

Didaktisch integrativer Chemieunterricht

Kohärente Inhalte, Methoden und Medien

M. W. Tausch

Unter snobistisch dekorierten Überschriften wird in diesem Beitrag auf Fragen, Ansichten und Lösungen zur Chemiedidaktik eingegangen. Ironie und Selbstironie reichen sich dabei augenzwinkernd die Hand.

1 Neues in der Chemiedidaktik – *déjà vu?*

In der „Methodik des chemischen Unterrichts“ von Karl Scheid aus dem Jahr 1927 [1], einer Zeit, in der noch um die Etablierung der Chemie als Schulfach gerungen wurde (heute müssen wir paradoxerweise um den Erhalt dieser naturwissenschaftlichen Grunddisziplin kämpfen!) heißt es im Kapitel „Chemie als Lehrgegenstand an unseren Schulen“: „Erkennen wir damit die Chemie als die Grundlage und wichtigste Stütze aller Zweige des naturwissenschaftlichen Unterrichts überhaupt an, so haben wir ihr als idealen Zweck in der Schule auch noch die Aufgabe zuzuschreiben, daß sie den Einheitsgedanken zum Verständnis bringt, welcher die heutige Naturwissenschaft beherrscht ... Als ideale und von keiner anderen naturwissenschaftlichen Disziplin erfüllbare Aufgabe kommt dem chemischen Unterricht zu, die übrigen Wissenschaftszweige von der lebenden und toten Natur um sich zu sammeln und dieselben als gemeinsames Band zu durchdringen.“ In heutiger Diktion kommt das der Forderung gleich, Chemie als grundlegende Naturwissenschaft, aber auch allgemeinbildend und fächerverbindend zu vermitteln.

Im Kapitel „Umfang und Verteilung des Lehrstoffes“ des gleichen Werkes [1] wird gefordert, dass der Anfangsunterricht „von den Erscheinungen des täglichen Lebens“ auszugehen hat, weil „die reine Systematik auf dem Gebiet der exakten Naturwissenschaften in noch höherem Grad ermüdend und abtumpfend wirkt als in der Biologie“ und „nur derjenige wissenschaftlich arbeiten kann, für welchen das System mehr ist, denn Namen und Worte“. Bei fortschreitendem Chemieunterricht soll jedoch mehr und mehr die Systematik eingeflochten werden, denn „in passender Weise ausgesucht, lassen sich die Darbietungen des Unterrichts immer in eine zwanglose Steigerung vom Leichterem zum Schwereren“ gestalten, so dass „sie auch die rege Mitarbeit der Schüler anregen“. Auch das lässt sich leicht in aktuell übliche Begriffe

und Forderungen an den Chemieunterricht übersetzen: Er soll Alltagserfahrungen und lebensnahe Kontexte der Schülerinnen und Schüler aufgreifen und die chemische Fachsystematik in altersgerechten Stufen kompetenzorientiert und kumulativ erschließen.

Durch zahlreiche weitere Literaturzitate ließe sich belegen, dass die wichtigsten allgemein anerkannte Axiome der Chemiedidaktik bereits vor 100 Jahren die gleichen waren wie heute. Dennoch werden altbekannte und bewährte didaktische Grundsätze immer wieder „neu erfunden“. Wirklich neu sind oft nur die Schlagworte, unter denen sie ins Gespräch und in die Literatur gebracht werden. Dabei bedient man sich zunehmend und vorzugsweise des Englischen, werden doch so die *big ideas* und *core concepts* über *pedagogical content knowledge*, *experimental approaches*, *inquiry-based learning*, *misconceptions*, *nature of science* etc. mit größerem *impact* in der internationalen *community* verbreitet. Neues, das im Kern gar nicht neu ist, kommt insbesondere aus den fachdidaktischen Arbeitskreisen von Universitäten und Hochschulen. An die eigene Nase fassend liegt die selbstkritische Frage in der Luft, ob das, was in diesem Beitrag folgt, nicht auch *déjà vu* ist. Entscheiden Sie selbst.

In Anlehnung an frühere Betrachtungen [2] soll didaktische Integration im Fach Chemie wie folgt verstanden werden: **Didaktische Integration** ist die kohärente Vernetzung von Lehr-/Lerninhalten, Methoden und Medien zu zeitgemäßen und effizienten Curricula für den Chemieunterricht.

Hierbei steht also die *kohärente*, d. h. stimmige, schlüssige und folgerichtige Kombination von Inhalten, Methoden und Medien des Chemieunterrichts im Fokus. Zugegebenermaßen ist auch das nicht neu. Da sich aber sowohl die Inhalte des Chemieunterrichts als auch die Methoden

und Medien nach denen bzw. mit denen Chemie vermittelt wird, so rasch wie kaum in einem anderen Schulfach und mit steigender Geschwindigkeit ändern, erscheint es sinnvoll, ausführlicher darauf einzugehen, was und wie didaktisch integriert werden soll.

2 Diskurs in der Chemiedidaktik – *l'art pour l'art?*

Nein, es ist nicht *Kunst um der Kunst willen* wenn man kontrovers darüber diskutiert was und wie im Chemieunterricht vermittelt werden soll. Es ist vielmehr notwendig, in erster Linie über die Auswahl und die didaktische Aufbereitung der zu vermittelnden **Inhalte** nachzudenken. Diese lassen sich grob in *Fachinhalte* und *Kontexte* einteilen.

- Zu den **Fachinhalten** gehören *phänomenologische Fakten* aus Experimenten und das Grundgerüst der *chemischen Fachsystematik*. Als chemische Fachsystematik ist das Geflecht aus grundlegenden Fachbegriffen und Konzepten, Ordnungsrelationen und Klassifikationssystemen, Stoffen und Reaktionen, Hypothesen und Gesetzen, Formeln und Modellen zu verstehen.
- Die **Kontexte** werden auch zu den Inhalten des Chemieunterrichts gezählt, weil sie die Bezüge der chemischen Fachinhalte zum Lebensalltag der Schülerinnen und Schüler, zu technischen Anwendungen und Umweltphänomenen sowie zu Inhalten der MINT-Fächer und anderer Schulfächer herstellen. Bei der didaktischen Integration haben die Bezüge der Chemie zu den globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts (Stichworte: Energie, Ernährung, Wasser, Klima, Mobilität) eine herausragende Bedeutung.

Der Grundsatz, dass Chemie in Kontexten zu unterrichten sei, ist ebenso wahr wie trivial und (wie in Teil 1 gezeigt wird) min-

Bezüge aus Alltag, Umwelt und Technik oder Anknüpfungen an Vorkenntnisse	Fachinhalte, -begriffe und -konzepte, die an diesen Bezügen bzw. Anknüpfungen erschlossen werden	„Roter Faden“ in der Unterrichtsreihe
Hart oder weich, plastisch oder elastisch?	Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere	Klassifikation von Kunststoffen nach Eigenschaften u. monomeren Bausteinen
Polyethen, Polypropen, Polyvinylchlorid & Co	Struktur und Eigenschaften von Polymeren	↓
Vom Monomer zum Polymer	Radikalische Polymerisation	Radikale als reaktive Zwischenstufen und Radikalketten-Mechanismus in organischen Synthesen und in der Umwelt
Andere Radikale, andere Produkte	Mechanismus der Radikalkettenreaktionen	↓
Atmosphärenchemie und Ozonloch	Chapman-Zyklus und Chlor-Katalyse-Zyklus	↓
Angriffsziel: Die C=C -Doppelbindung	Elektrophile Addition an Alkene	Carbokationen als reaktive Zwischenstufen in elektrophilen und nucleophilen Reaktionen bei der Synthese von Monomeren und Polymeren
Andere Elektrophile, andere Alkene	Induktive Effekte bei elektrophilen Additionen	↓
Reaktionswege zu Monomeren	Substitution und Eliminierung	↓
Reaktionsgeschwindigkeiten messen	Mechanismus der nucleophilen Substitution	↓
Angriffsziel: Die C=O -Doppelbindung	Nucleophile Addition und Polyurethane	↓
Spinnbares aus der Retorte	Polyamide durch Polykondensation	Polyadditionen und Polykondensationen als Grundreaktionen bei der Synthese von Kunststoffen; Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zwischen Monomeren, Makromolekülen und Kunststoffen
Fäden, Platten, Flaschen	Polyester durch Polykondensation	↓
„Bio“-Kunststoffe	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	↓
Silicone – innovative synthetische Werkstoffe	Synthese von Siliconen aus Chlormethylsilanen	↓
Von der Zahnfüllung bis zur Babywindel	Polyacrylate und Superabsorber	↓
Aus alt mach neu	Recycling und Verwertung von Kunststoffabfällen	Depolymerisation, Hydrolyse, Pyrolyse, Kopplungsprodukte, Verbundsysteme
Ökonomie und Ökologie – keine Gegensätze	Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	↓
Warum sehen wir Blattgrün grün? Wie entstehen Leuchtfarben?	Farben durch Lichtabsorption Energienstufenmodell, Lichtabsorption und -emission	Wechselwirkung zwischen Photonen (Lichtquanten) und Molekülen bei der Erzeugung von Farben
Photometrische Messungen	Absorptionsspektren und Lambert-Beer Gesetz	↓
Fluoreszenz und Phosphoreszenz	Fluoreszenzkollektor aus Kunststoff	↓
Vielfalt der Farbstoff-Moleküle	Konjugierte Doppelbindungen, Chromophore	Strukturmerkmale von licht-absorbierenden und -emittierenden Molekülen
Magische Ringe	Das aromatische System und das Benzol-Molekül	↓
Weitere aromatische Verbindungen	Polykondensierte und heterocyclische Aromaten	Aromaten als Lichtabsorber und -emitter; wichtige Vertreter der Aromaten und ihre typischen Reaktionen
Derivate des Benzols	Elektrophile Substitution an Aromaten	↓
Technisch wichtige elektrophile Substitutionen	Nitrierung, Sulfonierung, Friedel-Crafts	↓
Kein Farbstoff ohne ...	Phenol und Anilin	↓
Farbstoffe nach Maß	Synthese von Azofarbstoffen	Reaktionstypen bei der Synthese von Farbstoffen und beim Färben von Textilien; Einteilung von Farbstoffen nach Molekülstrukturen und Anwendungsbereichen
Weitere Farbstoffklassen	Indigo-, Anthrachinon- und Triphenylmethanfarbstoffe Polyphenole Salicylsäure und Aspirin	↓
Farbstoffe in Früchten, Tee und Rotwein	Derivate des Phenols	↓
Blau machen	Färben mit Direkt- und Küpenfarbstoffen	↓
Lebensmittelfarbstoffe	E-Nummern, Struktur-Eigenschaftsbeziehungen	↓
Farbstoffe für Analytik und Solarzellen	Anthocyane als pH-Indikatoren und Photosensibilisatoren	Funktionelle Farbstoffe -farbige Stoffe für besondere Anwendungen
Organische Solarzellen und Leuchtdioden	Photoaktive leitfähige Kunststoffe	↓
Intelligente Materialien und Nanomaschinen	Photochrome molekulare Schalter	Materialien aus funktionellen Farbstoffen und Kunststoffen

Tab. 1: Didaktische Integration beim curricularen Aufbau des Inhaltsfeldes „Organische Produkte - Kunststoffe und Farbstoffe“ in [5] unter besonderen Berücksichtigung des Kernlehrplans Chemie in NRW für die Qualifikationsphase (vgl. auch Erläuterungen im Text)

destens 100 Jahre alt. Dennoch wurde in den vergangenen zwei bis drei Jahrzehnten in der Chemiedidaktik gerade darüber viel und teilweise kontrovers diskutiert [2, 3]. Es wurden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, Kontexte und Fachsystematik sinnvoll, motivierend und effizient zu Unterrichtsreihen und ganzen Lehrgängen für den Chemieunterricht zu vernetzen. Als Ergebnisse dieses Disputs sind zahlreiche Unterrichtsmaterialien entstanden, darunter auch einige Schulbücher [4, 5]. Darin wurden die Fachinhalte und Kontexte des Chemieunterrichts, aber auch die methodischen Herangehensweisen teilweise „neu aufgemischt“. In die etablierte Fachsystematik wurden innovative Inhalte aufgenommen, zeitgemäße Kontexte wurden sinnvoll ausgewählt und didaktisch eingebunden. Insofern hat sich der Disput rund um die Verflechtung der chemischen Fachsystematik mit passenden Kontexten gelohnt – insbesondere was die Weiterentwicklung tauglicher Methoden sowie gedruckter und elektronischer Medien für den Unterricht betrifft.

3 Didaktische Integration – *prêt à l'emploi!*

Die forschende Chemiedidaktik kann dem praktischen Chemieunterricht am besten dienen, indem sie ihm *gebrauchsfertige Unterrichtsmedien* zur Verfügung stellt. Dazu gehören in erster Linie gute Schulbücher im Sinne der oben unter 1. und 2. diskutierten Grundsätze. Heutiger Standard sind parallel zum gedruckten Schulbuch auch sein Pendant als *e-book* und weitere elektronische Materialien. *Interaktive Animationen* zu ausgewählten Experimenten aus dem Schulbuch und zu Vorgängen aus Natur und Technik sowie animierte *Modelle* zu *Elementarprozessen* auf der Teilchenebene unterstützen den Erwerb von Kompetenzen in den Bereichen Fachwissen, Erkenntnisgewinnung und

Kommunikation. Die elektronische Bereitstellung aller *Gefährdungsbeurteilungen* zu den Versuchen aus dem Schulbuch ist eine große Hilfe für die Lehrkräfte. *Folien, Videos* und *Links* mit Zusatzinformationen zu den Unterrichtsinhalten fördern individuelles Lernen insbesondere im Bereich innovativer und interdisziplinärer Inhalte.

Gebrauchsfertig in diesem Sinne wird das Konzept der didaktischen Integration im Medienpaket CHEMIE 2000+ verwirklicht [5]. Die Reihe umfasst *länderspezifische* Bände für die Sekundarstufen I und II. Das ist notwendig, weil die *Lehrpläne* insbesondere bei der Strukturierung und Reihenfolge der abiturelevanten Fachinhalte erhebliche Unterschiede aufweisen. Das kann sogar ganze Inhaltsfelder der Chemie betreffen. Während beispielsweise im Lehrplan des einen Bundeslandes die Klasse der Farbstoffe gar nicht erwähnt wird, gehört sie in einem anderen Bundesland zu den abiturelevanten Pflichtinhalten. Unterschiede dieser Art gibt es auch bei den Naturstoffen, den Reaktionstypen und der Energetik. Wenn also der in einem Schulbuch vorgegebene Lehrgang die Anforderungen der didaktischen Integration (vgl. Teil 1) erfüllen und lehrplanconform sein soll, kommt man an länderspezifischen Ausgaben nicht vorbei.

Der Kernlehrplan für die Qualifikationsphase in NRW sieht das Inhaltsfeld „Organische Produkte – Werkstoffe und Farbstoffe“ vor, wobei als inhaltliche Schwerpunkte auf i) *organische Verbindungen und Reaktionswege*, ii) *organische Werkstoffe* und iii) *Farbstoffe und Farbigkeit* einzugehen ist [6]. Diese drei Schwerpunkte sollen laut Kernlehrplan zu einer kontext- und kompetenzorientierten Unterrichtsreihe kombiniert werden. Im Lehrwerk CHEMIE 2000+ [5] wird dafür die in Tab. 1 angegebene Struktur verwirklicht.

In der *ersten Sequenz* bis zur roten gepunkteten Linie in Tab. 1 werden die wich-

tigsten Reaktionstypen und -mechanismen der Organischen Chemie an Beispielen erschlossen. Sie haben die Synthesen von Makromolekülen und Synthesen der dafür notwendigen Monomere im Fokus. Dabei werden die im Kernlehrplan [6] genannten Kontexte „Vom fossilen Rohstoff zum Anwendungsprodukt“ und „Maßgeschneiderte Produkte“ an repräsentativen Beispielen ausgeleuchtet. Bereits in dieser ersten Unterrichtssequenz werden stellenweise auch die beiden traditionellen Inhaltsfelder „Kunststoffe“ und „Farbstoffe“ an Beispielen *maßgeschneiderter Produkte* für bestimmte Anwendungen bei innovativen Technologien zusammengeführt. In Abb. 1 ist ein solches Beispiel dargestellt. Da die Herstellung, Funktionsweise und Anwendungen eines Fluoreszenzkollektors eine Kunststoffsynthese nach der Methode der radikalischen Polymerisation beinhaltet, ist das Beispiel an entsprechender Stelle angesiedelt. Um ein blasenfreies und funktionsfähiges Produkt zu erhalten, sind Überlegungen, Gespräche und Arbeitsschritte erforderlich, bei denen die Lernenden *Kompetenzen* aus den Bereichen Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung entwickeln und/oder anwenden.

À propos Kompetenzerwerb: Anhand von *Aufgaben mit Musterlösungen* werden am Ende der ersten Sequenz (rote gepunktete Linie in Tab. 1) folgende Kompetenzen exemplarisch vorgestellt, um in weiteren Aufgaben am Ende der Unterrichtsreihe trainiert zu werden:

- Eigenschaften von Polymeren aufgrund der molekularen Strukturen *erklären* und ihre praktische Verwendung *erläutern*;
- Aufbau von Makromolekülen aus Monomer-Bausteinen *erklären* und Kunststoffe aufgrund ihrer Synthese als Polymerisate, Polykondensate oder Polyaddukte *klassifizieren*;
- Reaktionsschritte unterschiedlicher Reaktionstypen *analysieren* und *vergleichen*; organische Reaktionen *klassifizieren*;
- Wege zur Herstellung von Alltagsprodukten, z.B. ausgewählter Kunststoffe, aus ökonomischer und ökologischer Perspektive *diskutieren* und *bewerten*;
- Chemische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien *ordnen* und *strukturieren* (*concept map* erstellen).

Die *zweite Sequenz* zwischen den beiden roten gepunkteten Linien in Tab. 1 verknüpft den inhaltlichen Schwerpunkt *Farbstoffe* und *Farbigkeit* mit dem Schwerpunkt *Organische Verbindungen und Reaktionen* wobei hier sachgemäß der Struktur und den cha-

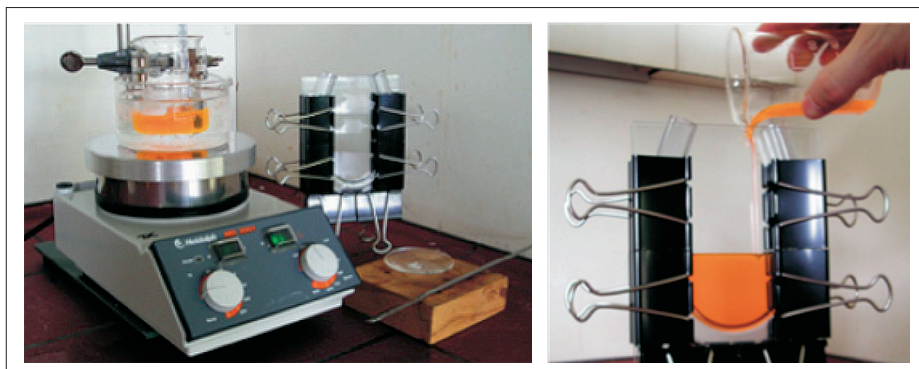


Abb. 1: Herstellung eines Fluoreszenzkollektors aus einem Kunststoff und einem Farbstoff nach [5] (Fotos: Florian Gärtner)

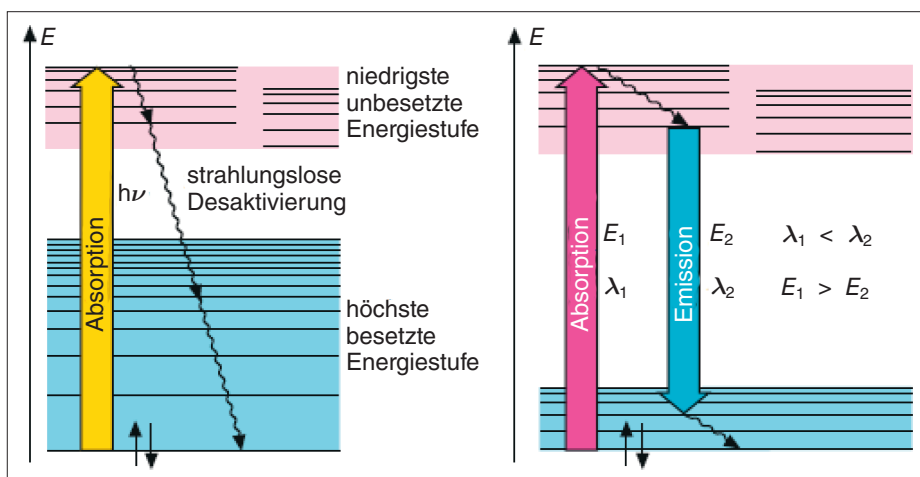


Abb. 2: Energiestufenmodell zur Farbigkeit durch Lichtabsorption und -emission nach [5]

rakteristischen Reaktionen aromatischer Verbindungen besondere Bedeutung zukommt. Das im Kernlehrplan [6] geforderte *Energiestufenmodell* wird zur Erklärung der Farbigkeit durch Lichtabsorption und -emission eingesetzt, obwohl die Lichtemission im Lehrplan nicht *expressis verbis* genannt ist. Allerdings gehört die Farbigkeit durch Lichtemission, die phänomenologisch in Form von Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Chemo- und Elektrolumineszenz auftritt, heute (ganz anders als früher!) zu den Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler. Und auch in der wissenschaftlichen Forschung steht Lichtemission ganz oben, denn durch sie werden weitere Anwendungen mit Lichtausstrahlung aus „maßgeschneiderten Molekülen“ möglich, beispielsweise in hochauflösenden Mikroskopen, energie-

sparenden Lampen oder brillanten und flexiblen Displays. Wenn also das Energiestufenmodell in der Schule schon eingeführt wird, wäre es schade, es nur für die Erklärung der Lichtabsorption zu nutzen. Daher werden in [5] auch didaktisch prägnante Experimente mit Lichtemission angeboten. Das Energiestufenmodell kann so in Verbindung mit dem ihm innewohnenden Konzept vom Grundzustand und dem elektronisch angeregten Zustand bei der Erklärung aller Arten von Farbentstehung und einer Fülle weiterer Phänomene mit Lichtbeteiligung als theoretische Grundlage herangezogen werden.

Aus den Angaben in Tab. 1 ist die curriculare Hauptlinie in dieser zweiten Sequenz zu erkennen. Sie folgt der Erschließung des Zusammenhangs zwischen Farbigkeit und Molekülstruktur mithilfe des

Mesomeriekonzepts, der elektrophilen Substitution bei der Synthese von Farbstoffen und anderen technisch wichtigen Verbindungen sowie den Klassen von Farbstoffen und Färbeverfahren. Diese Fachinhalte stehen auch im Focus der Aufgabenbeispiele mit Lösungen zum Kompetenzerwerb am Ende dieser Sequenz. In den Aufgaben am Ende der Unterrichtsreihe werden sie zum Kompetenztraining eingesetzt.

Von besonderer Bedeutung im Sinne des Kernlehrplans aus NRW ist die Vernetzung der Farbstoffe mit den Kunststoffen. Der Fluoreszenzkollektor (Abb. 1), dessen Herstellung bereits im Zusammenhang mit der radikalischen Polymerisation in der ersten Sequenz durchgeführt wurde, kommt kurz nach Einführung des Energiestufenmodells zum Einsatz bei Solarzellen, seine Wirkungsweise kann jetzt mithilfe der neu erworbenen Kenntnisse über Lichtabsorption und -emission erklärt werden. Die verbindende Brücke zwischen Kunststoffen und Farbstoffen wird in den Unterrichtsbausteinen aus dem unteren Teil der Tab. 1 noch weiter ausgebaut. Es handelt dabei sich um die experimentell-konzeptionelle Erschließung von innovativen Materialien und Verfahren, bei denen die in der gesamten Unterrichtsreihe erworbenen Kenntnisse an Beispielen mit hohem Motivationspotential zur Anwendung, Vertiefung und Erweiterung kommen.

4 Konstruktivistische Lernschleifen – *jamais trois sans quatre!*

Wieso *nie drei ohne vier*, wo doch „aller guten Dinge drei“ sind? Ganz einfach weil eine konstruktivistische Lernschleife, die im didaktisch integrierten Chemieunterricht als **methodische Maxime** rangiert, nicht aus drei sondern aus vier Segmenten (Stufen) besteht. Dies sind: 1. Erkundung des Vorwissens, 2. Erschließung neuer Fakten, 3. Anpassung des Wissens und 4. Anwendung des neuen Wissens (Abb. 3).

Das bedeutet, dass einzelne Bausteine innerhalb einer längeren Unterrichtsreihe vorzugsweise nach dem Muster solcher Lernschleifen strukturiert werden sollten. Dabei wird zunächst das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler erkundet, denn „der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist das, was der Lernende bereits weiß“ [7]. Im nächsten Segment werden neue Fakten erforscht, die im Chemieunterricht vornehmlich aus Experimenten gewonnen werden. Die Interpretation der neuen Fakten zwingt zur Anpassung der

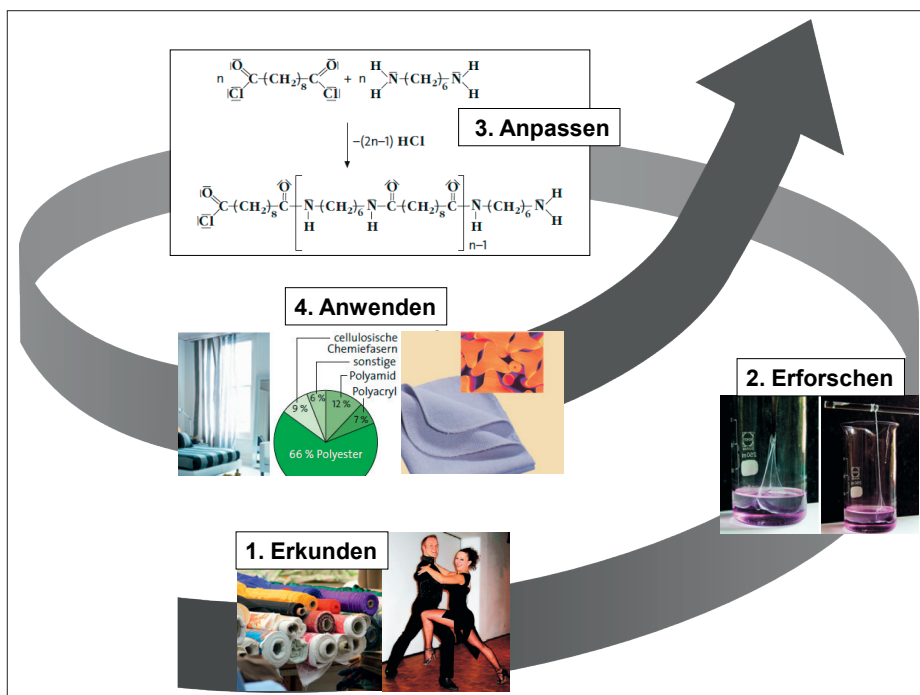


Abb. 3: Konstruktivistische Lernschleife zu synthetischen Textilfasern nach [5]

vorhandenen theoretischen Konzepte in einer Weise, sodass sie den neuen Fakten auch gerecht werden. Manchmal besteht diese Anpassung lediglich in einer Reaktivierung und geringfügigen Erweiterung vorhandener Konzepte¹. Im Beispiel aus Abb. 3, das im Segment „Erforschen“ den bekannten Nylonseilrick-Versuch enthält, sind dies vor allem Kenntnisse über die Kondensationsreaktionen, die Beeinflussung eines chemischen Gleichgewichts durch Entfernung eines Reaktionsprodukts aus dem Gemisch und die zwischenmolekulare Wechselwirkungen bei Makromolekülen. Die konzeptuelle Anpassung wird in diesem Fall durch die neuen Begriffe Polykondensationsreaktion, Phasengrenzreaktion und Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Peptid-Gruppen vollzogen. Diese konzeptuelle Anpassung reicht aus, um als Anwendung die Synthesen und Eigenschaften der wichtigsten Textilfasern unter einen Hut zu bringen.

Was weiter oben als konstruktivistische Lernschleife bezeichnet wird, entspricht 1:1 dem konstruktivistischen Lernzyklus (*learning cycle*), den Heinrich Stork bereits vor 20 Jahren beschrieben hat [9]. Auch in dieser Hinsicht enthält dieser Beitrag also nichts wirklich Neues – es ist nur die geringfügige(!) Wortänderung in der Überschrift. Sie erscheint sinnvoll, weil in einer konstruktivistischen Lernschleife nach der konzeptuellen Anpassung im dritten Segment jeweils eine höhere Erkenntnis- bzw. Abstraktionsstufe als die aus dem ersten Segment erreicht wird. Dafür eignet sich semantisch und bildlich eine offene Schleife aus einer aufwärtsstrebenden Spirale besser als ein geschlossener Kreis.

Anwendbares, vielfach verknüpftes Wissen kann nur erworben werden, indem „jedes lernende Individuum es für sich konstruiert“ [9]. An diesem didaktischen Prinzip orientiert sich die Methodik der konstruktivistischen Lernschleife ebenso wie der *lerntheoretische Konstruktivismus* allgemein, sowie das *forschend-entwickelnde Verfahren* [10] und das *inquiry-based learning* [11] im Chemieunterricht.

Verblasst dadurch die Bedeutung der **Lehrperson** für die Lernprozesse der Ler-

nenden? Das ist keineswegs der Fall. Nicht erst seit der *Hattie-Studie* [12] ist klar, dass die Lehrperson den Erfolg von Unterricht und Lehre entscheidend mitbestimmt. Sie initiiert Primärerfahrungen, adaptiert gesellschaftlich präsentenes Wissen, strukturiert das Unterrichtsdesign und katalysiert konstruktivistische Denkprozesse bei den Lernenden. An Lehrpersonen, die didaktisch integrativen Chemieunterricht umsetzen sollen, werden sehr hohe Anforderungen gestellt, deren Wertschätzung in der Öffentlichkeit und in der Fachwelt(!) leider oft zu kurz kommt. Chemielehrerinnen und -lehrer müssen in der chemischen Fachsystematik quer durch alle Teildisziplinen der Chemie *fit* sein und sie müssen *up to date* mit neueren Erkenntnissen und Anwendungen sein. Das sind notwendige (und noch nicht einmal hinreichende!) Voraussetzungen, um mit den Fachinhalten und Kontexten, den Medien und Methoden souverän und flexibel in jeder Unterrichtssituation umgehen zu können. Didaktische Integration erfordert also nicht zuletzt eine gute Ausbildung und permanente Fortbildung von zukünftigen Chemielehrerinnen und -lehrern. So gesehen trifft für die Laufbahn wieder das *bonmot* aus der Überschrift zu. Sie besteht aus vier Abschnitten, von denen keiner fehlen sollte: 1. Kombinatorischer Bachelor of Arts mit Chemie als Fach, 2. Master of Education, 3. Vorbereitungsdienst für das Lehramt, 4. Regelmäßige Fortbildung während der Lehrtätigkeit im Chemieunterricht. ■

Literatur

- [1] K. Scheid, *Methodik des chemischen Unterrichts*, Verlag von Quelle & Meyer, Leipzig 1927
 [2] a) M. W. Tausch: „Didaktische Integration – die Versöhnung von Fachsystematik und Alltagsbezug“ in *Chemie in der Schule*, 47 (3), 179 (2000); b) M. W. Tausch, M. Woock und M. Twellmann: „Vom Erdöl zum Kaugummi - ein Kontext und seine Facetten“ in *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 50 (1), 11 (2001)
 [3] H. Huntemann, A. Paschmann, I. Parchmann; „Chemie im Kontext – ein neues Konzept für den Chemieunterricht?“ *CHEMKON*, 6 (4), 191 (1999)
 [4] R. Demuth, I. Parchmann, B. Ralle (Hrsg.), „Chemie im Kontext Sek. II“, Cornelsen, Berlin 2006
 [5] C. Bohrmann-Linde, S. Krees, M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), „CHEMIE 2000+ Qualifikationsphase“, C.C. Buchner, Bamberg 2014; *CHEMIE 2000+ Online und weitere Ausgaben auf den Web-Seiten der Chemiedidaktik, Uni-Wuppertal und des C.C. Buchner Verlags*

- [6] Ministerium für Schule und Weiterbildung, „Kernlehrplan für die Sek. II, CHEMIE“, Düsseldorf 2013
 [7] D. P. Ausubel, J. D. Novak, H. Hanesian „Psychologie des Unterrichts“, Bd. 1 (2. Deutsche Auflage), Beltz Verl. Weinheim, Basel 1980
 [8] T. Kuhn, „Die Struktur wissenschaftlicher Revolution“, Suhrkamp Verl., Berlin 1996
 [9] H. Stork: „Was bedeuten die aktuellen Forderungen ‚Schülervorstellungen berücksichtigen, konstruktivistisch lehren‘ für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I?“ *Z. f. Did. Natwiss., Schmidt&Klaunig, Kiel*, 1 (1) 15, (1995)
 [10] H. Schmidkunz, H. Lindemann: „Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren“ *Westarp Wissenschaften, Didaktik Naturwissenschaften Bd. 2*, 6. Auflage 1992
 [11] C. Bolte, J. Holbrook, F. Rauch (eds.) „Inquiry-based Science Education in Europe – Reflections from the PROFILE Project“ Berlin 2012
 [12] J. Hattie: „Lernprozesse sichtbar machen für Lehrpersonen“, übersetzt und überarbeitet von W. Beywl und K. Zierer, Schneider Verl., Hohengehren 2014

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Michael W. Tausch
 Chemie und ihre Didaktik
 Bergische Universität Wuppertal
 Gaußstr. 20, 42111-Wuppertal
 mtaus@uni-wuppertal.de

¹ Gelegentlich führt die Konfrontation mit neuen Fakten zu einer kognitiven Krise oder einem kognitiven Konflikt mit den bisher vorhandenen Vorstellungen und Konzepten. In diesen Fällen kommt es bei der Anpassung zu grundlegenden Änderungen von Begriffen und Konzepten vergleichbar mit dem Paradigmenwechsel in der Wissenschaftstheorie [8].