

Chem-on!

Chemie online erfahren

Bewerbung um ein Fellowship für Innovationen in der digitalen Hochschullehre

von Prof. Dr. Dirk Burdinski

Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften der TH Köln

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Übersicht.....	1
2	Warum bewerbe ich mich um ein Fellowship?.....	1
3	Was veranlasst mich zu der geplanten Lehrinnovation? Welches Problem soll bearbeitet werden? Inwieweit handelt es sich um ein zentrales Problem im Studienfach?	2
3.1	Problemfeld Studieneingangsphase.....	2
3.2	Problemfelder Studieninteresse und Studienvorbereitung.....	2
3.3	Problemfeld Laborpraktika Chemie.....	3
3.4	Problemfeld Studierende mit besonderen Unterstützungsbedarfen	4
4	Welche Ziele verfolge ich mit der geplanten Lehrinnovation?	4
5	Vorstellung der Lehrinnovation.....	5
6	Wie lassen sich nach Erprobung der Lehrinnovation Erfolg und eventuelle Risiken beurteilen?	9
7	Wie soll die geplante Lehrinnovation verstetigt werden?.....	9
8	Auf welche Lehr-Lern-Situationen – auch in anderen Disziplinen – kann die geplante Lehrinnovation übertragen werden?	9
9	Was verspreche ich mir vom Austausch mit anderen Fellows?	10
10	Wie bin ich insbesondere mit der geplanten Lehrinnovation innerhalb meiner Hochschule organisatorisch eingebunden und vernetzt?	10

1 Einleitung und Übersicht

Die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften der TH Köln bietet die naturwissenschaftlich ausgerichteten Bachelorstudiengänge (B. Sc.) *Angewandte Chemie* und *Pharmazeutische Chemie* sowie die Masterstudiengänge (M. Sc.) *Angewandte Chemie* und *Drug Discovery and Development*, letzteren gemeinsam mit der Universität zu Köln, an. Mit dem nachfolgend vorgestellten Konzept *Chem-on! – Chemie online erfahren* soll den Studierenden mittelfristig der Studieneinstieg in diese chemischen Studiengänge durch den frühzeitigen Einsatz neuartiger und intuitiver digitaler Lehrangebote erleichtert werden. Das Konzept integriert die drei Fokusbereiche: **Digitalisierung und Studierendenzentrierung in der Lehre, Flipped Classroom und Studieneingangsphase**. Es umfasst zunächst fachlich eng verwandte Module der beiden ersten Fachsemester, sowie ein Studienvorbereitungsangebot und soll nachfolgend auf weitere Module und Studiengänge übertragen werden. Im Zentrum der Lehrinnovation steht die Entwicklung von **Lernszenarien unter Einsatz einer virtuellen Laborumgebung**. Diese werden durch Adaption und Kombination verschiedener didaktischer Konzepte in die Lern- und Gruppenprozesse integriert und ermöglichen so eine konsequente Kompetenzorientierung der chemischen Ausbildung sowohl in theoretischen als auch in laborpraktischen Lehrveranstaltungen.

2 Warum bewerbe ich mich um ein Fellowship?

In der Lehre ist es mir wichtig, Studierende möglichst individuell nach ihrem persönlichen Bedarf zu fördern. Dies ist die rote Linie sowie der gegenwärtige Stand meiner eigenen Entwicklung vom Hochschul-„Lehrer“ zu einem Moderator von Lernprozessen.

In der Lehre bin ich in die Bachelorstudiengänge Angewandte Chemie, Pharmazeutische Chemie sowie den Masterstudiengang Angewandte Chemie aktiv eingebunden. Ich biete Lehrveranstaltungen im Fortgeschrittenbereich an und engagiere mich besonders im Grundlagenbereich (Fachsemester 1-2). In meiner zehnjährigen Lehrerfahrung an der TH Köln habe ich gelernt, wie Studierende Kompetenzen, die sie nicht -wie im Curriculum geplant- in den ersten Fachsemestern entwickelt haben, später im Studium kaum mehr nachholen bzw. kompensieren können. Es resultieren Frust und Selbstzweifel und häufig ein Wechsel der Lern- und Arbeitsstrategien hin zum reinen Auswendiglernen und ggf. sogar Plagieren. In vielen Fällen geben frustrierte Studierende das Studium schon nach wenigen (häufig 1-2) Semestern auf, ein Trend der in den letzten Jahren leider insbesondere in den MINT-Disziplinen weiter zugenommen hat. Beides gleichermaßen ist für mich sowohl als Lehrender als auch als Studiendekan unbefriedigend, und ich engagiere mich daher dafür, insbesondere die Studieneingangsphase unserer Studiengänge zu verbessern.

In beiden Funktionen beschäftige ich mich regelmäßig mit individuellen Problemen von Studierenden, die direkt oder indirekt mit den heterogenen Studierendenbiographien zusammenhängen. Schwierigkeiten im Studium resultieren häufig aus bereits vor dem Studium bestehenden fachlichen und überfachlichen Problemen und, leider insbesondere im Bereich der Chemie, aus einer nicht immer umfassenden und kompetenzorientierten Ausbildung in naturwissenschaftlichen Fächern. Für mich ist die studierendenzentrierte Gestaltung der Curricula und meiner Lehrveranstaltungen daher der zentrale Ansatzpunkt, um Raum für individuelle Lernzugänge zu schaffen und die Studierenden in ihrer Individualität zu fördern.

Als hochschuldidaktischer Multiplikator für kompetenzorientiertes Prüfen und stellvertretender Vorsitzender des Prüfungsausschusses befasse ich mich intensiv mit den Themen Validität und Reliabilität von Prüfungen in kompetenzorientierten Curricula. Kompetenzorientierte Lehre und Prüfung müssen immer zusammen gedacht werden und setzt bei den konkreten Lernbedürfnissen der Studierenden an. Fehlende Grundlagen verhindern die Entwicklung von Kompetenzen, also die problemorientierte Anwendung von Kenntnissen und Fähigkeiten, und führen in den „Teufelskreis des Auswendiglernens“ als Prüfungsstrategie. Um diese Prozesse zu durchbrechen ist die Studieneingangsphase von zentraler Bedeutung.

Ich bin sehr dankbar für die Aufnahme in das *Lehreⁿ*-Dachprogramm 2019 und den wertvollen Erfahrungsaustausch in der Gruppe, aus welchem heraus viele Anregungen für die Gestaltung dieses Projekts kamen (Lehre-hoch-n Dachprogramm).

Die wichtigste Motivation für dieses Projekt ergibt sich für mich aber aus den überwiegend positiven Rückmeldung zur Umsetzung meiner in den letzten Jahren kontinuierlich weiterentwickelten, auf den Einsatz digitaler Medien bauenden Lehrkonzepte, überwiegend in *Flipped-Classroom*-Formaten. Mit dem Projekt *Chem-in!*, das ebenfalls vom Stifterverband gefördert wurde, konnte ich diese Lehrkonzept in den von mir geleiteten Modulen der Chemieausbildung in Leverkusen etablieren und weiterentwickeln. Im Rahmen des Projekts wurde deutlich, wie wichtig eine möglichst gute Abstimmung digitaler Lehrmaterialien auf die Bedürfnisse der Studierenden und deren Lebensrealität ist. Wie groß der Bedarf an und die Dankbarkeit für didaktisch strukturierten Lehr- und Lernmaterialien ist, zeigen vielfältige Rückmeldungen innerhalb der Hochschule sowie auf meinen drei YouTube-Lehrkanälen, was ich als besondere Motivation empfinde. Nun ist es an der Zeit, den nächsten Schritt zu machen, für den ich hier um Unterstützung werbe.

3 Was veranlasst mich zu der geplanten Lehrinnovation? Welches Problem soll bearbeitet werden? Inwieweit handelt es sich um ein zentrales Problem im Studienfach?

3.1 Problemfeld Studieneingangsphase

In naturwissenschaftlichen Studiengängen an deutschen Hochschulen ist die Erfolgsquote von Studienanfängern allgemein deutlich geringer als in anderen Studiengängen. Im Fach Chemie liegen die Studienabbruchquoten seit Jahren im Bereich bis zu 40% (Heublein et al. 2014), in den letzten Jahren mit einer weiter steigenden Tendenz. Die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften der TH Köln am Campus Leverkusen bildet hier keine Ausnahme.

Nach Ebert und Heublein ergibt sich dieser hohe Wert „unter anderem daraus, dass im Chemiestudium schon bei Studienbeginn fachspezifische Kenntnisse verlangt werden, die nur dann vorliegen, wenn Chemie in der Oberstufe im Leistungskurs belegt wurde“ (Ebert und Heublein 2017). Zu den Abbruchgründen zählen daher allgemein Leistungsprobleme, die sich im subjektiven Empfinden „den Anforderungen des Studiums nicht gerecht zu werden“ ausdrücken, sowie „eine mangelnde Studienmotivation“ infolge nicht erfüllter Erwartungen (Heublein et al. 2010). Ursächlich hierfür sind auf der einen Seite enttäuschte fachbezogene Erwartungen, auf der anderen Seite rücken Methoden-, Selbst- und Sozialkompetenzen in den Fokus (Kreulich und Dellmann 2016).

3.2 Problemfelder Studieninteresse und Studienvorbereitung

Die Fakultät hat in den letzten Jahren ihre Angebote für Schüler*innen und Studieninteressierte deutlich ausgebaut. Neben Schnuppervorlesungen, Schnuppertagen, Schnupperwochen und Schnuppersemestern bieten wir insbesondere für Schulklassen aus der Umgebung neben der Kinderuni auch regelmäßig (mehr als 6/Jahr) ganztägige Schülerlabore in unseren Laboratorien (Schüler*innenvorlesung plus Laborversuch) an. Ähnlich wie die Schulen, haben auch wir das Problem, dass chemische Experimente nie gefahrlos sind und wir den Schüler*innen daher nur Versuche mit weniger gefährlichen Chemikalien und Geräten anbieten können, die auf der einen Seite immer viel Begeisterung auslösen, auf der anderen Seite aber ein etwas verzerrtes Bild der Laborarbeit vermitteln.

Gerade den Interessent*innen, die sich in der letzten Phase der Studienvorbereitung befinden oder sich bereits um einen Studienplatz beworben haben, können wir derzeit keinerlei Laborerfahrung bieten. Mit einem digitalen Studienvorbereitungskurs, der zum kommenden WiSe an den Start gehen soll, versuchen

wir im theoretischen Grundlagenbereich zu unterstützen - was es beutet und wie es sich anfühlt, als Chemiker*in zu handeln, können wir hier leider nicht vermitteln.

3.3 Problemfeld Laborpraktika Chemie

Der Aufbau von Fachkompetenz ist in chemischen Studiengängen eng mit der Entwicklung laborpraktischer Kompetenzen verwoben, denn erst durch die selbstständige Labortätigkeit wird Chemie erfahr- und begreifbar (Hofstein und Mamlok-Naaman 2007). Der lernförderliche frühe Einstieg in die laborpraktische Ausbildung erfordert in den Einstiegspraktika eine hohe Selbstlernkompetenz der Studierenden und wird idealerweise eng begleitet (Jones und Edwards 2010). In Leverkusen kommt den Praktika „Experimentier-techniken“ sowie „Anorganische Chemie“ daher große Bedeutung zu.

Die Anforderungen an Studierende in einem chemischen Einführungspraktikum sind enorm. Obwohl bekannt ist, dass eine intensive Vorbereitung der Laborphasen entscheidend für die Kompetenzentwicklung in der laborpraktischen Ausbildung ist (Chittleborough et al. 2007; Jones und Edwards 2010; Schmid und Yeung 2005), wurde die didaktisch Vorbereitung der eigentlichen Laboraktivitäten in der Vergangenheit häufig unterschätzt. Seit 2014 entwickeln und testen wir daher kontinuierlich neue Lehrkonzepte, um dieser besonderen Problemstellung gerecht zu werden.

Aus kognitionswissenschaftlicher Sicht ist relevantes, insbesondere im Langzeitgedächtnis gespeichertes Vorwissen essentiell für den weiteren Wissenserwerb (Hartman et al. 2015; Hartman und Nelson 2015; Schneider et al. 1990). Hartmann et al. empfehlen daher eine an die unterschiedlichen Lernbedürfnisse der Studierenden angepasste Vorbereitungsphase, gepaart mit einer zeitnahen individuellen Rückmeldung (Hartman und Nelson 2015). So kann eine kognitive Überlastung der Studierenden verhindert werden, die zu einer selektiven Fokussierung auf wenige, subjektiv als relevant für die Erreichung kurzfristiger Ziele empfundene, Inhalte und technische Fertigkeiten führen kann (Schmid und Yeung 2005). Das andernfalls nur geringe Verständnis der Bedeutung der laborpraktischen Arbeit für den gesamten Lernprozess wirkt in diesem Sinne demotivierend und lernhinderlich (Hart et al. 2000).

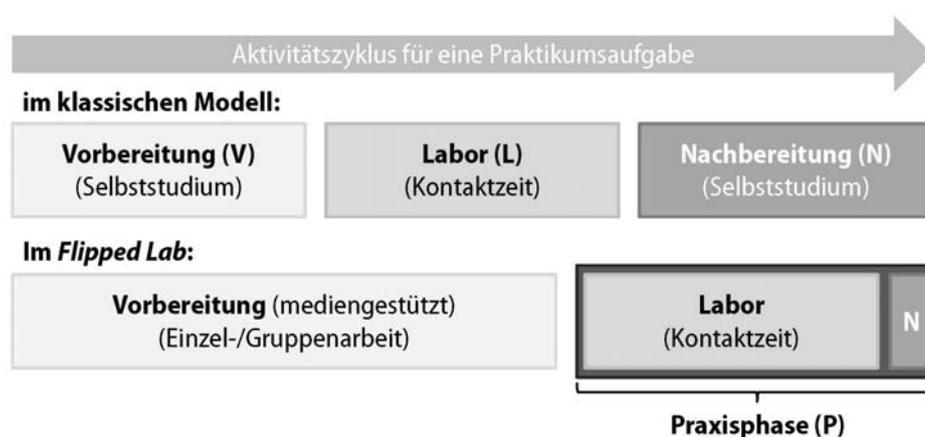


Abb. 1 Aufteilung der Aktivitätsphasen in klassischen und „geflippten“ Laborpraktika: Die Nachbereitung umfasst Auswertung, Protokoll und ggf. Korrekturen. Sie wird im klassischen Modell außerhalb des Labors durchgeführt, im *Flipped-Lab*-Modell hingegen häufig bereits in der Präsenzphase. Die Aktivitäten außerhalb des Labors werden so in die Vorbereitungsphase verschoben, diese wird so gestärkt und eine Konkurrenz etwaiger Nachbereitungen mit der notwendigen Vorbereitung einer nachfolgenden Laboraufgaben wird vermieden (adaptiert nach Burdinski und Glaeser) (Burdinski und Glaeser 2016).

Es hat sich nun gezeigt, dass gerade mit den Prinzipien des *Blended Learning* eine individuelle Förderung von Studierenden nach ihren persönlichen Lernbedarfen, u.a. durch automatisiertes, individuelles Feedback zum individuellen Lernzuwachs, besonders gut möglich ist (Gregory und Di Trapani 2012; Großkopf 2016; Hedtrich und Graulich 2018). Mit einer stärkeren Ausrichtung laborpraktischer Lehrveranstaltungen auf definierte Handlungskompetenzen im Sinne des *Constructive Alignment* (Biggs J., Tang, C. 2011; Seery et al. 2017; Szczyrba 2006), ist gerade die Bedeutung der Vorbereitungsphase für den in der Präsenzphase realisierbaren Kompetenzzuwachs stärker in den Fokus didaktischer Überlegungen geraten (Seery et al. 2018a; Seery et al. 2018b; Rodriguez und Towns 2018). In vielen Fällen führen solche Überlegungen damit zu einer intendierten Verschiebung der Workload der Studierenden von der Nach- in die Vorbereitungsphase (Abb. 1), gemäß den Prinzipien des *Flipped Classroom* oder *Inverted Classroom* Modells (ICM) (Handke et al. 2016; Burdinski 2018; Weidlich und Spannagel 2014; Talbert 2017). Entsprechend gestaltete Laborpraktika wurden daher auch als *Flipped Lab* beschrieben (Burdinski und Glaeser 2016; Fung 2015; Smith 2015; Bergmann und Sams 2015; Teo et al. 2014).

Das Praktikum Anorganische Chemie des Studiengangs Angewandte Chemie wurde unterdessen vollständig im Sinne eines *Flipped Lab* neugestaltet, indem alle Laborversuche den Studierenden im Vorfeld detailliert als kommentierte Videos zur Verfügung gestellt wurden. Dieser wurden ergänzt durch weitere Selbstlernmaterialien und sowie elektronische (Selbst-)Tests.

Die Wirksamkeit des Flipped-Lab-Konzepts wurde im WiSe 2016/2017 und im WiSe 2017/2018 erstmals im Rahmen einer kurspezifischen Zeitlast-Studie untersucht. Hierin zeigte sich insbesondere der positiv-dirigierende Einfluss der ineinander verzahnten Konzeptelemente. Die Vorbereitung der Studierenden wurde durch die digitalen Medien strukturierter und die Studierenden fühlten sich selbst bezüglich des grundsätzlichen Versuchsablaufs besser vorbereitet (Burdinski 2018; Burdinski und Glaeser 2016; Burdinski 2019). In der Laborpraxis drückte sich die veränderte Vorbereitung insbesondere in einer geordneteren, ruhigeren Arbeitsweise aus.

Leider blieben die Laborergebnisse, trotz der bzgl. der Theorie und der Strukturierung der Laborarbeit besseren Vorbereitung, weiterhin, zum Teil deutlich, hinter den Erwartungen zurück. Probleme treten immer dann auf, wenn es zu Abweichungen von der geplanten Versuchsdurchführung kommt und die Studierenden vom bekannten Handlungsverlauf abweichen müssen. Leider sind solche Situationen in der praktischen Chemie eher der Normalfall, und es ist daher umso wichtiger, dass Studierende gerade für solche Fälle die richtigen Handlungskompetenzen entwickeln.

3.4 Problemfeld Studierende mit besonderen Unterstützungsbedarfen

Studierende mit besonderen Unterstützungsbedarfen treten in der Hochschule selten offen in Erscheinung. Vielfach werden besondere Bedarfe erst durch wiederholt nicht bestandene Prüfungen oder Anträge auf Nachteilsausgleich bei Prüfungen deutlich. Die hiermit verbundenen Einschränkungen sind insbesondere im Praktikumsbereich hochrelevant und können im Extremfall zum Abbruch des Studiums führen. Dies betrifft zudem auch durch Schwangerschaft oder Krankheit über einen längeren Zeitraum vom Praktikumsbetrieb ausgeschlossene Studierende, die im günstigsten Fall „nur“ eine deutlich verlängerte Studienzzeit in Anspruch nehmen müssen, im ungünstigsten Fall aber so aus dem Studienrhythmus geraten, dass sie ihr Studium abbrechen (müssen). Es ist daher ein Anliegen dieses Projekts, gerade auch für diese Studierendengruppe Unterstützungsangebote und/oder alternative Studienleistungen zu entwickeln.

4 Welche Ziele verfolge ich mit der geplanten Lehrinnovation?

Im Kontext der genannten vier Problemfelder ergeben sich die folgenden konkreten **Ziele** der hier vorgestellten Lehrinnovation:

- Schüler*innen können sich, im Rahmen von Schnupperangeboten in Vorbereitung auf und zur Unterstützung von eigenen Laborversuchen, mithilfe virtueller Laborumgebungen mit den Anforderungen der Laborpraxis vertraut machen und sich dabei gefahrlos ausprobieren. Sie erhalten so, auf der Basis eigener Handlungserfahrungen, eine umfassendere Vorstellung der Berufsbilder in der Chemie sowie der entsprechenden Studiengänge.
- Die Studierenden am Campus Leverkusen nutzen virtuelle Laborumgebungen um sich in Seminarveranstaltungen anwendungsbezogen mit Aufgabenstellungen in der Chemie auseinanderzusetzen. Hierzu werden Aufgaben und Problemstellungen in Erzählstränge eingebettet (Storytelling). Die Haupthandlungen, die in einer Laborumgebung stattfinden, werden in ein realweltliches Szenario eingebunden.
- Die Studierenden nutzen insbesondere in der Studieneingangsphase (Semester 1-2) virtuelle Laborumgebungen, die als zentrale Plattform für die Bereitstellung unterschiedlicher (Selbst-)Lernmaterialien dienen, um sich auf die Präsenzphasen der Laborpraktika vorzubereiten. Mit der Plattform werden multimediale (Selbst-)Lernmaterialien bereitgestellt und miteinander verknüpft. Virtuelle Laborexperimente werden mit Realvideos verknüpft, sodass die Studierenden in einer sicheren Lernumgebung den direkten Bezug zu realen Handlungsanforderungen im Labor und den Folgen ihrer eigenen Handlungen auch in unerwarteten Situationen haben.
- Durch die Verbindung von virtuellen Laborsimulationen mit Videos entsprechend realer Laborereignisse können auch Studierende, die aus den verschiedensten Gründen nicht am regulären Praktikumsbetrieb teilnehmen können, realitätsnah Laborexperimente durchführen und so entsprechende Handlungskompetenzen aufbauen.

5 Vorstellung der Lehrinnovation

Die Lehrinnovation fußt auf der Kombination einer virtuellen Laborumgebung mit digitalen (Selbst-)Lernmaterialien, insbesondere Lehrvideos und E-Tests, sowie deren Einbettung in *Inverted-Classroom*-Lehrszenarien.

Als Alternative oder in Ergänzung zu realen Laboratorien wurden in der nahen Vergangenheit auch sog. *Remote*-Laboratorien vorgeschlagen. Dies sind im Wesentlichen elektronisch, meist über das Internet steuerbare, reale Laborexperimente, die dann meist mithilfe einer Web-Kamera beobachtet werden können. Im Vergleich zu *Remote*-Labs bieten virtuelle Laborsimulationen zahlreiche Vorteile. Dazu gehören eine größere zeitliche Flexibilität, eine zumindest konzeptuell unbegrenzte Zahl möglicher Parallelnutzer*innen sowie eine größere technische Zuverlässigkeit (Heradio et al. 2016; Potkonjak et al. 2016).

Allgemein bieten virtuelle Labore zahlreiche Vorteile (Potkonjak et al. 2016; Thisgaard und Makransky 2017):

- Sie bieten auch weniger finanzstarken Schulen und Hochschulen eine kostengünstige Möglichkeit, anspruchsvolle und qualitativ hochwertige Laborexperimente anzubieten.
- Sie können in der Durchführung einfach variiert werden und bieten so eine große Flexibilität, z.B. indem eingesetzte Mengen oder Messparameter vielfältig angepasst werden.
- Sie bieten einer Vielzahl von Studierenden gleichzeitig Zugang zu der gleichen und individuell unterschiedlichen Laborumgebungen.
- Sie können meist einfach neukonfiguriert werden und bieten so eine große Ausstattungsvariabilität, z.B. indem ein eingesetztes Gerät mit einem anderen Bauteil oder anderen Spezifikationen versehen oder ganz durch ein anderes ersetzt wird.
- Sie sind ausgesprochen robust und gegenüber Beschädigung sicher. Gleichmaßen sind sie für die Nutzer*innen ungefährlich, ein Vorteil, der gerade in der Chemie wichtig ist.
- Sie können das „Unsichtbare sichtbar machen“. Komplexe und meist empfindliche technische Apparate, wie bspw. optische Analysengeräte oder empfindliche Waagen, können virtuell geöffnet und die einzel-

nen Komponenten im Detail betrachtet werden. Von besonderer Bedeutung in der Chemie ist, dass detaillierte Reaktionsverläufe durch Molekülsimulationen sichtbar gemacht werden können.

Zu den allgemeinen Nachteilen und möglichen Problemen bei der Nutzung von virtuellen Laboren gehören (Potkonjak et al. 2016):

- Sie verursachen eine z.T. große Belastung der Computerressourcen (Prozessor, Graphikkarte, Netzwerk).
- Sie vermitteln keine „reale“ Laborerfahrung, Studierende verhalten sich demzufolge nicht immer, wie sie sich in einem realen Labor verhalten würden, sind ggf. weniger verantwortungsvoll, ernsthaft und sorgfältig, z.B. indem sie vorsätzlich gefährliche Situationen verursachen, um „zu sehen, was passiert“.
- Sie sollten in der Regel mit einem realen Experiment verbunden werden, um abschließend sicher zu stellen, dass die in der Simulation gezeigten Handlungskompetenzen auch in der realen Laborsituation abrufbar wären.

Während es gerade in den technischeren Disziplinen (Physik, Ingenieurwesen,...) in der vergangenen wenigstens zehn Jahren umfangreiche Entwicklungen im Bereich der virtuellen Labore gegeben hat, sind solche Entwicklungen in der Chemie kaum erfolgt. Ursächlich hierfür ist die geringere „Gradlinigkeit“ chemischer Experimente und die enorme Methodenvielfalt in den verschiedenen chemischen Disziplinen. Zudem spielen gerade in der analytischen und präparativen Chemie reale Sinneseindrücke, wie subtile Farbveränderungen, Schlierenbildungen, Trübungen, oder auch Geräusch- und Geruchseindrücke eine wichtige Rolle bei der Beurteilung von Experimenten.

Im kommerziellen Bereich stellt die 2012 gegründete dänische Firma **Labster** als erste eine auf die Bedarfe biologischer, biochemischer und chemischer Studiengänge ausgerichtete virtuelle Laborumgebung zur Verfügung (Labster 2019; Stauffer 2019), die derzeit in Kooperation mit renommierten US-amerikanischen Hochschulen, wie Harvard, MIT und UC Berkeley sowie einigen dänischen Universitäten weiter entwickelt wird (Makransky et al. 2016; Bonde et al. 2014). Das Labster virtuelle Labor kann dabei als 2D-Desktop-Version und auch als 3D-Version (auf der Lenovo Mirage Solo mit Daydream und Google Daydream View, die Entwicklung ist aber plattformübergreifend ausgelegt) genutzt werden und bietet daher variable Nutzungsmöglichkeiten.

Die Labster Virtual Lab Software ermöglicht es, unterschiedliche biochemische und chemische Konzepte auf vielfältige Weise zu visualisieren. Sie gibt den Studierenden zudem die Möglichkeit, diese interaktiv zu entdecken, deren Wirkung zu testen und Risiken gefahrlos zu erfahren (Abb. 2.a+b).



Abb. 2 (a) Labster virtuelles Labor



(b) virtueller Arbeitsplatz



(c) Fritz Haber Avatar

Viele Studierende haben bis in die höheren Fachsemester große Probleme damit, chemische Konzepte und Reaktionen im Sinne eines umfassenden Verständnisses zu begreifen. Hiermit ist nicht die Wiedergabe mathematischer Zusammenhänge oder das Aufzeichnen von Molekülstrukturen gemeint, seien diese aus dem Gedächtnis abgerufen oder, im bevorzugten Fall, selbst konstruiert. Vielmehr geht es darum, diese als reale Prozesse in ihrem Wesen zu verstehen. Der Grund dafür ist, dass solche Prozesse auf einer Größenordnungsskala ablaufen, die für menschliche Maßstäbe evolutionsbedingt und auch gemessen an der alltägli-

chen Erfahrung nicht zu fassen ist. Desto enger die Darstellung solcher Prozesse mit realen, eigenen Erfahrungen verknüpft wird, desto leicht fällt den Studierenden das Verständnis. Daher ist bei diesem Verständnis digitale Unterstützung besonders wichtig.

So können in Labster beispielsweise die virtuell durchgeführten Reaktionen auf molekularer Ebene visualisiert werden, Interaktionen zwischen spezifischen Atomen und Atomgruppen werden greifbar, sterische Effekte springen dem Nutzern durch den 3D-Effekt bildlich ins Auge.

Gerade in Praktika höherer Fachsemester werden zunehmend komplexe Geräte eingesetzt. Bei der Nutzung dieser Geräte stellen sich an die Studierenden große Anforderungen. Sie müssen...

- die grundsätzliche Verfahren oder Prozessabfolgen verstehen und diese in ihrer Bedeutung für das durchzuführende Experiment einordnen.
- Gefahren bei der Nutzung des Geräts abschätzen und Ihre Handlungen daraufhin planen.
- Die konkrete technische Bedienung und Menüführung des Geräts verstehen und diese in Handlungskompetenz im realen 3D-Raum umsetzen.
- Beobachtung, die sie bei der Nutzung des Geräts machen, interpretieren und ggf. darauf reagieren.

Digitale Lerninstrumente sind dann besonders motivierend und erfolgreich, wenn Studierende bei der Nutzung nicht allein gelassen werden und das Gefühl haben, jederzeit auch persönliche Unterstützung bekommen zu können. Dies gelingt durch eine möglichst enge An- und Einbindung in die jeweilige Präsenzveranstaltung und, sofern diese nicht möglich ist, oder im Rahmen eines ergänzenden Angebots realisiert werden soll, durch eine möglichst personalisierte virtuelle Betreuung.

In Labster Laborsimulationen werden die Studierenden durch einen virtuellen Laborassistenten („Dr. One“) begleitet, der bei Fragen jederzeit ansprechbar ist (Stauffer 2019). Die in den simulierten Handlungskontexten (Stories) auftretenden Personen sind häufig bekannte Wissenschaftler, die bspw. ein bestimmtes, in dem jeweiligen Fall zentral genutztes Konzept entwickelt oder eine wichtige Entdeckung gemacht haben. So tritt in einer Simulation zu chemischen Gleichgewichten Prof. Fritz Haber (Abb. 2.c)), Mitentwickler des Haber-Bosch-Prozesses, der in der chemischen Industrie auch heute noch von zentraler Bedeutung ist, als Problembesitzer auf, der die Hilfe der Studierenden bei der Anwendung seiner eigenen Entdeckung sucht.

In der kommenden Generation von Simulationen wird es Lehrenden erstmals möglich sein, in diesen selbst als Avatar aufzutreten. Dies ist aus meiner Sicht ein entscheidender Schritt, da die Beziehung zwischen Lehrenden und Studierenden einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren im Lernprozess ist (Bruck et al. 2010; Christiansen 2017; Wei et al. 2018). Hier kann, durch das Auftreten von aus der realen Welt bekannten Bezugspersonen, an zentraler Stelle eine erste Verschmelzung der realen mit der virtuellen Welt stattfinden.

Es ist ein **Kernanliegen** der hier beschriebenen Lehrinnovation, diese Vernetzung auf die nächste Stufe zu heben. Wo immer möglich und sinnvoll soll die virtuelle Welt mit Realvideos vernetzt und so der Transfer virtueller Ereignisse und Handlungen in die reale Welt erleichtert werden. Konsequenzen des eigenen Handelns werden so nicht nur virtuell simuliert, sondern durch Filmsequenzen plastisch, damit leichter fass- und auch begreifbar. Der Aufbau dieses neuen Szenarios ist mit einigem Aufwand verbunden, geht es doch darum, die unterschiedlichen Handlungen der Studierenden zu antizipieren und, zumindest in den häufigsten oder wichtigsten Fällen, entsprechende Realfilmsequenzen vorzubereiten und in das System einzukoppeln. Dies kann zunächst über einfache Links zu außerhalb der Software hinterlegten Filmsequenzen erfolgen (Abb. 3.a). In der zweiten Phase soll aber eine möglichst weitgehende Integration in das virtuelle Labor erfolgen (Abb. 3.b).

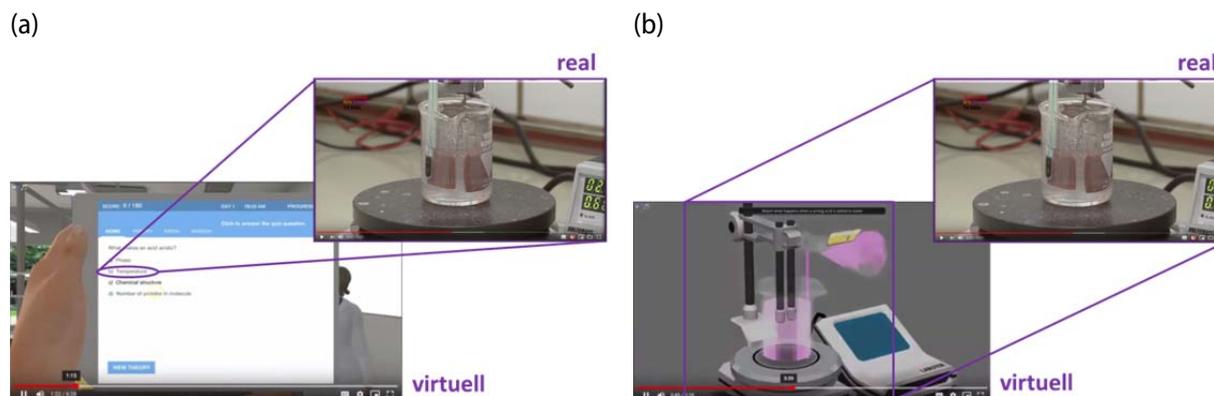


Abb. 3 Kopplung der virtuellen Welt mit der realen Welt durch (a) Verlinkung entsprechender Realvideos über Textblöcke oder (b) direkte Einbettung der Realvideos in das virtuelle Labor.

Die Studierenden können ihre Entscheidungen aufgrund der realen Laboreindrücke neu bewerten und ggf. alternative Handlungsoptionen wählen. Die Wahl der jeweiligen Handlungsoptionen werden durch situationsbezogene Selbsttests, die bereits in der virtuellen Laborumgebung angelegt sind, sowie durch Diskussionen mit dem virtuellen Laborassistenten nochmals hinterfragt, die Entscheidungsmotivation dadurch explizit gemacht und die kritische Selbstreflexion angeregt. Auf diese Weise werden schrittweise Erfahrungen in der virtuellen Laborumgebung auf reale Handlungssituationen bezogen und damit leichter übertragbar. Die Studierenden haben die Möglichkeit, gefahrlos Fehler zu machen und aus diesen zu Lernen (*deep learning*).

Eine Interessante Funktion innerhalb des virtuellen Labors ist die *red-button*-Option: Entsprechend dem elektrischen Not-Aus-Buzzer, der in den meisten Laboratorien, meist an elektronischen Geräten, installiert ist, gibt es die Möglichkeit eine Handlung abzubrechen und –das ist hier besonders– den letzten Schritt rückgängig zu machen. Hierdurch erhalten die Studierenden mehr Sicherheit und Selbstvertrauen, eigene Entscheidungen zu treffen.

Das Labster virtuelle Labor kann in das Learning Management System (LMS) der Hochschule eingekoppelt werden. Eine Schnittstelle für Moodle, Sakai, EdX und weitere steht zur Verfügung, eine Schnittstelle für Ilias derzeit noch nicht. Da an der TH Köln Moodle und Ilias genutzt werden, kann bis zur Bereitstellung der Ilias-Schnittstelle mit Moodle gearbeitet werden.

Ohne die Einsatzszenarien im Detail zu beschreiben, ist die Nutzung der virtuellen Laborumgebung neben der offensichtlichen Einbindung in das *Flipped-Lab*-Konzept sowohl in den entsprechenden theorieorientierten Lehrveranstaltungen (zur Anbindung der Inhalte an die Laborpraxis), als auch in den Angeboten an Schüler*innen und in der Studienvorbereitungsphase geplant. Gerade in den beiden letztgenannten Szenarios erwarte ich eine deutlich verbesserte Einschätzung der Schüler*innen und Jungstudierenden der im Rahmen des Studiums zu entwickelnden Kompetenzen. Damit einhergehend kann die Entscheidung zur Aufnahme des Studiums fundierter und, im Idealfall, mit einer größeren Motivation erfolgen.

Es ist mir ein großes Anliegen, mit Einführung der Lehrinnovation neue Möglichkeiten für Studierende mit besonderen Anforderungen zu schaffen. Ich bin davon überzeugt, dass es nach einer wissenschaftlich begleiteten Erprobungsphase gelingen kann, dieser Studierendengruppe eine attraktive und wirkungsvolle Lern- und Prüfungsalternative anbieten zu können, die es mehr jungen Menschen ermöglicht, ihr Studium in der Regelstudienzeit abzuschließen oder, in besonderen Fällen, diesen überhaupt ein Chemiestudium zu ermöglichen.

6 Wie lassen sich nach Erprobung der Lehrinnovation Erfolg und eventuelle Risiken beurteilen?

Alle beteiligten Lehrveranstaltungen wurden in den vergangenen Jahren regelmäßig durch die Studierenden evaluiert, entweder mithilfe kompetenzorientierter Fragebögen (Vorlesungen) oder unter Einsatz von Teaching Analysis Polls (TAPs im Praktikum Anorganische Chemie) (Frank et al. 2011), wobei Letztere den Studierenden die Möglichkeit zu offeneren Rückmeldungen geben. Diese Evaluationen sollen fortgeführt werden, um die durch die genannten Maßnahmen erzeugten Effekte bewerten zu können.

Ich bin seit einigen Jahren dazu übergegangen, am Ende meiner Lehrveranstaltung online und anonym (Ilias-basiert) Rückmeldungen zu einzelnen Elementen meiner Lehrveranstaltungen zu erfragen. Die Resonanz hierauf ist i.d.R. ausgezeichnet und liefert detaillierte Informationen zur (zumindest subjektiven) Wirksamkeit dieser Maßnahmen. Dies werde ich auch in Zukunft so beibehalten.

Im Rahmen der Lehrveranstaltung Anorganische Chemie hatte ich im letzten Jahr eine Workload-Studie durchgeführt, um besser die Arbeitsbelastung und deren Verteilung im Verlauf der Lehrveranstaltung zu verstehen. Diese Studie soll im nächsten Jahr wiederholt werden. Auf Basis dieser Referenzmessung können so Änderungen des Lernverhaltens sichtbar gemacht werden, ggf. auftretende Zusatzbelastungen werden sichtbar. Dies ist besonders wichtig, da in ersten Studien als eine Begleiterscheinung vereinnahmender virtueller Labore eine deutlich stärkere zeitliche Belastung beobachtet wurde (Thisgaard und Makransky 2017; Makransky et al. 2016, 2016), zum Teil gab es Hinweise auf zwar handlungsorientierteres aber weniger umfassendes Lernen (Makransky et al. 2019).

Im Rahmen eines beim BMBF eingereichten (aber noch nicht beschiedenen) Projektantrags (Programm „Digitalisierung II“) ist eine umfassende Studie zur Gestaltung und Wirksamkeit von Lehrmedien, insbesondere Videos und *Augmented Reality* Applikationen, in den MINT-Disziplinen (Projekt „DIVIMINT - Diversität und Inklusion in der Video-basierten Hochschullehre im MINT-Bereich“) geplant. In deren Rahmen würde ergänzend auch das hier beschriebene Projekt wissenschaftlich begleitet werden können.

Das Projekt würde ich als eher risikoreich einschätzen, da wir mit der Innovation didaktisches Neuland betreten. Konkrete Risiken erwachsen aus der Fokussierung auf die virtuelle Laborumgebung Labster, auch, wenn bereits absehbar ist, dass diese sich in den kommenden 2-3 Jahren zum Quasi-Standard entwickeln wird. Alternativen, die allerdings deutlich weniger weit entwickelt sind, bieten die Plattformen *Immersive VR Education* und *InStage*, diese würden entsprechende Ausweichoptionen bieten.

7 Wie soll die geplante Lehrinnovation verstetigt werden?

Die Verstetigung der Lehrinnovation soll auf dem bereits in einem Vorgängerprojekt (*Chem-on!*) bewährten Weg erfolgen: Hier wurde das im Rahmen des Projekts am Campus Leverkusen aufgebaute *Media Lab* durch die Bewilligung von Qualitätsverbesserungsmitteln zunächst ein Jahr weiterfinanziert, um die Nutzung für weitere Lehrveranstaltungen vorzubereiten und zu initiieren. Nachfolgend wurde und wird das Media Lab aus regulären Fakultätsmitteln weiterfinanziert.

8 Auf welche Lehr-Lern-Situationen – auch in anderen Disziplinen – kann die geplante Lehrinnovation übertragen werden?

Die Lehrinnovation ist strukturell angelegt und findet im curricularen Kontext statt. Sie ist curricular zunächst auf die Lehrveranstaltungen der Anorganischen Chemie (Vorlesung und Praktikum), darüber hinaus den Studienvorkurs Chemie sowie diverse Schnupperangebote. Darauf aufbauend ist, nach positiver Evaluation, allerdings bereits heute die Übertragung insbesondere auf weitere Chemiepraktika, ggf. auch das Praktikum Physik, in Planung. Über das Zentrum für Lehrentwicklung bin ich gut in der Hochschule vernetzt

und im stetigen Austausch mit den anderen MINT-Fakultäten. Wir haben in der Hochschule eine Kultur des Austausches von Lehrinnovationen entwickelt, die hier wirksam werden wird. Alle neu entwickelten Videosequenzen sowie sonstige Lehrmedien werden als OER über die DH-NRW verfügbar gemacht und über die bestehenden YouTube-Kanäle (<http://t1p.de/fyc1>, <http://t1p.de/3h36>, <http://t1p.de/b14u>) auch einem breiten Interessentenkreis zugänglich gemacht.

Im Rahmen des Lehreⁿ-Programms ist eine gemeinsame Studie zum Einsatz von Labster in der Chemielehre mit dem Kollegen Prof. Dr. Sigfried Schindler von der Universität Gießen geplant. Dies beinhaltet natürlich auch die gemeinsame Weiterentwicklung der hier beschriebenen Lehrinnovation.

9 Was verspreche ich mir vom Austausch mit anderen Fellows?

Ich habe in den vergangenen 3 Jahren ausnahmslos an allen Treffen der Fellowship-Preisträger teilgenommen und jedes Einzelne als besonders erfahren. Es haben sich viele neue Bekanntschaften und z.T. Freundschaften entwickelt, die auch zu wechselseitigen Besuchen anderer Fellows und, nicht zuletzt, zu dieser hier vorgestellten Lehrinnovation geführt haben. Unabhängig von der Bewertung dieser Bewerbung bin ich für die Unterstützung des Stifterverbandes im Rahmen des Programms im höchsten Maße dankbar.

10 Wie bin ich insbesondere mit der geplanten Lehrinnovation innerhalb meiner Hochschule organisatorisch eingebunden und vernetzt?

Seit Beginn meiner Lehrtätigkeit 2010 arbeite ich intensiv mit der hochschuleigenen Didaktik der TH Köln zusammen. Als Studiendekan und in meiner Rolle als hochschuldidaktischer Multiplikator berate ich Kolleg*innen bezüglich didaktischer Fragestellungen und insbesondere der Entwicklung kompetenzorientierter Lehrangebote. Am Zentrum für Lehrentwicklung (ZLE) koordiniere ich gemeinsam mit Timo van Treeck den Expertisezirkel elektronische Prüfungen. Als Dekanatsmitglied bin ich intensiv mit der Hochschulleitung vernetzt und habe so die Gelegenheit Impulse für die Initiierung neuer und die Verstetigung erfolgreicher Projekte zu geben. In der eigenen Fakultät kann ich in dieser Hinsicht direkt lenkend wirken.

Anlage A: Literaturverzeichnis

- Bergmann, Jonathan; Sams, Aaron (2015): Flipped Learning for Science Instruction. Unter Mitarbeit von Paul (Ed.) Wurster. Eugene, Oregon, USA, Arlingt, VA, USA: International Society for Technology in Education (The Flipped Learning Series).
- Biggs J., Tang, C. (2011): Teaching for Quality Learning at University: What the Student Does. 4. Aufl. Maidenhead: Open University Press.
- Bonde, Mads T.; Makransky, Guido; Wandall, Jakob; Larsen, Mette V.; Morsing, Mikkel; Jarmer, Hanne; Sommer, Morten O. A. (2014): Improving biotech education through gamified laboratory simulations. In: *Nature Biotechnology* 32, 694–697. DOI: 10.1038/nbt.2955.
- Bruck, Laura B.; Towns, Marcy; Bretz, Stacey Lowery (2010): Faculty Perspectives of Undergraduate Chemistry Laboratory: Goals and Obstacles to Success. In: *J. Chem. Educ.* 87 (12), S. 1416–1424. DOI: 10.1021/ed900002d.
- Burdinski, Dirk (2018): Flipped Lab. Ein verdrehtes Laborpraktikum. In: Barbara Getto, Patrick Hintze und Michael Kerres (Hg.): Digitalisierung und Hochschulentwicklung. Proceedings zur 26. Tagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft e.V. 1. Auflage. Münster: Waxmann (Medien in der Wissenschaft, Band 74), S. 164–172.
- Burdinski, Dirk (2019): Chem-in! - Ein Lehrkonzept für den leichten Einstieg in chemische Studiengänge. Abschlussbericht zum Fellowship für Innovationen in der digitalen Hochschullehre 2016. Stifterverband für die deutsche Wissenschaft. Essen. Online verfügbar unter <https://www.stifterverband.org/lehrfellows/2016/burdinski>, zuletzt aktualisiert am 10.07.2019.
- Burdinski, Dirk; Glaeser, Susanne (2016): Flipped Lab – Effektiver lernen in einem naturwissenschaftlichen Grundlagenpraktikum mit großer Teilnehmerzahl. In: Brigitte Berendt, Andreas Fleischmann, Niclas Schaper, Birgit Szczyrba und Johannes Wildt (Hg.): Neues Handbuch Hochschullehre, Griffmarke E5.4. Berlin: Raabe-Verlag, S. 1–28.
- Chittleborough, Gail D.; Treagust, David F.; Mocerino, Mauro (2007): Achieving Greater Feedback and Flexibility Using Online Pre-Laboratory Exercises with Non-Major Chemistry Students. In: *J. Chem. Educ.* 84 (5), S. 884–888. DOI: 10.1021/ed084p884.
- Christiansen, Michael A. (2017): Back to Basics. Principles of Teaching That Will Never Expire. In: Michael A. Christiansen und John M. Weber (Hg.): Teaching and the Internet: The Application of Web Apps, Networking, and Online Tech for Chemistry Education, Bd. 1270. Washington, DC: American Chemical Society (ACS symposium series), S. 171–186.
- de Jong, Ton; Linn, Marcia C.; Zacharia, Zacharias C. (2013): Physical and virtual laboratories in science and engineering education. In: *Science (New York, N.Y.)* 340 (6130), S. 305–308. DOI: 10.1126/science.1230579.
- Ebert, Julia; Heublein, Ulrich (2017): Ursachen des Studienabbruchs bei Studierenden mit Migrationshintergrund. Eine vergleichende Untersuchung der Ursachen und Motive des Studienabbruchs bei Studierenden mit und ohne Migrationshintergrund auf Basis der Befragung der Exmatrikulierten des Sommersemesters 2014. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH (DZHW).
- Frank, Andrea; Fröhlich, Melanie; Lahm, Swantje (2011): Zwischenauswertung im Semester: Lehrveranstaltungen gemeinsam verändern. In: *Zeitschrift für Hochschulentwicklung* 6 (3), S. 310–318.
- Fung, Fun Man (2015): Using First-Person Perspective Filming Techniques for a Chemistry Laboratory Demonstration To Facilitate a Flipped Pre-Lab. In: *J. Chem. Educ.* 92 (9), S. 1518–1521. DOI: 10.1021/ed5009624.
- Gregory, Sarah-Jane; Di Trapani, Giovanna (2012): A Blended Learning Approach to Laboratory Preparation. In: *Int. J. Innov. Sci. Math. Educ.* 20 (1), S. 56–70.
- Großkopf, Volker (2016): Die Mischung macht's. Mit Blended Learning komplexe Themen besser vermitteln. In: Nachhaltige Forschung an Fachhochschulen in NRW, Zentrum für Forschungskommunikation (Hg.): Gesellschaft und Digitalisierung. Unter Mitarbeit von Anna Zimmermann. Köln, S. 38–39.
- Handke, Jürgen; Loviscach, Jörn; Schäfer, Anna-Maria; Spannagel, Christian (2016): Inverted Classroom in der Praxis. In: Brigitte Berendt, Andreas Fleischmann, Niclas Schaper, Birgit Szczyrba und Johannes Wildt (Hg.): Neues Handbuch Hochschullehre, Griffmarke E 2.11. Berlin: Raabe-Verlag, S. 1–18.
- Hart, Christina; Mulhall, Pamela; Berry, Amanda; Loughran, John; Gunstone, Richard (2000): What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? In: *J. Res. Sci. Teach.* 37 (7), S. 655–675. DOI: 10.1002/1098-2736(200009)37:7<655::AID-TEA3>3.0.CO;2-E.
- Hartman, JudithAnn R.; Dahm, Donald J.; Nelson, Eric A. (2015): ConfChem Conference on Flipped Classroom: Time-Saving Resources Aligned with Cognitive Science To Help Instructors. In: *J. Chem. Educ.* 92 (9), S. 1568–1569. DOI: 10.1021/ed5009156.
- Hartman, JudithAnn R.; Nelson, Eric A. (2015): "Do we need to memorize that? " or Cognitive Science for Chemists. In: *Found. Chem.* 17 (3), S. 263–274. DOI: 10.1007/s10698-015-9226-z.

Hedtrich, Sebastian; Graulich, Nicole (2018): Lernzuwachs in Blended-Learning Laborpraktika transparent machen – Feedbackfunktionen des LMS erweitern. In: *CHEMKON* 25 (7), S. 279–283. DOI: 10.1002/ckon.201800014.

Heradio, Ruben; La Torre, Luis de; Dormido, Sebastian (2016): Virtual and remote labs in control education: A survey. In: *Annual Reviews in Control* 42, S. 1–10. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001.

Heublein, Ulrich; Hutzsch, Christopher; Schreiber, Jochen; Sommer, Dieter; Besuch, Georg (2010): Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08. In: *Forum Hochschule (HIS)* 2, S. 1–184.

Heublein, Ulrich; Richter, Johanna; Schmelzer, Robert; Sommer, Dieter (2014): Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2012. In: *Forum Hochschule (DZHW)* (4), S. 1–20. Online verfügbar unter http://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201404.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2015.

Hofstein, Avi; Mamlok-Naaman, Rachel (2007): The laboratory in science education. The state of the art. In: *Chem. Edu. Res. Pract.* 8 (2), S. 105–107. DOI: 10.1039/B7RP90003A.

Jones, Susan M.; Edwards, Ashley (2010): Online Pre-laboratory Exercises Enhance Student Preparedness for First Year Biology Practical Classes. In: *Int. J. Innov. Sci. Math. Educ.* 18 (2), S. 1–9.

Kreulich, Klaus; Dellmann, Frank (2016): Digitalisierung // Strategische Entwicklung einer kompetenzorientierten Lehre für die digitale Gesellschaft und Arbeitswelt. Die Position der UAS7-Hochschulen für Angewandte Wissenschaften. 1000. Aufl. Unter Mitarbeit von Thomas Schutz, Thilo Harth und Katja Zwingmann. Hg. v. UAS7 e.V. UAS7 e.V. c/o HWR Berlin, Badensche Str. 52, 10825 Berlin. Berlin.

Labster (2019). Online verfügbar unter <https://www.labster.com/>.

Lehre-hoch-n Dachprogramm. Online verfügbar unter <https://lehrehochn.de/programme/#dachprogramm>.

Makransky, Guido; Terkildsen, Thomas S.; Mayer, Richard E. (2019): Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. In: *Learning and Instruction* 60, S. 225–236. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.

Makransky, Guido; Thisgaard, Malene Warming; Gadegaard, Helen (2016): Virtual Simulations as Preparation for Lab Exercises: Assessing Learning of Key Laboratory Skills in Microbiology and Improvement of Essential Non-Cognitive Skills. In: *PloS one* 11 (6), e0155895. DOI: 10.1371/journal.pone.0155895.

Potkonjak, Veljko; Gardner, Michael; Callaghan, Victor; Mattila, Pasi; Guetl, Christian; Petrović, Vladimir M.; Jovanović, Kosta (2016): Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering. A review. In: *Computers & Education* 95, S. 309–327. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.02.002.

Rodriguez, Jon-Marc G.; Towns, Marcy H. (2018): Modifying Laboratory Experiments To Promote Engagement in Critical Thinking by Reframing Prelab and Postlab Questions. In: *J. Chem. Educ.* 95 (12), S. 2141–2147. DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00683.

Schmid, Siegbert; Yeung, Alexandra (2005): The influence of a pre-laboratory work module on student performance in the first year chemistry laboratory. In: A. Brew und C. Asmar (Hg.): 28. Proceedings of the 2005 HERDSA Annual Conference. Higher Education in a changing world. Research and Development in Higher Education. Higher Education in a changing world. Research and Development in Higher Education. Sydney, Australia, July 3-6, 2005. Higher Education Research & Development Society of Australia Inc. (Proceedings of the 2005 HERDSA Annual Conference, 28), S. 471–479.

Schneider, Wolfgang; Körkel, Joachim; Weinert, Franz E. (1990): Expert Knowledge, General Abilities, and Text Processing. In: Wolfgang Schneider und Franz E. Weinert (Hg.): Interactions Among Aptitudes, Strategies, and Knowledge in Cognitive Performance. New York, NY: Springer, S. 235–251.

Seery, Michael K.; Agustian, Hendra Y.; Doidge, Euan D.; Kucharski, Maciej M.; O'Connor, Helen M.; Price, Amy (2017): Developing laboratory skills by incorporating peer-review and digital badges. In: *Chem. Edu. Res. Pract.* 18 (3), S. 403–419. DOI: 10.1039/C7RP00003K.

Seery, Michael K.; Agustian, Hendra Y.; Zhang, Xinchu (2018a): A Framework for Learning in the Chemistry Laboratory. In: *Isr. J. Chem.* 19, S. 71. DOI: 10.1002/ijch.201800093.

Seery, Michael K.; Jones, Ariana B.; Kew, Will; Mein, Thomas (2018b): Unfinished Recipes: Structuring Upper-Division Laboratory Work To Scaffold Experimental Design Skills. In: *J. Chem. Educ.* 96 (1), S. 53–59. DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00511.

Smith, Paul (2015): Flipped lectures in chemistry using pre-lecture screencasts and game-based classroom response systems. In: Louis Gómez Chova, A. López Martínez und I. Candel Torres (Hg.): EDULEARN15 Proceedings, Bd. 7. 7th International Conference on Education and New Learning Technologies. Barcelona, Spain, 6-8 July 2015. International

Association of Technology, Education and Development (IATED). Valencia: International Association of Technology, Education and Development (IATED), S. 180–191.

Stauffer, Sarah (2019): Mit virtuellen Experimenten zum Lernerfolg. In: *Biospektrum* 25 (1), S. 104. DOI: 10.1007/s12268-019-1012-3.

Szczyrba, Birgit (2006): „The Shift from Teaching to Learning“ — Psychodramatische Perspektiven auf die Hochschullehre. In: *ZPS* 5 (1), S. 47–58. DOI: 10.1007/s11620-006-0005-7.

Talbert, Robert (2017): *Flipped Learning. A Guide for Higher Education Faculty*. Sterling, Virginia (USA): Stylus Publishing, LLC.

Teo, Tang Wee; Tan, Kim Chwee Daniel; Yan, Yaw Kai; Teo, Yong Chua; Yeo, Leck Wee (2014): How flip teaching supports undergraduate chemistry laboratory learning. In: *Chem. Edu. Res. Pract.* 15 (4), S. 550–567. DOI: 10.1039/c4rp00003j.

Thisgaard, Malene; Makransky, Guido (2017): Virtual Learning Simulations in High School: Effects on Cognitive and Non-cognitive Outcomes and Implications on the Development of STEM Academic and Career Choice. In: *Frontiers in psychology* 8, 805 (13 pages). DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00805.

van Treeck, Timo; Himpsl-Gutermann, Klaus; Robes, Jochen (2013): Offene und partizipative Lernkonzepte. E-Portfolios, MOOCs und Flipped Classrooms. In: Martin Ebner und Sandra Schön (Hg.): *Lehrbuch für Lehren und Lernen mit Technologien*. 2. Aufl.

Wei, Jianye; Mocerino, Mauro; Treagust, David F.; Lucey, Anthony D.; Zadnik, Marjan G.; Lindsay, Euan D.; Carter, Damien J. (2018): Developing an understanding of undergraduate student interactions in chemistry laboratories. In: *Chem. Edu. Res. Pract.* 19 (4), S. 1186–1198. DOI: 10.1039/C8RP00104A.

Weidlich, Joshua; Spannagel, Christian (2014): Die Vorbereitungsphase im Flipped Classroom. Vorlesungsvideos versus Aufgaben. In: Klaus Rummler (Hg.): *Lernräume gestalten – Bildungskontexte vielfältig denken*. 14. Jahrestagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft. PH Zürich, 1.-4.09.2014, Zürich, CH. Münster: Waxmann, S. 363–376.