

CURRICULARE INNOVATION - EIN IMPERATIV FÜR DIE CHEMIEDIDAKTIK

Michael W. Tausch

Bergische Universität Wuppertal, Deutschland

FACHDIDAKTIK - EIN WEITES FELD

*Ist denn die Chemiedidaktik überhaupt ein Teilgebiet der Chemie vergleichbar mit der Anorganischen, Organischen oder Physikalischen Chemie? Chemiker*innen stellen diese und ähnliche Fragen mit provozierendem Unterton gelegentlich an Lehrende und Studierende des Lehramts. Die Chemiedidaktik ist eine Wissenschaft, deren Forschungsgegenstand mit allen Teilgebieten der Naturwissenschaft Chemie Schnittmengen aufweist, darüber hinaus aber auch mit Bereichen aus den Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften. Insbesondere die Pädagogik, die Psychologie, die Wissenschaftstheorie, die Ethik und die Soziologie kommen dabei zum Zuge. Unter Berücksichtigung all dieser Bezüge bezeichnen P. Pfeiffer, K. Häusler und B. Lutz in der Erstveröffentlichung eines Standardwerks die Fachdidaktik ganz allgemein als „die Berufswissenschaft des Lehrers“ (Pfeiffer, Häusler, Lutz, 1996).*

Michael A. Anton sieht die Fachdidaktik als Vermittlungs- und Lehrlernwissenschaft für ein bestimmtes Fach. Er stellt fest, dass sich die Chemiedidaktik seit 1990 auch als forschende Fachdisziplin emanzipiert hat, indem eine Unabhängigkeitsentwicklung gegenüber den Sozialwissenschaften, der Psychologie und der Pädagogik einsetzte und Großprojekte wie „Chemie im Kontext“, SINUS o-der IMST geplant und durchgeführt wurden (Anton, 2008).

DIDAKTISCHES CREDO - SINN(E) DER CHEMIEDIDAKTIK

Mein Credo zur Fachdidaktik habe ich in fünf Metaphern verpackt und im Jahr 1998 als Editorial in der fachdidaktischen Zeitschrift CHEMKON (Tausch, 1998) veröffentlicht. Das auf heutigen Stand aktualisierte und von dem Wiener Kollegen Fredi Moser mit lustigen Cartoons pointierte Credo gebe ich hier wieder. Danach soll Fachdidaktik

1. Fachliche Horizonte überblicken – eine nicht leicht zu erfüllende Forderung und dennoch eine *conditio sine qua non*. Während sich innerhalb der einzelnen Fächer die Einengung auf spezielle Fachgebiete immer weiter fortsetzt, muss die Fachdidaktik das Fach als Ganzes mit allen seinen Teilgebieten im Auge haben. Bei Bedarf müssen Lehrende der Fachdidaktik aber auch in der Lage sein, einen bestimmten Teilbereich heran zu zoomen, scharf zu stellen und für Lernende verständlich zu gestalten.



*Gefragt sind also fachliche Kompetenz
und didaktischer Spürsinn.*

2. Am Puls des Schulalltags horchen – um den sich rasch verändernden Verhaltens-, Informations- und Kommunikations-gewohnheiten von Kindern und Jugendlichen Rechnung tragen zu können. Für Lehrende in der Fachdidaktik sind die Erfahrungen aus eigener Unterrichtspraxis unerlässlich. Ihre Aussagekraft und Zuverlässigkeit sind weitaus höher als die Ergebnisse von Umfragen. Bei kognitionspsychologischen Forschungen ist der direkte Umgang mit Kindern und Jugendlichen in der Schule eine Selbstverständlichkeit.



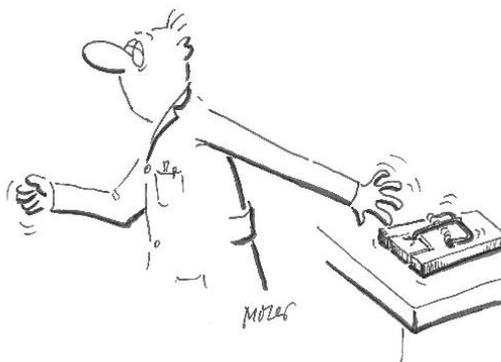
Gefragt sind also pädagogisches Engagement und persönliches Vorbild.

3. Nach Highlights schnuppern – das heißt, neue wissenschaftliche Erkenntnisse, technische Entwicklungen, klima-, umwelt- und nachhaltigkeitsrelevante Zusammenhänge sowie ethische Normen aufgreifen und hinsichtlich ihrer Eingliederung in den Chemieunterricht bzw. in das Lehramtsstudium erforschen. Highlights können aktuell oder zeitlos, lokalspezifisch oder global sein. Ihre didaktische Aufbereitung muss der Allgemeinbildung durch Chemie ebenso dienen wie dem Methodenbewusstsein und den Anwendungen dieser naturwissenschaftlichen Disziplin.



Gefragt sind also ständig zum Lernen bereite Lehrende.

4. Experimentelle Zugänge ertasten – die in sicheren und aussagekräftigen Schulversuchen münden. Auf ihrer Grundlage werden tragfähige Lernkonzepte entwickelt, in Schulklassen erprobt, in Print- und Elektronikmedien dokumentiert und publiziert. Von „neuen Experimenten“ sollte in Publikationen nur dann gesprochen werden, wenn dies gerechtfertigt ist. Vor- oder Parallelarbeiten anderer zum gleichen Thema müssen zitiert, auf die Sicherheitsaspekte, didaktische Intention der



Experimente und ihre Kompatibilität mit den chemischen Basiskonzepten sollte eingegangen werden.

Gefragt sind also Geschick beim Experimentieren sowie Wahrhaftigkeit und intellektuelle Redlichkeit beim Publizieren.

5. Curriculares Design zubereiten und abschmecken – das ist die vornehmste und anspruchsvollste Aufgabe einer Fachdidaktik, die sich als Katalysator und Service für die Lehre des Faches versteht. Die Ergebnisse chemiedidaktischer Forschung müssen fachwissenschaftlich konsistent und kohärent, didaktisch prägnant und methodisch motivierend in komplette Lehrgänge, d.h. in Lehrbücher und digitale Lehr-/Lernmaterialien für den Chemieunterricht und/oder für das Lehramtsstudium, integriert werden. Diese müssen die Hürde von Ministerialgutachten bestehen und sich mit der Kritik von Lehrkräften konstruktiv auseinandersetzen.



Gefragt sind also umfassende Offenbarung und Bereitschaft zu Kritik und Selbstkritik.

Didaktische Integration - Kohärenz von Kontexten und Fachinhalten

Für prüfungsgeplante Lehramtsstudierende und Studienreferendar*innen, aber insbesondere für unterrichtende Lehrkräfte in Schulen mag die Diskussion zwischen Hochschuldidaktiker*innen manchmal wie *l'art pour l'art* (Kunst um der Kunst Willen) erscheinen. Zugegebenermaßen ist dieser Diskurs gelegentlich abgehoben und entfernt von den Problemen derer, die im Schulalltag agieren. Für sie hat höchste Priorität zunächst die Frage, *was* und *wie* im Fach Chemie vermittelt werden soll. Anders ausgedrückt geht es um die Frage nach den zu unterrichtenden *Fachinhalten* und ihrer Verzahnung mit sinnstiftenden *Kontexten*.

Über die Priorität der Fachinhalte und Kontexte bei der praktischen Gestaltung von Chemieunterricht wurde in den letzten 25 Jahren unterschiedliche Ansichten vertreten (Huntemann et al, 1999) & (Tausch, 2000). Soll ein Kontext den Verlauf einer Unterrichtsreihe bestimmen oder der hierarchische Aufbau der Fachsystematik? Es wurden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, Kontexte und Fachsystematik sinnvoll, motivierend und effizient zu Unterrichtsreihen und ganzen Lehrgängen für den Chemieunterricht zu vernetzen. Als

Ergebnisse entstanden zahlreiche Unterrichtsmaterialien, darunter auch einige Schulbücher (Demuth et al, 2006) & (Bohrmann-Linde et al, 2007).

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. die stimmige, schlüssige und folgerichtige Kombination von Inhalten, Methoden und Medien des Chemieunterrichts im Fokus. Diese Forderung ist nicht neu. Sie wurde schon vor fast 100 Jahren gestellt, allerdings in der damals üblichen Diktion (Scheid, 1927). 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, ist es für den Chemieunterricht motivierend, für die Allgemeinbildung förderlich und gesellschaftspolitisch notwendig, die Beiträge der Chemie bei der Lösung globaler Herausforderungen des 21. Jahrhunderts hervorzuheben (Stichworte: Energie, Klima, Ernährung, Wasser, Mobilität, Kommunikation - alles unter dem Desiderat Nachhaltigkeit). Dafür ist curriculare Innovationsforschung in der Chemiedidaktik notwendig.

Curriculare Innovationsforschung - didaktisch prägnant und wissenschaftlich konsistent
Curriculare Innovation in der Chemiedidaktik bedeutet sowohl Erneuerung dessen, *was* gelehrt wird, als auch der Art und Weise *wie* und *womit* das geschieht. Es geht also um den innovativen Wandel von Inhalten, Konzepten, Methoden und Materialien des Chemieunterrichts und der Lehre an Hochschulen. Diese Kategorien müssen permanent an den aktuellen Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse, industrieller Anwendungen, zukunftsrelevanter Herausforderungen und gesellschaftlicher Lebensformen in unserer technischen Zivilisation angepasst werden.

Wer curriculare Innovationsforschung betreibt, baut Brücken zwischen der Fachwissenschaft und der Unterrichtspraxis. Diese Brücken halten nur, wenn sie in beiden Ufern belastbar verankert sind. Fachwissenschaftliche Exzellenz und unterrichtspraktische Expertise sind also notwendige Voraussetzungen für erfolgreiche curriculare Innovationsforschung. Das funktioniert am besten, wenn die Chemiedidaktik aus Universitäten und Hochschulen mit Chemielehrkräften aus Schulen kooperiert.

Wenn man historisch Gewachsenes und Bewährtes in den Lehrgängen als curriculare Konstanten zusammenfasst und weitgehend unberührt lässt, kann man die curriculare Innovationsforschung als didaktische Erschließung aktueller und zukunftssträchtiger Themen aus Wissenschaft, Technik, Umwelt und Leben für die Lehre einengen.

Didaktisch erschließen bedeutet ein gestuftes Forschungsdesign, das folgende fünf Arbeitspakete umfasst (Abb. 1): i) Erforschung neuer experimenteller Zugänge; ii) Einbindung in etablierte und neue didaktische Konzepte; iii) Ausstattung mit neuen Print- und Elektronikmedien; iv) Entwicklung von Unterrichtsdesign für Lehr-/Lernbausteine und v) Test, Evaluation, Reflexion und Optimierung der Ergebnisse aus i) bis iv). Zunächst werden aus den miteinander verbundenen Bereichen Wissenschaft, Technik, Umwelt und Leben neue und zukunfts-relevante Phänomene, Verfahren, Begriffe etc. extrahiert. Aus dem sich dabei auffüllenden Wissenspool werden dann diejenigen Inhalte ausgewählt, die für Unterricht und Lehre relevant erscheinen. Diese Inhalte werden unter didaktischen und methodischen, wissenschafts- und erkenntnistheoretischen sowie lerntheoretischen und bildungspolitischen Gesichtspunkten zu Unterrichtsmaterialien für den Chemieunterricht bzw. das Lehramtsstudium aufbereitet.

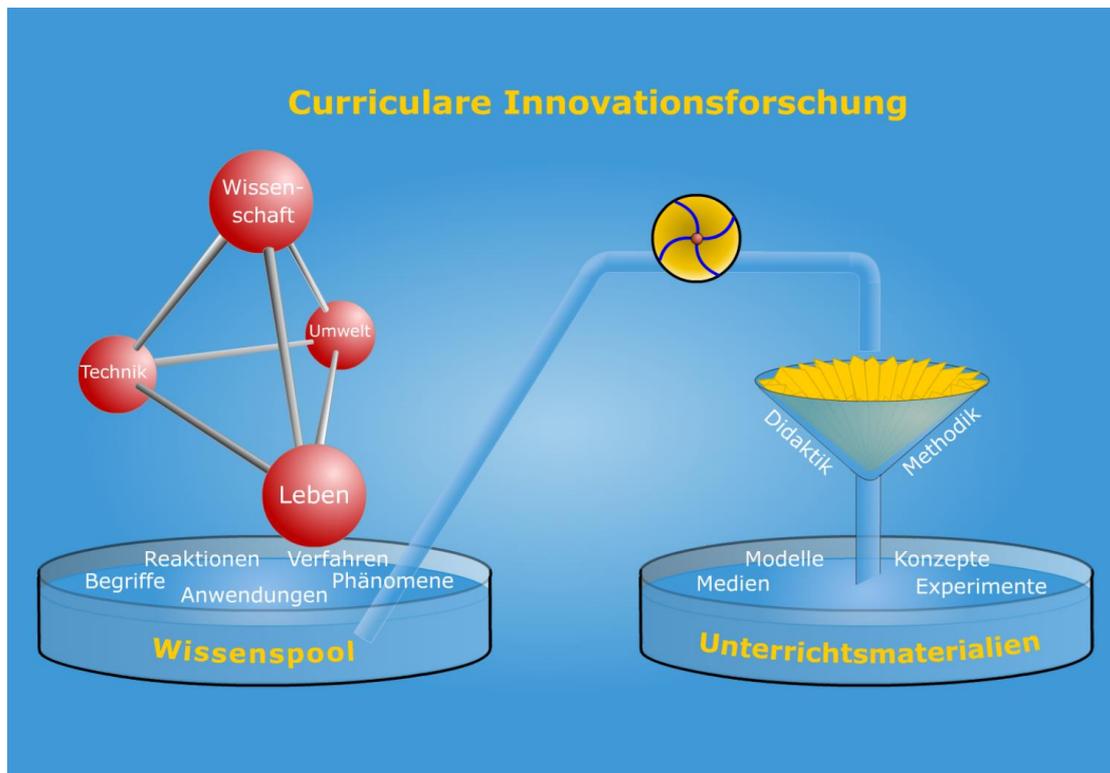


Abbildung 1: Design der Curricularen Innovationsforschung (Grafik von N. Meuter und R.-P. Schmitz).

Die als Ergebnisse curricularer Innovationsforschung entwickelten Unterrichtsmaterialien müssen *wissenschaftlich konsistent*, d.h. mit dem Erkenntnisstand in der Chemie vereinbar sein, was allerdings nicht bedeutet, dass sie auf dem höchsten wissenschaftlichen Niveau angesiedelt sein müssen. Gleichmaßen müssen sie aber auch *didaktisch prägnant* sein, d.h. jeweils zielgenau das Wesentliche der zu vermittelnden Inhalte treffen. Darüber hinaus wird in der curricularen Innovationsforschung über die Interaktion mit Lernenden und Lehrenden im Arbeitspaket v) angestrebt, neues wissenschaftliches Fachwissen (*scientific content knowledge*) auch für die Erzeugung neuen didaktischen Fachwissens (*pedagogical content knowledge*) zu nutzen. So wird gleichermaßen praktischer Service für den Chemieunterricht geliefert und neues Wissen über das Lehren und Lernen der Chemie generiert. Insofern ist curriculare Innovationsforschung eine Synthese aus wissenschaftlicher Grundlagenforschung und angewandter Forschung in der Chemiedidaktik.

Zu den viel beforschten Themen gehören innovative Kunststoffe, nanostrukturierte Materialien, Leuchtstoffe, elektrische Halbleiter, ionische Flüssigkeiten, Flüssigkristalle, verschiedene Arten von Katalysatoren, molekulare Schalter, moderne Batterien und Akkumulatoren, Brennstoffzellen, Konversion und Speicherung von Solarenergie. Im Kontext konkreter Fachinhalte und Experimente zu diesen Themen werden etablierte Schlüsselkonzepte und lehrplankonforme Fachinhalte der Chemie und anderer MINT-Fächer angewendet, vertieft und/oder ergänzt.

ERGEBNISSE CURRICULARER INNOVATIONSFORSCHUNG

Der Schulversuchskoffer CHEM2DO (Kröger et al, 2017) ist ein Ergebnis, das die curriculare Innovationsforschung in Kooperation zwischen den Chemiedidaktiken an der LMU München, der Universität Wuppertal, der Universität Münster und dem Industriekonzern Wacker Chemie AG hervorgebracht hat. Bereits der Vorläufer von CHEM2DO aus dem Jahr 2007 hatte dazu geführt, dass Silicone in Bayern als Pflichtinhalt in den Lehrplan für Chemie in der Sekundar-

stufe II aufgenommen wurden. Inzwischen haben die Silicone als Beispiele für innovative Kunststoffe auch in die Lehrpläne der anderen Bundesländer Einzug gefunden. In den neuen Auflagen des Koffers ab 2012 stehen vier Versuche zu Siliconen und vier Versuche zu Cyclodextrinen zur Verfügung. Die Chemikalienmengen sind großzügig bemessen, sodass jeder der acht Versuche als Schülerexperiment mit der ganzen Lerngruppe durchgeführt werden kann. Außerdem enthält der Koffer eine gedruckte Handreichung mit fachlichen Grundlagen und Arbeitsblättern zur Auswertung der Versuche und zwei CDs mit didaktischen Dokumentationen von Siliconen und Cyclodextrinen sowie Gefährdungsbeurteilungen und die Sicherheitsdatenblätter zu den Versuchen. Bisher wurden mehr als 3000 Koffer an Schulen in Deutschland und Österreich verteilt, und entsprechend viele Lehrkräfte wurden für die Nutzung des Koffers fortgebildet.

„Didaktisierung“ der Silicone in CHEM2DO



Abbildung 2: CHEM2DO Koffer, Basiskonzepte und Screenshots aus Digitalmedien zu der Hydrophobierung mit Siliconen. <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/fuer-lehrkraefte/disidocy/-/chem2do/>

Ein Hauptanliegen, unter dem Michael Anton und ich seit Anfang der 1990-er Jahre in unserer curricularen Innovationsforschung miteinander kooperieren war und ist die „Didaktisierung“ der Silicone. Dazu motiviert uns zweierlei: Einerseits bieten die Silicone mit ihren vielfachen Anwendungen ein immenses Panorama an Alltagsbezügen aus dem Leben der Schüler*innen und andererseits eignen sich die Silicone als „Grenzgänger“ zwischen der Anorganischen und Organischen Chemie hervorragend für die experimentbasierte und kompetenzorientierte Erschließung der „big five“ Basiskonzepte des Chemieunterrichts.

Zusätzlich zum Kofferinhalt werden weitere digitale Medien, insbesondere Animationen und vertonte Erklär- und Übungsfilme in hoher Qualität auf der zu CHEM2DO eingerichteten Internetplattform angeboten. In Abbildung 2 sind einige Screenshots aus dem Material zum Experiment „Wunderwasser - Hydrophobierung eines Gasbetonsteins mit Silicon-Emulsion“ hervorgehoben.

Eine neue Version von CHEM2DO für die Mittelschule (Bayern) und damit für die Sekundarstufe I unterscheidet sich von der oben dargestellten Fassung in der didaktischen Anpassung der Protokollaufträge an die beruflichen Ansprüche von Chemikant*innen. Diese sind gekennzeichnet durch sauberes und genaues Arbeiten in Form von Abwiegen, Abmessen, Abschätzen von Toleranzen und Qualitätskontrolle. Damit ergänzt sie die eher wissenschaftspropädeutische Ausrichtung des ersten Versuchskoffers, der für den gymnasialen Unterricht konzipiert war, auf ideale Weise auch für den berufsbildenden Sektor.

Didaktische Prägnanz, und wissenschaftliche Konsistenz von Experimenten

„Ein hübsches Experiment ist schon an sich oft wertvoller als zwanzig in der Gedankenretorte entwickelte Formeln!“ – so lautet eines der häufig zitierten Aphorismen von A. Einstein.

Wenn das Genie des 20. Jahrhunderts, der ohne die Grundlage von experimentellen Fakten in seiner „Gedankenretorte“ die Formel des Jahrtausends $E = mc^2$ „erbrütet“ hatte, sich so äußert, dann muss das für alle Lehrenden in den Naturwissenschaften eine Aufforderung sein, bei der Vermittlung von Lehr/Lerninhalten Experimente zu verwenden. Doch was ist ein „hübsches“ Experiment für den Chemieunterricht? Nun ja, darüber hat man sich in der Didaktik schon viel und zum Teil kontrovers ausgelassen. Ein „hübsches“ Experiment soll folgende Merkmale aufweisen (Tausch, 2019):

- a) *attraktiv* und *schön* – es sollte unsere Sinne und unseren Verstand angenehm und motivierend anregen,
- b) *schnell* und *einfach* – seine Durchführung sollte in kurzer Zeit mit wenig Aufwand gelingen,
- c) *sicher* und *sauber* – seine Durchführung sollte den Sicherheitsvorschriften beim Experimentieren und den Entsorgungsvorschriften für Chemikalien entsprechen,
- d) *verfügbar* und *kostengünstig* – die Chemikalien und Geräte sollten kommerziell erhältlich und günstig (wenn möglich kostenlos) anzuschaffen sein,
- e) *innovativ* und *zukunftsrelevant* – es soll ein neues Experiment oder ein „altes“ in neuer Ausprägung sein und zukunftsrelevante Inhalte erschließen.
- f) *didaktisch prägnant* und *wissenschaftlich konsistent* – d.h., die experimentellen

Beobachtungen und Messdaten sollen unmittelbar das zu vermittelnde theoretische Konzept einleiten („den Nagel auf den Kopf treffen“) und die didaktische Verwertung der Ergebnisse soll mit dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse vereinbar sein ohne notwendigerweise die neusten, in der Wissenschaft diskutierten Begriffe, Modelle etc. zu verwenden.

Aus meiner Sicht als Didaktiker ist das Merkmal f) im Sinne von Einsteins Zitat entscheidend. Unter dem Aspekt der didaktischen Prägnanz und wissenschaftlichen Konsistenz ist ein „hübsches“ Experiment daran zu messen, ob und wie damit die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Enthält oder suggeriert dieses Experiment Zusammenhänge zu den Alltagserfahrungen der Schüler*innen?
- Ist dieses Experiment für die Schule geeignet? Wenn ja, in welcher Form (für Lehrende oder für Lernende, als Demo-, Gruppen- oder Einzelexperiment)?
- Was können wir aus diesem Experiment lernen? Welche Basiskonzepte und Fachbegriffe der Chemie können wir auf der Grundlage der Fakten aus diesem Experiment erschließen?

- Welche Anwendungen der Phänomene und/oder der theoretischen Konzepte aus diesem Experiment gibt es heute und welche könnten für die Zukunft infrage kommen?

Die acht Experimente aus dem CHEM2DO Koffer weisen alle oben genannten Merkmale auf. Sie sind für die Schulen nicht nur kostengünstig, sondern kostenlos. Sie sind innovativ und zukunftsrelevant, sicher und mit entsprechenden Gefährdungsbeurteilungen ausgestattet. Und sie sind vor allem didaktisch prägnant auf der Ebene der phänomenologischen Beobachtungen und wissenschaftlich konsistent auf der Ebene der modelltheoretischen Auswertung, die in den Begleitmaterialien angeboten wird. Sie adressieren die Basiskonzepte des Chemieunterrichts und enthalten lehrplanpflichtige Inhalte oder knüpfen daran an. Das soll hier nicht Punkt für Punkt von a) bis f) für jeden der acht Versuche durchdekliniert werden. Stattdessen wird auf die Publikationen des CHEM2DO Teams verwiesen (siehe Literatur).

Aktuelle Trends in der curricularen Innovation

„Analog und digital: Chemieunterricht mit Potenzial“ - so fasst das Editorial der Spezialausgabe von CHEMKON aus dem Juni 2022 die gesamte Bandbreite der Chemiedidaktik zusammen (Göttlich et al, 2022). Das Themenspektrum in diesem Heft erstreckt sich vom Distanzunterricht in der Corona-Pandemie, dem Lernen über digitale Medien, den Innovativen Inhalten und Lernmaterialien bis hin zu „klassischen Themen“ wie Experimente und Lehramtsausbildung. Allerdings ist in diesem Heft und auch ganz allgemein in der aktuellen chemiedidaktischen Forschung festzustellen, dass die „Digitalisierung im Chemieunterricht“ DiCE absolut *en vogue* ist. Wenngleich schon seit über drei Jahrzehnten Hard- und Software für computerunterstützten Unterricht von der digitalen Messwerterfassung bis zur Modellierung und Simulation von Elementarprozessen entwickelt und an Schulen eingesetzt werden, erhielt die Digitalisierung erst unter der neuen Bezeichnung DiCE in den Pandemie-Jahren 2020 bis 2022 einen enormen Schub. Sie wird seither großzügig mit Fördergeldern unterstützt, insbesondere dann, wenn sie auch an die Bildung für nachhaltige Entwicklung BNE gekoppelt ist. Entsprechend sind die jungen Forschenden in der Chemiedidaktik vorwiegend in der Digitalisierung und der BNE unterwegs. Das ist begrüßenswert, denn beides genießt hohe gesellschaftliche Akzeptanz und geht in die richtige Richtung.

In *fachwissenschaftlichen Forschung* ist die digitale Unterstützung bei quantenchemischen Berechnungen und molekulardynamischen Simulationen bereits seit über fünf Jahrzehnten etablierter Usus. Die Zeitschrift *Angewandte Chemie* berichtet ganz aktuell über das so genannte *Data-Driven Machine-Learning* ML zur Suche und Vorhersage von metastabilen Strukturen auf Oberflächen von heterogenen Katalysatoren. Das Gelernte soll helfen, um Experimente zu planen und zu simulieren sowie Daten aus Experimenten zu analysieren (Li et al, 2023). Dieses Beispiel aus der Fachwissenschaft ist wesensverwandt mit digitalen Techniken und Werkzeugen in der *fachdidaktischen Forschung*, beispielsweise der *Augmented Reality* AR, der *Virtual Reality* VR und bei anderen digitalen Tools, die der *künstlichen Intelligenz* KI zuzuordnen sind.

Der Unterschied besteht nur darin, dass es hier nicht um “Machine-Learning”, sondern um “Student-Learning” geht. Im Prinzip sind die Animationen zu den Experimenten aus CHEM2DO (vgl. Abb. 2) nichts anderes als erweiterte Darstellungen der realen Prozesse aus den Versuchen auf der Modellebene der Teilchen, also AR. Der Chemiedidaktiker Johannes Huwer hat in Kooperation mit der Biologiedidaktik und der Mediendidaktik ein Bewertungsraster entwickelt, das es ermöglichen soll, mit AR angereicherte Lehr-Lernsettings zu analysieren und zu bewerten (Krug et al, 2022). Darüber hinaus stellt Huwer fest, dass für

Konzeption, Umsetzung und Evaluation von Lehr-Lernmodulen zur Modellierung und Simulation von Prozessen neben Fachwissen (*Content Knowledge CK*) und pädagogischem Wissen (*Pedagogical Knowledge PK*) auch technisches Wissen (*Technical Knowledge TK*) notwendig (Müller et al, 2022). Folgerichtig schlägt er eine entsprechende Neujustierung in der universitären Ausbildung von Lehrkräften vor. Die Chemiedidaktikerin Nicole Graulich hat in einer Studie im Prä- und Post-Interventionsdesign mit 490 Studierenden den Lernerfolg am Lerninhalt Säure-Base Titration untersucht. Eine Analog-Gruppe von Studierenden hat die Titration real im Labor durchgeführt, die Digital-Gruppe hat die gleiche Titration als VR anhand eines interaktiven, realitätsnahen und lernendenzentrierten Videoexperiments durchgeführt. Ergebnis: Der Wissenszuwachs ist bei der Digital-Gruppe signifikant größer als bei der Analog-Gruppe, sie profitiert stärker als die Analog-Gruppe von der angebotenen Lernumgebung (Göttlich et al, 2022). Das überrascht nicht und deckt sich auch mit den Erfahrungen anderer Lehrenden beim Einsatz von Videoexperimenten statt Realexperimenten in Vorlesungen. In der gleichen Studie stellt Graulich aber auch fest, dass die Selbsteinschätzung der Studierenden aus der Analog-Gruppe für eine zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführende Titration besser ist als bei der Digital-Gruppe. Auch das war zu erwarten. Wer die Handgriffe vom realen Experiment stärker in Erinnerung hat, schätzt seine Fähigkeit, ein ähnliches Experiment erneut durchzuführen, besser ein.

Außer derart grundlegenden Betrachtungen und empirischen Untersuchungen zur Digitalisierung des Chemieunterrichts gibt es auf den Webseiten der Chemiedidaktiken eine Fülle von digitalen Medien für die direkte Nutzung im Unterricht und/oder für die Unterstützung der Lehrkräfte bei der Erstellung eigener digitaler Materialien. Die Wuppertaler Didaktikseite <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/> bietet neben einer Vielzahl von Videos und Animationen zu klassischen Schulversuchen und Experimenten aus eigener Innovationsforschung auch e-books sowie KI-Tools für Studierende und Lehrkräfte an, die als "App des Monats" hinterlegt sind.

Realexperiment im Chemieunterricht - Schnee von gestern?

Die am Ende des 20. Jahrhunderts begonnene und sich jetzt rapide fortsetzende *digitale Revolution* ist mit der *industriellen Revolution* im 18. und 19. Jahrhundert vergleichbar. Computergesteuerte Maschinen, Roboter, Fahrzeuge und Geräte aller Art setzen sich bei der Produktion in industriellen und landwirtschaftlichen Betrieben, in der Kommunikation zwischen Firmen, Institutionen und Einzelpersonen, im Verkehr an Land, auf dem Wasser und in der Luft, beim Handel mit Gütern und Wertpapieren, im Bankwesen, in der Kunst und nicht zuletzt im gesamten Bildungssystem durch. Die Folgen sind tiefgreifende, *umwälzende und dauerhafte, also revolutionierende* Veränderungen in allen Bereichen der Gesellschaft (Tausch, 2019).

Im Chemieunterricht können digitale, multimediale Lehr-/Lernarrangements gegenüber klassischen Medien und Methoden motivierender und effizienter sein, insbesondere wenn es um den schnellen Wissenszuwachs und um die Vorbereitung von real durchzuführenden Experimenten geht. Bei Experimenten, die aus Sicherheits-, Kosten- oder Zeitgründen real weder als Demo- noch als Schüler-versuche durchführbar sind, beim *learning@home* und beim *teaching@distance* kann, sollte und wird das Realexperiment in Zukunft durch die Videovariante ersetzt werden.

Damit wird allerdings die im Untertitel gestellte Frage hervorgerufen und die beantworte ich mit einem klaren NEIN. Wer schon immer experimentierscheu war, könnte sich ermutigt

fühlen, im Unterricht und in der Lehre bisher real durchgeführte Experimente ganz oder größtenteils durch Videoclips zu ersetzen. Das geht ja schneller, ist weniger arbeitsaufwändig, erzeugt weder Verbrauch von Materialien noch zu entsorgende Abfälle, ist ohne Gefährdungsbeurteilung erlaubt und dennoch sicher! Und man sieht im Video alles Wesentliche. Man wird durch Kommentare und Zwischenfragen sogar auf die wichtigsten Kenntnisse für die nächste Klausur angestoßen. Aber kann das in einem Fach, das von den Experimenten lebt, alles sein? Selbst wenn's bei Experimenten nicht immer knallen und stinken muss, sollten Experimente real erlebte Ereignisse sein, mit sinnlich über mehrere Kanäle wahrnehmbaren Beobachtungen, ausgeübten Tätigkeiten, aufkommenden Emotionen, sozialen Umgangsformen und verbalen Kommunikationen (Tausch, 2020). Das Realexperiment darf daher nicht immer durch die digitale Videovariante ersetzt werden, es darf nicht aus dem Chemieunterricht verschwinden. Denn die Primärerfahrungen mit den Eigenschaften von Stoffen und Reaktionen in realen Geräten und Vorrichtungen also Stoff- und Energieumwandlungen unter konkreten Bedingungen, sind und bleiben die faktische Grundlage allen Wissens und Könnens, das es in der Chemie zu vermitteln gilt. Insbesondere für die forschend-entwickelnde Vorgehensweise im Chemieunterricht ist *digitale Assistenz* sinnvoll und hilfreich. Dagegen kann *digitale Autonomie* sinnwidrig sein und in die Irre führen (Tausch, 2019).

Michael Anton bezeichnet in seinem Kompendium zur Chemiedidaktik das Experiment als „ertragreiche und unterrichtsrelevante Quelle chemischer Erkenntnisse, die auf Lernende motivierend wirkt“ (Anton, 2008). Und das Realexperiment wird in der Chemie niemals „Schnee von gestern“ werden, sondern „wichtiger als zwanzig in der Gedankenretorte erbrütete Formeln“ und auch wichtiger als alle AR-, VR- und KI-Tools bleiben.

DANKSAGUNGEN

Ich danke der WACKER CHEMIE AG für die großzügige Förderung des Kooperationsprojekt CHEM2DO. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG danke ich für die Förderung der Forschungsvorhaben TA 228/4-1 Photo-LeNa (Photoprozesse in der Lehre der Naturwissenschaften) und TA 228/4-2 Photo-MINT (Photoprozesse in der Lehre der MINT-Fächer) und dem Fonds der Chemischen Industrie FCI für die Förderung mehrerer Projekte im Bereich der Curricularen Innovation.

LITERATUR

Anton, M. A. (2008). *Kompendium Chemiedidaktik*. Klinkhardt, Bad Heilbrunn

Bohrmann-Linde, C., Krees, S., Tausch, M. W., von Wachtendonk, M. (Hrsg.) (2007-2014), *Schulbuchreihe CHEMIE 2000+, Sek. I und Sek. II, verschiedene Länderausgaben*. C.C. Buchner, Bamberg

Demuth R., Parchmann I., Ralle, B. (Hrsg.) (2006). *Chemie im Kontext Sek. II*, Cornelsen, Berlin

Göttlich, R., Graulich N., Huwer, J., Banerji A. (Hrsg.) (2022). *CHEMKON 29 (S1)*, Conference Proceedings der FGCU-Tagung 2021 Sonderheft, 33 Beiträge auf 194 Seiten

- Huntemann H., Paschmann A., Parchmann, I. (1999). Chemie im Kontext - ein neues Konzept für den Chemieunterricht? *CHEMKON*, 6 (4), 191
- Kröger, S., Hock, K., Tausch, M. W., Anton, M. A., Bader, A., Zdzieblo, J. (2017). CHEM2DO-Schulversuchskoffer – ein Kooperationsprojekt von Wirtschaft, Fachdidaktik und Lehrerfortbildungszentren. *CHEMKON*, 24 (4), 241
- Krug, M., Czok, V., Müller, S., Weitzel, H., Huwer, J., Kruse, S., Müller, W. (2022). Ein Bewertungsraster für Augmented-Reality-Lehr-Lernszenarien im Unterricht. *CHEMKON* 29 (S1), 312
- Li H., Jiao, Y., Davey K., Qiao, S.-Z. (2023). Data-Driven Machine Learning for Understanding Surface Structures of Heterogeneous Catalysts. *Angew. Chem.* 135, e202216383
- Müller, L., Thoms, L.-J., Möhrke, P., Henne, A., Huwer, J. (2022). Erprobung neuer Konzepte in der universitären Lehrerbildung für den Erwerb digitaler Kompetenzen nach DiKoLAN - Entwicklung und Untersuchung der Wirksamkeit eines Lehr-Lernmoduls im Bereich Simulation und Modellierung. *CHEMKON* 29 (S1), 343
- Pfeiffer P., Häusler K., Lutz B. (Hrsg.) (1996). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Oldenbourg, München; (Erstveröffentlichung 1992); Neue Auflage: Sommer K., Wambach-Laicher J., Pfeiffer P. (Hrsg.). (2018). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, Friedrich, Seelze 70
- Scheid, K., (1927). *Methodik des chemischen Unterrichts*. Verlag von Quelle & Meyer, Leipzig
- Tausch M. W. (1998). Sinn(e) der Fachdidaktik, *CHEMKON*, 5 (4), 173
- Tausch, M. W. (2000). Didaktische Integration - die Versöhnung von Fachsystematik und Alltagsbezug. *Chemie in der Schule*, 47 (3), 179
- Tausch, M. W. (2019). *Chemie mit Licht - Innovative Didaktik für Studium und Unterricht, Lehrbuch*. Springer Nature, Moremedia, Heidelberg - mit assoziierter Internet-plattform <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/>
- Tausch, M. W. (2020). Videoclip oder Realexperiment? **2020**, *Nachrichten aus der Chemie* 68 Juli/August, 18
- Weitere Publikationen zum CHEM2DO Koffer*
- Führer M. (2016). [CHEM2DO]digital - Mobiles Zusatzangebot für das Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen im Chemieunterricht mit neu entwickelten Inhalten der digitalen DiSiDo-Cy. Masterarbeit. Erlangen-Nürnberg
- Krees S., Tausch, M. W. (2007) Moleküle zu Gast beim Zuckerwirt - Wirt-Gast-Komplexe mit Cyclodextrinen! *PdN-ChiS* 56 (8), 33
- Krees, S. (2012). CHEM2DO - Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen. *PdN-ChiS*, 61 (8), 44
- Krees, S. (2014). Auch eine Art von Konservierung? Komplexbildung mit Cyclodextrinen. *PdN-ChiS*, (63) 1, 25
- Tausch, M., Anton, M. A. (2015). CHEM2DO - Lehrlernmittel für den innovativen Unterricht. *CHEMKON*, 22 (2), 1

Tausch M. W., Anton, M. A. (2016). Chemiewissen - Innovative Anwendung und berufliche Orientierung *Chemie & Schule*, 31 (1), 11

Wacker Chemie AG (2015). CHEM2DO – Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen. Lehrerhandreichung. München

Wacker Chemie AG (2014). Silicon-Experimente für den Physik-Chemie-Biologie-Unterricht (PCB) an bayerischen Mittelschulen, München

- Scheid, K., (1927). *Methodik des chemischen Unterrichts*. Verlag von Quelle & Meyer, Leipzig
- Tausch M. W. (1998). Sinn(e) der Fachdidaktik, *CHEMKON*, 5 (4), 173
- Tausch, M. W. (2000). Didaktische Integration - die Versöhnung von Fachsystematik und Alltagsbezug. *Chemie in der Schule*, 47 (3), 179
- Tausch, M. W. (2019). *Chemie mit Licht - Innovative Didaktik für Studium und Unterricht, Lehrbuch*. Springer Nature, Moremedia, Heidelberg - mit assoziierter Internet-plattform
<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/>
- Tausch, M. W. (2020). Videoclip oder Realexperiment? **2020**, *Nachrichten aus der Chemie* 68 Juli/August, 18
- Weitere Publikationen zum CHEM₂DO Koffer*
- Führer M. (2016). [CHEM₂DO]digital - Mobiles Zusatzangebot für das Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen im Chemieunterricht mit neu entwickelten Inhalten der digitalen DiSiDo-Cy. Masterarbeit. Erlangen-Nürnberg
- Krees S., Tausch, M. W. (2007) Moleküle zu Gast beim Zuckerwirt - Wirt-Gast-Komplexe mit Cyclodextrinen! *PdN-ChiS* 56 (8), 33
- Krees, S. (2012). CHEM₂DO - Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen. *PdN-ChiS*, 61 (8), 44
- Krees, S. (2014). Auch eine Art von Konservierung? Komplexbildung mit Cyclodextrinen. *PdN-ChiS*, (63) 1, 25
- Tausch, M., Anton, M. A. (2015). CHEM₂DO - Lehrermittel für den innovativen Unterricht. *CHEMKON*, 22 (2), 1
- Tausch M. W., Anton, M. A. (2016). Chemiewissen - Innovative Anwendung und berufliche Orientierung *Chemie & Schule*, 31 (1), 11
- Wacker Chemie AG (2015). CHEM₂DO – Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen. Lehrerhandreichung. München
- Wacker Chemie AG (2014). Silicon-Experimente für den Physik-Chemie-Biologie-Unterricht (PCB) an bayerischen Mittelschulen, München**