

Alles nur Show?

Ein Plädoyer für „Nano“ im Chemieunterricht

Von Lutz Stäudel

Wir kennen das aus der Vergangenheit zur Genüge: Da wird eine neue Technologie „erfunden“, neue Werkstoffe erscheinen auf dem Markt: umgehend entwickelt jemand schicke Experimente, am besten mit einem gewissen Show-Effekt, und schon ist eine neue Thematik für den Chemieunterricht geboren, drängt sich zwischen die bekannten und meist auch bewährten Inhalte und beansprucht einen großen Teil der knappen Zeit, oft genug mit eher geringem Bildungswert. Ist der Verdacht von der Hand zu weisen, dass es bei „Nano“ ganz ähnlich ist?

Auch wenn Experimente mit Unterhaltungswert eine lange Tradition in der Geschichte der Naturwissenschaften haben – von den Salonexperimenten des 18. Jahrhunderts mit statischer Elektrizität oder dem Zauber des Döbereiner Feuerzeugs bis hin zu Weihnachtsvorlesungen mit Feuerwerk und Knalleffekt –, solches Spektakel mag man besser dem Fernsehen überlassen, denn zum Verständnis dessen, was der naturwissenschaftliche Blick auf die Welt bedeutet, tragen sie meist eher wenig bei. Kurzfristige Faszination, das wissen wir

inzwischen recht gut, taugt auch nicht zur Verbesserung der Akzeptanz von Naturwissenschaften und Technik, sondern verschwindet schnell zwischen den vielen anderen Events und Spektakeln der Medien und der Freizeitindustrie. Was also kann „Nano“ für den Unterricht bieten? Wo liegen die spezifischen didaktischen Potenziale und wie können wir sie nutzen?

Nano und Naturwissenschaftliche Grundbildung

Fragen nach der Bedeutung für das Lernen und Verstehen müssen heute in der Weise präzisiert werden, ob und wie sie zum Aufbau einer belastbaren naturwissenschaftlichen Grundbildung beitragen können. In erster Näherung und vor dem Hintergrund der zunehmenden Präsenz von „Nano“ im Alltag scheint die Antwort einfach zu sein: „*Naturwissenschaftliche Bildung soll dem Individuum eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklungen und naturwissenschaftliche Forschung ermöglichen.*“ [BSCh S. 8]. Dieser Forderung werden mögliche Ziele eines Unterrichts, der sich mit „Nano“ auseinandersetzt, gerecht:

- das Hinterfragen der Versprechungen von „Nie-mehr-Putzen“-Oberflächen,
- die Frage nach dem möglichen Nutzen und wahrscheinlichen Gefahren von Nano-Produkten für Gesundheit und Umwelt oder
- die Analyse von Horrorszenarien einer Nano-Maschinen-Welt und ihre Charakterisierung als literarischer Gag mit realistischen Zutaten.

Kompetenzentwicklung im Sinne naturwissenschaftlicher Grundbildung meint aber mehr als Alltags- und Technikbezug und versteht sich grundsätzlicher. Daher sei der Blick zunächst auf die Bildungsstandards für das Fach Chemie gelenkt, um dort eine Verortung von „Nano“ zu versuchen.

Neben dem Erfahrbarmachen von Phänomenen und einem Verständnis der sprachlichen Spezifika muss ein Thema auch Gelegenheit für die Schülerinnen und Schüler geben, sich mit „den spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinanderzusetzen. Dazu gehört das theorie- und hypothesengeleitete naturwissenschaftliche Arbeiten ...“ [BSCh S. 8]. Unsere Schüler also als Forscher in der Nano-Dimension? Ein hoher – zu hoher – Anspruch, wie es scheint!

Betrachtet man die Kompetenzfelder *Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung* und ihre Strukturierung durch die Basiskonzepte des Faches Chemie (Stoff-Teilchen-Beziehungen, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen,



Quelle: Ecole Polytechnique de Montréal

1: Nanostrukturen – was können sie für den Unterricht bieten?

chemische Reaktion und energetische Betrachtung bei Stoffumwandlungen), dann werden aber eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten erkennbar und damit auch Aspekte, unter denen sich das Thema „Nano“ für den Unterricht erschließen, akzentuieren und konkretisieren lassen könnte: So sollen die Schülerinnen und Schüler im **Kompetenzfeld Fachwissen** im Hinblick auf die Basiskonzepte:

Stoff-Teilchen-Beziehungen

- „modellhaft den submikroskopischen Bau ausgewählter Stoffe beschreiben“ lernen (Fachwissen 1.2).
- die Vielfalt der Stoffe auf der Basis unterschiedlicher Kombinationen und Anordnungen von Teilchen“ erklären (Fachwissen 1.5).

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen

- „ein geeignetes Modell zur Deutung von Stoffeigenschaften auf Teilchenebene“ nutzen“ (Fachwissen 2.2).
- „aus den Eigenschaften der Stoffe auf ihre Verwendungsmöglichkeiten und auf damit verbundene Vor- und Nachteile“ schließen (Fachwissen 2.3).

Chemische Reaktion

- „Stoff- und Energieumwandlungen hinsichtlich der Veränderung von Teilchen und des Umbaus chemischer Bindungen“ deuten (Fachwissen 3.2).
- „Möglichkeiten der Steuerung chemischer Reaktionen durch Variation von Reaktionsbedingungen“ beschreiben. (Fachwissen 3.7).

Es ist unschwer zu erkennen, dass die Nano-Dimension unter diesem Blickwinkel ausgesprochen geeignet ist, einen Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte auf der Ebene des Fachwissens zu leisten. Wo zuvor für die Lernenden eine anscheinend unüberwindbare Kluft zwischen dem makroskopischen Stoff und seinen sehr stabilen Eigenschaften einerseits und einzelnen Atomen oder Molekülen ohne Farbe, Härte oder klar begrenzter Gestalt andererseits existiert, können jetzt Teilchenverbände diese Lücke schließen.

Betrachtet man hierzu die Beiträge in diesem Heft, wird besonders bei den variierenden Erscheinungsformen von Gold-Dispersionen (vgl. S. 39 ff.) die allmähliche (und keineswegs kontinuierliche) Herausbildung makroskopischer Eigenschaften sichtbar.

Ähnliches gilt für die Abformung von Nano-strukturierten Oberflächen wie beim Lotus-Effekt (vgl. S. 20 ff.) wie auch für die Experimente mit hochdisperser Kieselsäure (vgl. S. 36 ff.).

Voraussetzung für die Lern-Wirksamkeit ist in jedem Fall, dass die Auseinandersetzung mit diesen Phänomenen möglichst weit in Schülerhand gegeben wird, auch experimentell; ebenso wichtig ist aber die gemeinsame – theoretische – Vorbereitung solcher Experimente und Untersuchungen und eine durchgängige Begleitung auf der Metaebene: Nur wenn die Schüler selbst die Fragen stellen oder zumindest formulieren können, die im Experiment beantwortet werden, können sie das Erfahrene mit Gewinn ihrer persönlichen naturwissenschaftlichen (Grund-)Bildung eingliedern.

Themenrelevante Kompetenzen „Kommunikation“

- K 1** recherchieren zu einem chemischen Sachverhalt in unterschiedlichen Quellen.
- K 2** wählen themenbezogene und aussagekräftige Informationen aus.
- K 3** prüfen Darstellungen in Medien hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit.
- K 6** protokollieren den Verlauf und die Ergebnisse von Untersuchungen und Diskussionen in angemessener Form.
- K 7** dokumentieren und präsentieren den Verlauf und die Ergebnisse ihrer Arbeit situationsgerecht und adressatenbezogen.
- K 8** argumentieren fachlich korrekt und folgerichtig.

Damit kann auch den Forderungen für den **Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung** ansatzweise entsprochen werden. Zwar ist die Thematik so komplex, dass Schülerinnen und Schüler im Zusammenhang mit den Phänomenen der Nano-Welt kaum selbst „geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen“ planen werden (Erkenntnisgewinnung 2), wohl aber können sie unter Anleitung „qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durchführen und diese protokollieren“ (Erkenntnisgewinnung 3), dabei „relevante Daten“ gewinnen (Erkenntnisgewinnung 5) und unter Nutzung geeigneter Modelle (Erkenntnisgewinnung 7) daraus geeignete Schlussfolgerungen ziehen (Erkenntnisgewinnung 6). Auf diesem Weg können die Lernenden auch Erfahrungen mit der Frage machen, welche Problemstellungen „mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind“ (Erkenntnisgewinnung 1).

Die in diesem Heft hierfür entfalteten Beispiele sind vielfältig: Erscheinungen wie der Tyndall-Effekt, der eindrucksvoll den Übergang von echten Lösungen mit ihren nicht sichtbaren Inhaltsstoffen hin zu undurchsichtigen Emulsionen mit mikroskopisch erkennbaren Öl- oder Wasser-Tröpfchen zeigt (vgl. S. 26 ff.), eignen sich ohne besondere Vorkenntnisse dazu, dass Schülerinnen und Schüler Vermutungen äußern, was denn den Lichtstrahl sichtbar macht und auch, dass die Dimension dieses Etwas in etwa der von Lichtwellen ähneln muss.

Ähnliches gilt für die Variationsbreite der Farberscheinungen beim Goldpurpur (vgl. S. 26 ff.), wo – wissenschaftlich betrachtet – allerdings keine einfache Entsprechung von Partikelgröße und gestreuter Farbe existiert.

Bezogen auf den **Kompetenzbereich Kommunikation** eröffnen sich im thematischen Zusammenhang insbesondere Möglichkeiten zur:

Verbindungen knüpfen und lösen – variable Eigenschaften im Modell

Wenn man auf einen Festkörper eine Kraft ausübt, dann reagiert er entweder elastisch (er wird kurzzeitig verformt und schnappt dann in die ursprüngliche Gestalt zurück) oder verformt sich dauerhaft plastisch. Für beides gibt es in Alltag, Umwelt und Technik Anschauungsmöglichkeiten und auch passende Modelle zu Erklärung. So lassen sich Kupfer oder Silber durch Hämmern in Form bringen bis hin zu sehr dünnen Folien – im Modell gleiten Schichten von Metallatomen aneinander entlang oder dringen ineinander ein. Umgekehrt lässt sich eine Stahlfeder zusammendrücken und schnell anschließend in ihre Ausgangsform zurück: Das Modell zeigt stabile Verbände von Atomen, die bei moderater Krafteinwirkung mit ihren Nachbarn verknüpft bleiben und nur ein wenig aus ihrer Ruhelage gedrückt werden können, mehr Kraft bewirkt ein Brechen, aber keine Verformung.

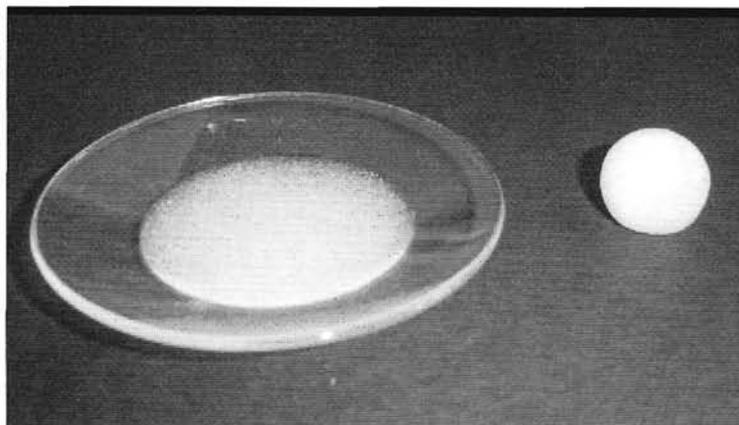
Dass ein Stoff beides zugleich sein kann, plastisch verformbar und elastisch, zeigen Substanzen wie der „hüpfende Kitt“ (Abb. 1), aber auch die mit wenig Wasser versetzte Stärke (Abb. 2). Durch allmähliche anhaltende (und relativ schwache) Krafteinwirkung werden die

Haftstellen zwischen den Teilchen überwunden, die Form verändert sich, anschließend gibt es neuen Zusammenhalt: Kitt und Stärkekleister füllen ein Gefäß ähnlich wie eine Flüssigkeit und fließen sogar durch einen Trichter. Kurze, schnell einwirkende Kräfte können die Verbindungen nicht lösen, Kitt und Stärkebrei verhalten sich elastisch oder „brechen“: Die Kitt-Kugel hüpfet, schlägt man auf die Stärke-Oberfläche mit einem Hammer, dann reißt und bricht sie.

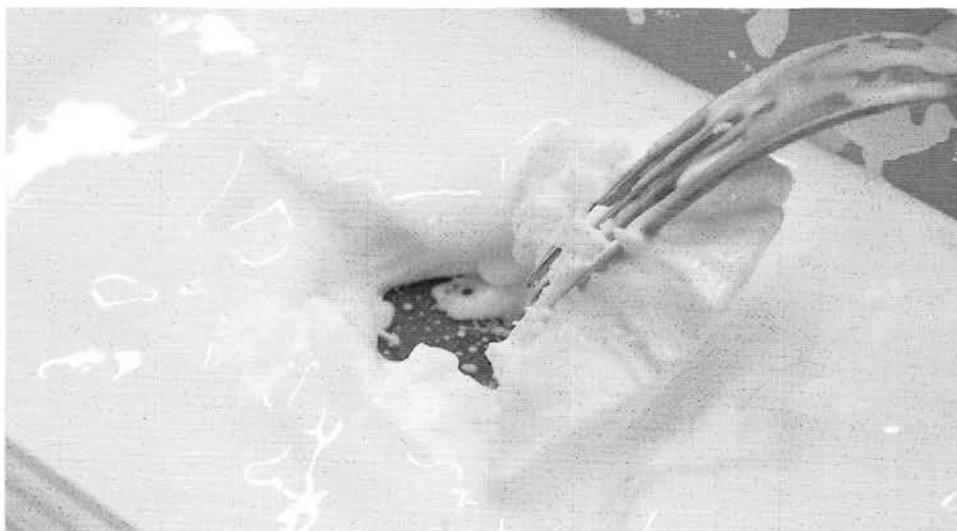
Auch wenn es eher selten vorkommt, dass jemand über eine Moorfläche läuft, helfen diese Betrachtungen deren besondere Eigenschaften besser zu verstehen. Dass man umso weniger einsinkt, je schneller man drüber läuft und dass langsame Bewegungen das Versinken im Moor begünstigen.

Auf der Ebene von Atomen und Molekülen findet so eine Ausdifferenzierung der Vorstellungen statt, die auch anderes besser verstehen lassen, z. B. die unterschiedlichen Viskositäten von Flüssigkeiten, das Entstehen von Nahordnungsbereichen (z. B. im Wasser) u.v.a.m.

Fotos: Yvonne Niederhöfer, Lutz Stäudel



1: Hüpfender Kitt – verformbar (li) und elastisch (re)



2: Stärkebrei verhält sich elastisch oder bricht

Mal fest, mal „flüssig“ – im Großen und im Kleinen

Wer einen Pfosten für einen Gartenzaun setzen will, benutzt am besten Beton oder eine andere aushärtende Mischung. Aber was macht man, wenn man am Strand ein Netz fürs Beachball-Spielen spannen will? Pfosten und die Hüringe für die Spannseile werden möglichst tief in den Boden getrieben und dann wird der Sand drum herum festgedrückt oder gestampft. Wie das wohl hält?

Ein ähnliches Phänomen kennt jeder von der Ketchup-Flasche: Man kann sie auf den Kopf stellen, ohne dass etwas herauskommt, aber nach dem Schütteln hat mancher schon sein Hemd bekleckert, weil das Ketchup plötzlich sehr beweglich geworden war.

Dafür sind Haftstellen zwischen den Teilchen verantwortlich und Wechselwirkungen, die schwächer sind, als chemische Bindungen im engeren Sinn. Ist das Gefüge einmal durch äußere Kräfte gestört, dauert es wieder eine ganze Weile, bis sich diese Anziehungskräfte zwischen den molekularen Nachbarn wieder ausbilden. In der Zwischenzeit ist die Substanz mehr oder weniger flüssig.

Ganz ähnlich ist es bei einem Stock im Sand (**Abb. 3**), wenn man den Boden drum herum festgetreten hat: Stört man das Gefüge, indem man den Stock z. B. dreht, dann verliert er schnell seinen Halt. Gleichzeitig sieht man, dass etwas Sand unmittelbar um den Stock herum nach oben kommt: das schafft Raum für die weitere Bewegung des Stocks, umgekehrt ist es diese Bewegung, die den Sand nach oben drückt – ansonsten wäre ja kein Platz für eine Bewegung.

Auch hier können die Entsprechungen im Großen und im Kleinen zu einer Ausdifferenzierung von Modellvorstellungen beitragen. Insbesondere wird jetzt die Frage aktuell, um was für eine Art von Haftstellen es sich eigentlich auf Teilchenebene handelt.



Foto: utz Staudel

3: Der Stock hält im Sand, wenn man den Boden drumherum festgeklopft hat

- Beschreibung, Veranschaulichung und Erklärung „chemischer Sachverhalte unter Verwendung der Fachsprache und/oder mit Hilfe von Modellen und Darstellungen“
- Verknüpfung von „chemischen Sachverhalten und Alltagserscheinungen“
- Übersetzung zwischen Fachsprache und Alltagssprache (Kommunikation 4).

Erscheinungen wie der „Hüpfende Kitt“ oder die sonderbaren Eigenschaften von Stärkebrei, die jederzeit auch zuhause noch einmal in Augenschein genommen werden können, sind motivierende Anlässe, bekannte Modelle auf ihre Anwendbarkeit und Erklärungsmächtigkeit in Bezug auf das beobachtete Phänomen zu überprüfen und nach neuen und anderen Erklärungen zu suchen und deren Brauchbarkeit zu testen. Solches mentale Ausprobieren geht notwendigerweise mit intensivem Sprechen über die Sache einher, schärft zugleich die Gedanken und erweitert die fachsprachliche Gewandtheit.

Ähnlich motivierend zum kommunikativen Austausch dürften die Experimente mit Ferrofluiden sein, wenn sich durch Annäherung eines Magneten Blüten-ähnliche Formen bilden, wieder zerfließen und sich beliebig oft neu strukturieren (vgl. S. 36 ff. in diesem Heft). Über das ästhetische und

spielerische hinaus stellen solche Phänomene unmittelbar Gesprächsanlässe dar, die für die Schülerinnen und Schüler kaum intensiver sein könnten.

Kompetenzbereich Bewertung

Es sind aber nicht nur die faszinierenden Phänomene, sondern – vermittelt durch ein modellhaftes Verständnis – auch die Möglichkeit, zumindest im Ansatz die Möglichkeiten der Nanowelt zu erahnen, die dieses Thema für den Unterricht interessant erscheinen lassen. So zeigt das Beispiel der Ferrofluide modellhaft, wie man sich etwa künftige Behandlungsmethoden bei bösartigen Geschwüren vorstellen kann: Dass Nanoteilchen, nachdem sie durch geeignete Ausstattung an ihren Wirkort gelangt sind, von außen manipuliert werden können und dann z. B. als quasi-massive Metallaggregationen Strahlung in Wärme verwandeln und damit wucherndes Gewebe zerstören können.

Natürlich sind die Zugänge für eine Bewertung im Sinne der Bildungsstandards weitaus differenzierter zu betrachten; schließlich gibt es nicht nur Vorteile zu erwarten, sondern

Strukturen machen den Unterschied

Die gezielte Veränderung von Oberflächen ist nichts Neues. So wissen wir ja, dass ein Wassertropfen auf einer Glasfläche nicht beliebig auseinander läuft, weil die Oberflächenspannung ihn zumindest teilweise in Form hält. Um diesen Effekt zu verstärken und richtig glitzernde (weil das Licht stärker brechende) Wassertropfen auf einer Limonaden- oder Bierflasche zu erhalten, überziehen Werbefotographen solche Objekte seit langem mit einer dünnen (unsichtbaren weil lichtdurchlässigen) Wachsschicht. Auf dieser Wasser abstoßenden Oberfläche kann die Oberflächenspannung des Wassers viel besser zur Wirkung kommen: Es bilden sich stärker gekrümmte, dickere Tropfen.

Das ist aber alles noch nichts gegen den Lotus-Effekt (**Abb. 4**), der eine Haftung von Wasser auf dem Untergrund fast ganz ausschließt und bewirkt, dass „richtige“ Tropfen darauf herumrollen und schließlich abperlen. Die Nano-Dimension zeigt hier, dass es neben stofflichen Eigenschaften – die Blattoberflächen weisen wachsartige Substanzen auf – zusätzlich die räumlichen Strukturen sind. Submikroskopisch kleine Zapfen vermindern die Auflagefläche so weit, dass praktisch keine Benetzung mehr stattfinden kann.

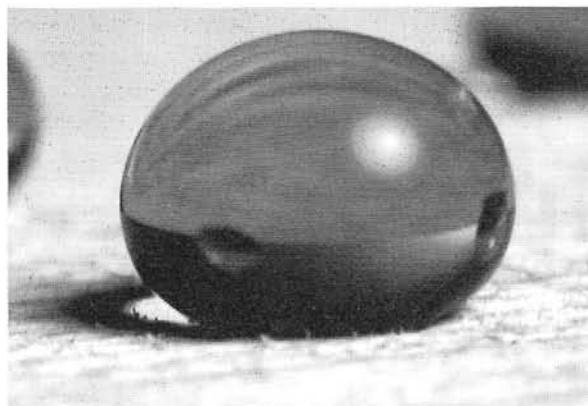


Foto: BASF

4: Der Lotus-Effekt bewirkt, dass Tropfen auf einem Untergrund abperlen

Ähnlich entscheidend ist an anderer Stelle die Größe von Teilchen-Aggregaten, etwa beim Tyndalleffekt oder bei den Goldsolen. Je nach Größe wechselwirken diese Teilchen mit dem Licht, besonders dann, wenn dessen Wellenlänge und die Ausdehnung der Nano-Teilchen in der gleichen Größenordnung sind.

auch Gefahren. So wie Nanoteilchen durch ihre spezifische Größe und eine in weiten Grenzen manipulierbare Struktur gezielt in einen Organismus eingeschleust werden können, ebenso gut können diese Eigenschaften auch unerwünschte Nebeneffekte hervorrufen, wie es zuletzt am Beispiel von so genannten Nano-Sprays beobachtet worden ist. Die Nano-Welt mit ihren Materialien und Instrumenten bietet damit auch Gelegenheit zur Auseinandersetzung mit dem Fortschritt in Naturwissenschaften und Technik, ganz ähnlich wie früher kontrovers diskutierte Themen, von Pflanzenschutzmitteln bis FCKWs.

Schließlich ermöglicht der Blick in die Nanowelt und auf ihre Anwendungen auch eine „Orientierung für naturwissenschaftlich-technische Berufsfelder“ – wenn auch sicher nur für eine besonders naturwissenschaftliche interessierte Minderheit, und kann „Grundlagen für anschlussfähiges berufsbezogenes Lernen“ schaffen. Letzteres gilt für eine weit größere Gruppe von Schülerinnen und Schülern, denn Nano-Technologien werden in naher Zukunft viele Bereiche von Produktion und Dienstleistung beeinflussen und verändern, keineswegs nur die spezifisch naturwissenschaftlich-technischen.

Ausblick

Wenn es gelingt, den Unterricht um „Nano“ so zu gestalten, dass die Lernenden für sich zum einen die Lücke zwischen

einzelnen Teilchen und großen Stoffportionen schließen können, dass sie zum anderen ein flexibles Verständnis für den Zusammenhang von Größe einer Teilchen-Aggregation und deren Eigenschaften entwickeln können und wenn ihnen schließlich ein paar Phänomene im Alltag durch ein Aha-Erlebnis aus dem Nanokosmos verständlicher werden, dann hat dieses Themenfeld hinreichend Legitimation, um für eine gewisse Zeit die Aufmerksamkeit von Lehrenden und Lernenden in Anspruch zu nehmen.

Nicht verschwiegen werden soll aber, dass nicht alle in diesem Heft vorgeschlagenen Experimente in Schülerhand gegeben werden können und dass es an mehreren Stellen der intensiven Vorbereitung durch die Lehrkraft bedarf. Umgekehrt werden aber nur wenige zusätzliche Materialien benötigt und die meisten Chemikalien und Geräte sind üblicherweise an einer Schule vorhanden.

Literatur

Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) vom 16. 12. 2004. München 2005. http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Chemie_MSA_16-12-04.pdf