiner Meinung nach positiv beziehungsweise negativ geladene Ionen.

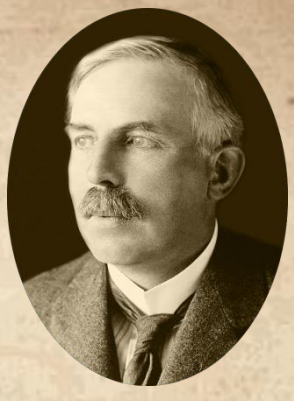
Ist dies naturwissenschaftliches

Glatteis? Mit Grüßen

Joseph J. Thomson, England, 1897



Abbildung 1.03: Brief von *Joseph J. Thomson* an *Philipp Lenard*



Geschätzter Rutherford,

unser hochgeachteter Kollege Thomson hat mir geschrieben und mich über seine Forschung in Kenntnis gesetzt. Meine Arbeit hat ergeben, dass Atome keine massiven Kugeln sind, sondern das Innere des Atoms so leer ist wie das Weltall. Der harte Kern, den ich aber nicht näher erforscht habe, macht höchstens 1/1000 des Atomradius aus, vielleicht noch weniger. Beim Beschuss von Atomen mit Elektronen, kamen die negativen Teilchen fast alle unabgelenkt aus der Apparatur heraus, ebenso, wie ich sie hineingeschossen hatte. Könnt ihr ein solches Experiment verfeinern?

Bitte teilt mir eure Ergebnisse mit!

Hochachtungsvoll

Philipp Lenard, Deutschland ,1903



Abbildung 1.04: Brief von *Philipp Lenard* an *Ernest Rutherford*



Lieber Kollege Bohr,

ist es nicht erstaunlich, wie aus einer Idee ein Modell werden kann, welches seit über 100 Jahren in der Wissenschaft besteht. So waren es meine Kollegen aus England und Deutschland, die mich hier in Neuseeland beeinflusst haben, den Dingen einmal auf den „Kern" zu gehen. Nachdem bereits Thomson das Elektron entdeckt hatte, konnte ich durch meinen Streuversuch nun auch noch das massive Zentrum des Atoms, den Kern, nachweisen. Das unglaubliche Größenverhältnis von Kerndurchmesser zu Hüllendurchmesser von 1 zu 100.000, war auch für mich zunächst nicht greifbar. Wie wichtig bei dieser Arbeit meine Mitarbeiter waren, wird dadurch belegt, dass es mein Schüler James Chadwick war, der im Zuge unserer Versuchsreihe noch das massive, aber neutrale, Neutron entdeckte. Wie unser Versuch aussah, darüber gibt es ja zahlreiche Quellen auf Papier und Film.

Hochachtungsvoll

Ernest Rutherford, Neuseeland ,1909



Abbildung 1.05: Brief von *Ernest Rutherford* an *Niels Bohr* (Den Versuchsaufbau in animierter und vertiefter Form findet man auf der Seite www.lncu.de)

Liebe Schülerinnen und Schüler,

wie glücklich ich mich schätzen darf, dass es mein Modell ist, welches bis heute als anerkanntes Atommodell den Chemieunterricht erhellt. So stelle ich euch das Atom nun also als ein aus einem schweren, positiven Zentrum bestehenden Kern vor, welcher die Protonen und Neutronen beinhaltet. Dieser Kern wird von deutlich leichteren Elektronen auf Bahnen umkreist. Nun, da habe ich mich dann wohl zu früh gefreut, denn bessere Messgeräte und genauere Berechnungen, für die ich zwar das Wissen, aber nicht die Mittel hatte, sprechen heute nicht mehr von genau festgelegten Bahnen, sondern von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten. Dies kommt euch zu Gute, da ihr die Elektronen nun nicht mehr direkt auf die Linien zeichnen müsst, sondern ihnen etwas mehr Platz geben dürft, nämlich in den Zwischenräumen. Was man bei Protonen, Neutronen und Elektronen unter „schwer" und „leicht" versteht, das erfahrt ihr nächste Stunde.

Hochachtungsvoll

Niels Bohr, Deutschland, 1913



Abbildung 1.06: Brief von *Niels Bohr* an die Schülerinnen und Schüler

Bei der Lehre des *Bohrschen* Atommodells ist es jeder Lehrkraft natürlich selbst überlassen, ob sie sich an die etwas ältere Notation der Elektronen auf den Kreisbahnen hält, oder diese, wie es neuere Ansätze zeigen, zwischen die Kreisbahnen setzt, um damit die Aufenthaltswahrscheinlichkeit und den vergrößerten Bereich darzustellen.

Die Texte sollen nun also jeweils von den Schülern bearbeitet werden und dabei die wichtigsten Punkte in Tabelle 1.02 übertragen werden. Zur besseren Übersicht und zeitsparenden Vorbereitung habe ich unter Tabelle 2 eine mögliche Musterlösung aufbereitet. Diese beinhaltet auch gleich die heute noch gültigen Thesen des jeweiligen Wissenschaftlers, welche dann von der Lehrkraft ergänzt werden können.

Forscher	Jahr	Thesen	heute noch gültig
Demokrit	um 400 v. Chr.	▪ Atome sind die kleinsten, unteilbaren Teilchen (griech. *atomos* = unteilbar)	
John Dalton	1803	▪ Atome sind unzerstörbar ▪ Atome sind die Bausteine aller Stoffe ▪ es gibt so viele Atomarten wie Elemente ▪ Atome verändern sich bei chem. Reaktionen nicht sondern werden nur neu zusammengesetzt ▪ Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in Größe und Masse voneinander ▪ relative Atommassen können errechnet werden	▪ Atome sind die Bausteine aller Stoffe (erweiterbar durch Moleküle, Ionen) ▪ Atomartenanzahl = Anzahl der Elemente ▪ Atome verändern sich bei chem. Reaktionen nicht sondern werden nur in neuen Verbünden neu zusammengesetzt ▪ Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in Größe und Masse voneinander ▪ relative Atommassen können errechnet werden
Joseph J. Thomson	1897	▪ es gibt negativ geladene Elektronen ▪ Atome sind nicht unteilbar ▪ Elektronen können aus Atomen entfernt werden ▪ Elektronen sind in positive Grundmaterie eingelagert ▪ Atome erscheinen nach außen hin neutral ▪ bei Elektronenabgabe/ -aufnahme entstehen positiv/negativ geladene Ionen	▪ es gibt negativ geladene Elektronen ▪ Atome sind nicht unteilbar ▪ Elektronen können aus Atomen entfernt werden ▪ Atome erscheinen nach außen hin neutral ▪ bei Elektronenabgabe/ -aufnahme entstehen positiv/negativ geladene Ionen

Philipp Lenard	1903	▪ Atome sind keine massiven Kugeln ▪ das Innere des Atoms ist leer ▪ Kern ist massig ▪ Kerndurchmesser zu Atomdurchmesser = 1/1000 ▪ Kern lenkt Elektronen nicht ab	▪ Atome sind keine massiven Kugeln ▪ das Innere des Atoms ist (überwiegend) leer ▪ Kern ist massig
Ernest Rutherford	1910/1911	▪ Kerndurchmesser zu Atomdurchmesser = 1/100.000 ▪ Atomkern enthält massige, positiv geladene Protonen ▪ Atomkern ist massig und lenkt Alphateilchen ab ▪ Großteil des Atoms ist leer/das „Nichts“ Alle Inhalte sind mithilfe der Animationen auf der Seite www.lncu.de lehrbar	▪ Kerndurchmesser zu Atomdurchmesser = 1/100.000 ▪ Atomkern enthält massige, positiv geladene Protonen ▪ Atomkern ist massig und lenkt Alphateilchen ab ▪ Großteil des Atoms ist leer/das „Nichts“
ggf. James Chadwick	1932	▪ Atomkern besteht neben Protonen auch noch aus massigen neutralen Neutronen	▪ Atomkern besteht neben Protonen auch noch aus massigen neutralen Neutronen
Niels Bohr	1913	▪ negative Elektronen bewegen sich auf Bahnen um den massigen Atomkern	▪ negative Elektronen bewegen sich auf Bahnen um den massigen Atomkern/ggf. Orbitale/Aufenthaltswahrscheinlichkeiten

Tabelle 1.02: Vom Atombau und Atommodellen (ausgefüllter Musterlösungsvorschlag)

Stunde 5: Die Elementarteilchen - eine Exkursion ins Atom

Im Folgenden geht es nun für eine Stunde um die Elementarteilchen, die in den vorangegangenen Stunden zwar schon benannt wurden, jetzt jedoch noch etwas genauer betrachtet werden sollen. Die Informationen, die beim Erarbeiten gesammelt werden sollten, können in einem Hefteintrag zusammengefasst werden.

Zur Erarbeitung der Stundeninhalte dient ein Unterrichtsgang, welcher sich mit der modellhaften Darstellung des Atomkerns beschäftigt. Alle Fachinhalte, wie z.B. die Masse von Neutronen, Protonen und Elektronen, können beiläufig in die modellhafte Darstellung mit eingearbeitet werden.

Tafelanschrift „Elementarteilchen“

Die Elementarteilchen p^+, n und e^-

Atome bestehen aus dem Atomkern und der Atomhülle. Im Atomkern, der fast 100% der Masse des Atoms enthält, befinden sich die Protonen (p^+) und die Neutronen (n):

$m_{(n)} = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ kg

$m_{(p+)} = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ kg

In der Atomhülle befinden sich die - im Verhältnis zu Protonen und Neutronen - fast masselosen Elektronen (e^-):

$m_{(e-)} = 0{,}911 \cdot 10^{-30}$ kg

Das Größenverhältnis von Atomkerndurchmesser zu Atomhüllendurchmesser ist ein Femtometer (10^{-15} m) zu einem Ångström (10^{-10} m).

Überleitung zu Unterrichtsgang

Abbildung 1.07: Tafelanschrift zum Thema *Elementarteilchen*

Der Unterrichtsgang

Der Unterrichtsgang stellt eine einzigartige Möglichkeit dar, mit den Schülern eine Reise ins Atom zu unternehmen. Wie bereits bei *Ernest Rutherfords* Atommodell erarbeitet wurde, ist das Verhältnis von Atomkerndurchmesser zur Atomhüllendurchmesse 1 zu 100.000, Femtometer zu Ångström. Um dies für Schüler verständlich darzustellen, kann man mit ihnen auf den Schulsportplatz gehen, solange man dort eine 100-Meter-Laufbahn vorfindet. Als weiteres Hilfsmittel benötigt man eine Stecknadel, mit einem Kopfdurchmesser von einem Millimeter. Am besten eignet sich hierbei eine Stecknadel, wie sie z.B. in neuen Hemden, zum Zusammenhalten der Ärmel an das Hemd,

verwendet wird. Diese haben außerdem einen silbernen Kopf, was sie schlechter sichtbar macht.

Das dadurch entstehende Verhältnis von einem Millimeter zu 100 Meter, entspricht nun genau dem Durchmesserverhältnis von Atomkern zu Atomhülle.

Um das Ganze noch faszinierender zu gestalten, stellt sich nun die eine Hälfte der Klasse am Start, die andere Hälfte am Ziel auf. Man selbst geht zur 50-Meter-Linie und steckt dort die Stecknadel mittig ein. Auf Handzeichen fangen die Schüler an, sich auf die 50-Meter-Linie zuzubewegen, mit dem Arbeitsauftrag, erst dann stehen zu bleiben, wenn sie die Nadel auch tatsächlich sehen. Silberne Nadeln sind schwieriger zu erkennen als bunte, zeigen Sie den Schülern im Vorfeld trotzdem nicht die Nadel. Einige werden sie nicht erkennen, wenn sie genau davor stehen.

Hat Ihre Schule das Glück, ein ganzes Sportstadion nutzen zu können, so ist dieser Real-Life-Versuch noch eindrucksvoller: Die Schüler sollen sich hierbei an der Ziellinie, der 100-Meter-, 200-Meter- und 300-Meter-Startlinie aufstellen und Sie platzieren die Stecknadel in der Mitte des Anstoßkreises auf dem Rasen. Somit simulieren Sie gleichzeitig *Bohrs* äußerste Schale und können nochmals auf das Schalenmodell eingehen. Machen Sie den Schülern klar, dass all die Masse, aufsummiert durch das Gewicht der Protonen und Neutronen, des Atoms sich in diesem Stecknadelkopf befindet und alles weitere im Stadion „Nichts“ ist. Schreiten Sie mit ihnen die einzelnen Schalen ab und wiederholen Sie die Elektronenkonfiguration.

Durch diesen Unterrichtsgang können Sie fast alle Atommodelle, aber auch den Aufbau des Atoms wiederholen und die Schüler werden sich, dies kann ich aus eigener Erfahrung sagen, immer an dieses Real-Life-Experiment erinnern, bei dem sie im Chemieunterricht auf die Laufbahn oder sogar ins Sportstadion gegangen sind.

Der zeitliche Aufwand beträgt, je nach Lage der Bahn, auch nur 15 bis 20 Minuten. Der Rest der Stunde kann also mit der Sicherung der Atommassen (siehe Abbildung 1.07) verbracht werden.

Stunde 6: Die Lernzielkontrolle

Keine Stoffvermittlung ohne Lernzielkontrolle, so die häufig vertretene Meinung. In den vorangegangenen Stunden ging es darum, den Schülerinnen und Schülern die historische Genese unseres heutigen Atommodells vorzustellen. Es sollte gezeigt werden, wie früh sich die Wissenschaftler bereits Erkenntnisse angeeignet hatten, die heute noch nicht falsifiziert worden sind. Es wurde darauf geachtet, dass alle Inhalte mit einem hohen Anteil an Schüleraktivierung vermittelt werden und somit zielt auch die Lernzielkontrolle auf eine eher spielerische Art der Prüfung ab. Natürlich können Sie die Genese oder einzelne Modelle auch schriftlich abfragen.

Wer wird Molekül?

In Anlehnung an die Fernsehsendung „Wer wird Millionär?“ gibt es im Internet zahlreiche Seiten, auf denen die Folien mit dem Originallayout der Fragen aus dem Fernsehen heruntergeladen werden können. Die Frage erscheint automatisch vor den der Reihe nach aufpoppenden Antwortmöglichkeiten.

Einige mögliche Fragen, die den Schülern als Lernzielkontrolle gestellt werden können, sind hier aufgelistet. Die richtige Antwort ist dabei jeweils unterstrichen.

1. Welche von Thomsons‘ Thesen ist heute nicht mehr gültig?

A Atome sind nicht unteilbar

B Elektronen sind negativ geladen

C Atome haben positive Grundmasse

D Atome sind nach außen hin neutral

2. Was versteht man unter Elementarteilchen?

A Quarks & Photonen

B p^+, e^-, n

C Legonen

D Pronomen, Elektrinos

3. Rutherford verwendete in seinem Streuversuch so genannte “Alphateilchen”. Wie konnte er damit die Protonen im Kern nachweisen?

A Alphateilchen + Protonen = Farbreaktion

B Alphateilchen + Protonen = Lichtblitze

C Reaktion nur mit Goldfolie möglich

D Alphateilchen + Protonen = Abstoßung

4. Das Verhältnis von Atomkerndurchmesser zur Atomhüllendurchmesser entspricht:

A Femtometer zu Ångström

B Ångström zu Femtometer

C Pikometer zu Ar

D Millimeter zu Dezimeter

5. Vergleicht man den Streuversuch mit dem Wurf von Tennisbällen gegen eine Ziegelmauer, dann würden:

A Alle Tennisbälle abprallen

B 99% der Tennisbälle durch die Mauer fliegen

C Die Bälle verschieben die Ziegel

D Die Ziegel ziehen die Tennisbälle an

Diese Reihe ist natürlich beliebig erweiterbar. Um die Antworten geben zu können, lassen Sie von den Schülern einfach ein A4-Blatt in vier Teile zerteilen und auf je ein Viertel die Buchstaben A bis D schreiben. Nach dem Stellen jeder Frage haben die Schüler einige Sekunden Bedenkzeit. Sie müssen dann auf Ihr Kommando hin die Schilder heben. Hebt jemand zu spät hoch, oder wartet auf die Antworten der anderen, so ist dieser ausgeschieden. Es gewinnen die, die alle Fragen richtig beantworten. Wenn 10 bis 15 Fragen erstellt werden, so eignet sich diese Methode auch sehr gut zur Vergabe einer mündlichen Note.

Schlussbetrachtung

Auch mein Referendariat in Bayern war geprägt von neuen Methoden, dynamischen Unterrichtseinstiegen und Zirkusvorstellungen vor einem Publikum, das man „Schüler“ nannte. Der Unterrichtsalltag zeigte mir dann jedoch schnell, dass die „alten Methoden“ keinesfalls nur Schlechtes beinhalten. Warum der historisch-genetische Unterrichtsverlauf bereits in meiner Studienzeit so verpönt war, erschließt sich mir nicht.

Und so bin ich mir bewusst, dass ich hier zum Thema Atombau und Atommodelle nur alten Wein in einem neu aufbereiteten Schlauch präsentiere, doch hoffe ich, der ein oder anderen Kollegin und dem ein oder anderen Kollegen eine neue Möglichkeit des Unterrichtens zu diesem Thema eröffnet zu haben, bei der Sie sich, durch die vorbereiteten Materialien, eines selbst schenken können, nämlich Zeit.

Literatur

Alle fachlichen Inhalte stammen in abgewandelter Form aus *Seitz, H. et al. (2006):* Galvani. Chemie 1. Ausgabe Bayern. Bayerischer Schulbuch Verlag GmbH: München, Düsseldorf, Stuttgart.