

Schluss mit Kompetenzen! Praxisnahe Bildung für die Pharmaindustrie 4.0

Thorsten Daubenfeld^{1,*}, Bernd Geis² und Leo Gros¹

DOI: 10.1002/cite.202100047

 This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Die gegenwärtigen Veränderungen in der pharmazeutischen Industrie wirken sich auch auf die Anforderungsprofile von Hochschulabsolventinnen und -absolventen aus. In diesem Beitrag beschreiben die Autoren ihre Erfahrungen mit und Einsichten zu diesem Thema aus Sicht einer Hochschule für Angewandte Wissenschaften und aus Sicht der Industrie. Bewusst provozierend hinterfragen sie die starke Betonung der Kompetenzorientierung und deren gegenwärtige Umsetzung in der Hochschullehre. Sie meinen, dass die Beschreibung von Modulen und Lernzielen dem für die Praxis unabdingbaren Fachwissen häufig zu wenig Raum gibt und stellen den Zweiklang aus Wissen und Können am Beispiel der Lehrphilosophie von Carl Remigius Fresenius (1818–1897) als Gegenpol dar. Am Beispiel der M.Sc. Executive Initiative wird die Notwendigkeit und konkrete Umsetzbarkeit der Verflechtung von Wissensvermittlung und anwendungsorientierter Lehre im Kontext der Pharmaindustrie 4.0 verdeutlicht.

Schlagwörter: Bildung, Hochschulen für Angewandte Wissenschaften, Ingenieurstudium, Pharmaindustrie 4.0, Praxisorientierte Bildung Universitäten

Eingegangen: 29. April 2021; *akzeptiert:* 02. Juli 2021

End with Competencies! Practice-Oriented Education for the Pharmaceutical Industry 4.0

The structural changes in the pharmaceutical industry have implications on the qualification profile of university graduates. In this paper, the authors share their experiences with and insights into this topic both from the perspective of a university of applied sciences and the industry. They question the current emphasis on competencies and their implementation in university teaching. They believe that module descriptions and learning objectives fall short with respect to the necessary expert knowledge required in industry. They describe the educational philosophy of Carl Remigius Fresenius (1818–1897) with its focus both on knowledge acquisition and application as a counterexample. With the practical case of the M.Sc. Executive Initiative, both the necessity as well as the implementation of practice-oriented university teaching in the context of the pharmaceutical industry 4.0 is illustrated.

Keywords: Engineering, Higher education, Pharmaceutical industry 4.0, Practice-oriented education, Universities, University of Applied Sciences

1 Einleitung

Die pharmazeutische Industrie befindet sich inmitten eines tiefgreifenden Wandels. Die Chemie pharmazeutisch interessanter Wirkstoffe wird biologischer – und die Biologie wird technischer. Seit der Zulassung des ersten biotechnologisch hergestellten Insulins der Firma Eli Lilly im Jahre 1982 hat sich die pharmazeutische Industrie stark gewandelt. Im Jahre 2020 wurden bereits knapp 29 % der Umsatzerlöse aller pharmazeutischer Wirkstoffe in Deutschland mit Biopharmazeutika erwirtschaftet [1] – eine Steigerung um 17 Prozentpunkte gegenüber 2006 [2]. Die Herstellung von Biopharmazeutika stellt hohe Ansprüche an die Pro-

zesstechnik, insbesondere bezüglich der Sterilfertigung. Weitere Megatrends sind Digitalisierung und Vernetzung in der Pharmaindustrie, auch unter dem Begriff Industrie 4.0 subsumiert.

¹Prof. Dr. Thorsten Daubenfeld, Prof. Dr. em. Leo Gros
daubenfeld@hs-fresenius.de
Hochschule Fresenius, Fachbereich Chemie & Biologie, Limburger Straße 2, 65510 Idstein, Deutschland.

²Bernd Geis
Process [-ING] Gesellschaft für Projekt- und Qualitätsmanagement mbH, Projektcampus Rheingau-Taunus, Am Frauwald 5, 65510 Idstein, Deutschland.

Mit diesen Veränderungen in der Pharmaindustrie ändern sich auch die Anforderungen an künftige Fach- und Führungskräfte. Als exemplarische Beispiele seien die Bereiche Forschung & Entwicklung, Produktion und Qualitätsmanagement genannt. In der Forschung & Entwicklung pharmazeutischer Wirkstoffe gerät das seit den 1980er Jahren verfolgte Modell des „rational drug design“ [3] und der Blockbusterstrategie immer stärker unter Druck, da die Kosten für die Entwicklung eines neuen Wirkstoffs immer weiter steigen. Hier stellen sich u. a. die Fragen, ob KI-Algorithmen die Effizienz der Auswahl geeigneter Wirkstoffkandidaten weiter steigern können oder welches langfristige Potenzial der Fokus auf Blockbusterwirkstoffe noch bietet [4, 5]. In der Produktion werden neben den bereits erwähnten technischen Herausforderungen auch Fragen nach kleineren Losgrößen geklärt werden müssen. Diese resultieren aus den hohen Anforderungen an die zeitliche und räumliche Konstanz des Milieus im Bioreaktor und aus der stärkeren Individualisierung der medizinischen Diagnostik und der damit verbundenen patientenindividuellen Medizin („personalisierte Medizin“). Aus einem Ansatz mit 35 L, der 350 g mRNA enthält, gewinnt man zum Beispiel 8 Millionen Impfdosen für die Covid-19-Impfung [6]. Für solche Produkte reicht es im Qualitätsmanagement – vereinfacht ausgedrückt – nicht mehr aus, nur vorgefertigte Checklisten abzuhaken, um die Produktqualität sicherzustellen (wenn das jemals richtig war). Vielmehr müssen die Einflussgrößen im Prozess auf die Qualität des finalen Produktes auf molekularer Ebene sehr genau verstanden und das dynamische System des „Quality by design“ [7, 8] gemanagt werden.

In diesem Beitrag möchten die Autoren ihre Perspektive auf die Schnittstelle zwischen diesen Anforderungen der Praxis einerseits und auf die Qualität der Sicherstellung dieser Anforderungen durch Bildungsinstitutionen andererseits beleuchten. Wir fokussieren uns dabei auf Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW), denen als Schnittstelle zwischen Bildungssystem und Industrie eine wesentliche Funktion zukommt. Der Beitrag ist als Essay formuliert, um neben den Fakten auch individuelle Erfahrungen einfließen lassen zu können. Darüber hinaus möchten wir bewusst provozierend die These aufwerfen, dass die gegenwärtige Umsetzung der kompetenzorientierten Lehre den Bedarf der Industrie nicht immer trifft. Nach unserer Ansicht und Erfahrung ist es Aufgabe der Hochschullehre, mit ihren Studierenden einen Dreiklang zu erarbeiten. Er umfasst (a) ein solides Fundament aus Wissen und Können, (b) interdisziplinäre Bildung durch Anwendung dieses Fundaments und (c) unmittelbare Praxiserfahrung in einem Industrieunternehmen, um den Nutzen des angewandten Wissens zum Gelingen realer ingenieurtechnischer Herausforderungen sicherzustellen. Unserer Ansicht nach ist eine wettbewerbsfähige Pharmaindustrie 4.0 ohne die Berücksichtigung dieser drei Faktoren nicht zu realisieren.

Um diese Überlegungen zu untermauern, werfen wir den Blick zurück ins 19. und frühe 20. Jahrhundert, um bei den Ursprüngen der pharmazeutischen Industrie nach den „zeit-

losen Wahrheiten“ zu suchen, die auch heute noch gelten. Was dürfen wir hier und heute noch von Arthur D. Little oder Carl Remigius Fresenius lernen? Wir diskutieren, warum die Umsetzung der Bologna-Reform in der Hochschullehre in Deutschland nicht flächendeckend den Erwartungen des Arbeitsmarktes gerecht wurde. Und wir schauen uns mit der M.Sc. Executive Initiative [9] ein konkretes Beispiel dafür an, wie praxisorientierte Lehre für die Pharmaindustrie 4.0 im 21. Jahrhundert aussehen könnte. Ein provozierender Beitrag sollte im besten Wortsinne (*provocare*, lat., hervorrufen) auffordernd wirken, also Zustimmung und Widerspruch hervorrufen oder Raum für Inspiration schaffen. Wir hoffen, dass uns dies mit diesem Beitrag gelingt.

2 Die pharmazeutische Industrie ist im Wandel

Dass die Chemie pharmakologisch interessanter Substanzen biologischer und die Biologie technischer wird, ist heute einer breiten Öffentlichkeit bewusst. Zu diesem Umstand haben nicht zuletzt die Erstzulassungen der amerikanischen und europäischen Arzneimittelbehörden für mRNA-Impfstoffe gegen das Coronavirus SARS-CoV-2 oder CART-Zelltherapien – einer auf modifizierten körpereigenen Abwehrzellen basierenden Krebstherapie – maßgeblich beigetragen [10–12]. Über diese Beispiele hinaus wird in den kommenden Jahren die sogenannte P4-Medizin das Gesundheitssystem nachhaltig beeinflussen. P4-Medizin bezeichnet das von dem U.S.-amerikanischen Biologen und Mediziner Leroy Hood geprägte Leitbild, welches den Wandel einer derzeit reaktiven hin zu einer künftig proaktiven und interdisziplinären Medizin beschreibt. Hood verwendet zu diesem Zweck die vier Adjektive prädiktiv, personalisiert, präventiv und partizipatorisch. In dieser Zukunftsvision werden insbesondere Biopharmazeutika, Immuntherapeutika und Impfstoffe einen wichtigen Beitrag gegen Krebs, neurodegenerative Krankheiten (z. B. Alzheimer) und Infektionserkrankungen leisten können [13].

Die Herstellung biologischer Makromoleküle erfordert aufwendige Produktions- und Fertigungsmethoden. Identität, Gehalt, Reinheit und Qualität werden, anders als bei chemisch synthetisierten Arzneistoffen, in einem vielfach höheren Maße von den jeweiligen Herstellungsprozessen beeinflusst. So verändern beispielsweise bereits einige Variationen in den Glykosylierungsmustern der Proteine deren Pharmakokinetik und Stabilität. Aufgrund ihrer naturgemäß geringen oralen Bioverfügbarkeit werden diese Arzneiform parenteral, als aseptisch hergestelltes – häufig gefriergetrocknetes – Injektionspräparat verabreicht. Unter den Rahmenbedingungen dieses „Quality Target Profile“ ist in einem zunehmenden Maße der Prozess das eigentliche Produkt und Quality by design (kurz QbD) die Schlüsselkonzeption zwischen Forschung und Entwicklung, Arzneimittelzulassung sowie Herstellung unter GMP-Bedingungen (Good Manufacturing Practice, GMP) [14–17].

Vor dem Hintergrund des bereits begonnenen Wandlungsprozesses, der für die Pharmaindustrie u. a. mit einer Verbreiterung des Sortiments und einer Verkleinerung der Losgrößen einhergehen wird, stehen ein komprimiertes Entwickeln und Zulassen von innovativen Arzneistoffen und Therapien, das Umsetzen flexibler und wandlungsfähiger Prozesse sowie das von den Zulassungs- und Inspektionsbehörden geforderte QbD im Fokus der aktuellen Diskussionen in Wissenschaft und industrieller Praxis. In der Ingenieurtechnik geht der prozesstechnische Wandel innerhalb der Pharmaindustrie mit einer Renaissance des von Arthur D. Little zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingeführten Konzeptes der „Unit Operations“ [18], angepasst an die speziellen Anforderungen der Bio- und Pharmatechnik, einher [19,20]. In der Pharmafabrik der Zukunft treffen unter dem Begriff Pharmaindustrie 4.0 die Möglichkeiten einer vierten industriellen Revolution (mit dem Internet der Dinge und Dienste) auf die Chancen einer zweiten pharmakologischen Revolution. Die Erfolge in einer Pharmaindustrie 4.0 sind jedoch nicht nur auf das durch Bits und Bytes Mögliche begrenzt, sondern werden von Menschen gemacht. Chemie- und Bioverfahrensingenieurinnen und -ingenieure sind in der Verwirklichung unserer Vorstellung von Gesundheit und Lebensqualität ein wichtiges Bindeglied zwischen dem Verständnis molekularer Vorgänge in biologischen Systemen, der Entwicklung von Verfahren und analytischen Methoden sowie der Planung, dem Bau und dem Betrieb moderner Produktionsanlagen [21–29].

Was bedeutet die Zukunftsvision einer Pharmaindustrie 4.0 für die Chemieingenieurausbildung? Aus Sicht der Autoren sind für die Gestaltung einer an den Anforderungen der chemisch-pharmazeutischen Prozessindustrie orientierten Ingenieurausbildung drei Schlüsselemente wichtig:

- 1) Einschlägige Bachelorstudiengänge sollen in erster Linie ein äußerst solides naturwissenschaftliches Fundament in den Fächern Mathematik, Physik, Chemie und Biologie legen und die erforderlichen labor- und verfahrenstechnischen Fähigkeiten ausbilden.
- 2) Darauf aufbauend sollen Masterstudiengänge Interdisziplinarität in den relevanten Fach-, Methoden-, Sozial- und Führungskompetenzen vermitteln. Hierzu gehören neben der fachlichen Ausrichtung innerhalb der pharmazeutischen Biotechnologie insbesondere auch Prozessdesign, Prozessoptimierung, Prozessautomatisierung und Prozessvalidierung sowie Projektmanagement als wichtige Führungskonzeption zur Bewältigung der vielfältigen technisch-organisatorischen Herausforderungen.
- 3) Ingenieurin oder Ingenieur wird man durch die Praxis, und für die Berufstätigkeit in der Pharmaindustrie ist das Gelingen, nicht das Probieren, entscheidend. Demzufolge sollte die Ingenieurausbildung nach dem Bachelorstudium aus den drei Bausteinen (berufsbegleitendes) M.Sc.-Studium, Projektpraxis in der Industrie sowie einschlägigen Ingenieurweiterbildungen bestehen.

Die Kombination der Fach-, Methoden- und Führungskompetenzen dieses Modells hat das Beratungs- und Ingenieurunternehmen Process[-ING], in enger Verzahnung mit den akkreditierten berufsbegleitenden Masterstudiengängen Wirtschaftschemie und Pharmazeutische Biotechnologie der Hochschule Fresenius in Form von sogenannten Master-Class-Modulen implementiert [30]. Auf diesen Punkt wird weiter unten noch näher eingegangen.

3 Die Hochschullehre reagiert zu bürokratisch auf diesen Wandel

Wie gut ist die Hochschullehre heute für diesen Wandel gerüstet? Mit den durch die Bologna-Sorbonne-Erklärung von 1999 [31,32] eingeleiteten Reformen des europäischen Hochschulraums [33] und den nationalen Umsetzungen dieser Papiere sind Perspektiv- und Strukturwechsel verbunden. Geänderte Perspektive: Die Lernenden und die Lernzielbeschreibung und -erreichung sollen im Mittelpunkt stehen. Lernziele sind transparent zu beschreiben in Modulhandbüchern und durch Leistungspunkte (ECTS), die im „Diploma Supplement“ nachvollziehbar zu dokumentieren sind. Neue Strukturen: Auf einen ersten Abschluss nach 3–4 Jahren soll ein Master-Abschluss von dann 2–1 Jahren folgen. So sollen die die Anrechnung erworbener Qualifikationen und damit die Mobilität der Studierenden erleichtert und die Lernbiographie der Studierenden auch für den Arbeitsmarkt „lesbar“ werden. Das sind zweifellos Fortschritte im Vergleich zu wenig oder gar nicht geregelten, nicht transparenten, schwer überprüfbar und kaum vergleichbaren Studiengängen, in denen die (weiterhin wichtige) Freiheit der Lehre Vorrang hatte. Mit der Umsetzung der Bologna-Reform in Deutschland wurde dann der Abschluss „Diplom-Ingenieur/in“ an den Fachhochschulen in Bachelor- und Masterstudiengänge überführt [34].

Trotz unbestrittener Vorzüge steht das System in der Kritik, wie auch unsere Erfahrungen aus Gesprächen zwischen Hochschule und Vertretern der Praxis zeigen. Es gilt u. a. als zu verschult, zu wenig vernetztes Denken vermittelnd, zu sehr auf Auswendiglernen ausgelegt. Aber genau das sollte durch das neue System vermieden werden. Getreu allen Regeln moderner Kunst des Qualitätsmanagements werden nun alle Studiengänge in Deutschland einer strengen Qualitätskontrolle unterzogen, genannt Akkreditierung. Die setzt voraus, dass in Modulhandbüchern detailliert alle Kompetenzen festgehalten sind, die Studierende im Rahmen einer Lehrveranstaltung erwerben. Den Modulbeschreibungen kann man entnehmen, welche Kenntnisse und Fertigkeiten Absolventinnen und Absolventen am Ende des Studiums tatsächlich haben sollten. In Prüfungsordnungen sind darüber hinaus die Prozesse festgehalten, in denen diese Kompetenzen abgeprüft werden. Sind Studiengänge auf diese Weise transparent beschrieben, prüfen unabhängige Institutionen und externe Gutachterpersonen diese

Aspekte noch einmal detailliert nach. Zahlreiche Instrumente des modernen Qualitätsmanagements wie Evaluation der Lehre, Abweichungskontrollen, studentisches Feedback oder Lehrgespräche stellen dann die konkrete Umsetzung in der hochschulischen Praxis sicher.

Wurde und wird die „Operationalisierung“ von Bildung damit im berechtigten Streben nach Transparenz und Kompatibilität zu weit getrieben? Was ist mit solchen Elementen wie dem bereits beschriebenen Wissen und Können, die sich einer Operationalisierung entziehen? Wir stellen mit einer Vielzahl von QM-Werkzeugen sicher, dass wir auch ja nichts falsch machen. Aber machen wir damit auch alles richtig?

Unsere praktische Erfahrung sagt uns: nein. Und auch Experten aus der Praxis sind skeptisch. Der Fokus auf den Begriff „Kompetenzen“ hat u. a. dazu geführt, dass wir Meta-Kompetenzen wie Recherchieren, Präsentieren und Diskutieren häufig viel stärker in den Vordergrund stellen als den eigentlichen Gegenstand der Recherche, Präsentation oder Diskussion. Die Vermittlung von solidem Grundwissen hingegen scheint zu oft nicht mehr im Fokus zu stehen. Vielmehr scheinen Begriffe wie „Halbwertszeit des Wissens“ [35] zu implizieren, dass Wissen ohnehin verfügbar und es daher nicht sinnvoll ist, sich mit dessen Aneignung oder Pflege zu beschäftigen. Es scheint doch schließlich zu reichen, wenn man „weiß, wo es steht“. Aber muss ich zur sicheren Beherrschung eines Arbeitsgebiets nicht erst einmal selbst dort gewesen sein, wo „es“ steht? Muss ich das Wissen nicht zumindest ein einziges Mal selbst mit meinem Gehirn durchdacht, in Besitz genommen, und das Können mit Hirn und Händen erprobt haben?

Einig sind sich wieder alle darin, dass das Wissen nicht Selbstzweck ist, sondern auch und vor allem seine Anwendung auf konkrete Problemlösungen erlernt und geübt werden muss. Das ist ja der Kern des Bildungsauftrags der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften. Aber können wir tatsächlich auf die Anwendung selbst fokussieren, ohne vorher ein Fundament des Wissens und Könnens zu haben? Müssen wir nicht auf der Basis gründlich verstandenen, an praktischen und theoretischen Übungen gesicherten Fachwissens schrittweise und hartnäckig immer wieder die wesentlichen Aspekte wissenschaftlich-praktischen Arbeitens durchdeklinieren und so den Weg für zukünftige Neuentwicklungen und Problemlösungen ebnen? Müssen wir nicht vor allem die Bedingungen, unter denen Experimente gelingen oder misslingen und damit Fehlerquellen bei der Gewinnung und Deutung von Daten als festen Bestandteil fachlicher Bildung und Kompetenzen behandeln? Wie sonst können wir den für die Ingenieurwissenschaften zentralen Begriff des „Geltungsbereichs“ (einer Gleichung, einer Theorie, etc.) praxisnah vermitteln?

Geschieht all das nicht, verkommt die Anwendung des dann nicht vorhandenen Wissens und Könnens zu einer inhaltsleeren Blase, deren Ergebnisse durch ein noch so elaboriertes Qualitätsmanagement im schlimmsten Fall als

konform mit den vordefinierten Anforderungen eingestuft, wissenschaftlicher und praktischer Überprüfung aber nicht standhalten werden.

Was heißt das für den „spirit“, aus dem heraus ein Studium der angewandten Wissenschaften leben muss? Um dieser Frage nachzuspüren, begeben wir uns zunächst zurück ins 19. Jahrhundert, nicht um nach dem zu suchen, was gestern war, sondern nach dem, was immer gilt.

4 Aus der Tradition lernen: Was in den Ingenieurwissenschaften immer gilt

173 Jahre alt ist die von dem Chemiker Carl Remigius Fresenius [36], einem Liebigsschüler, begründete Bildungstradition der Hochschule Fresenius. Und auch wenn Tradition dem einen oder der anderen als altbackener Begriff daherkommen mag, so halten es die Autoren lieber mit dem beliebten Bonmot: „Tradition ist eine Laterne: Der Dumme hält sich an ihr fest, dem Klugen leuchtet sie auf dem Weg.“

Wohin führt der Weg uns heute und morgen? Anders gesagt: Wo leuchten wir hin mit der Laterne Tradition? Da folgen wir Antoine de Rivarol (1753–1801) der sagt, konservativ sein heiße „nicht hängen an dem was gestern war, sondern leben aus dem was immer gilt“ [37].

Was gilt immer? Das, was sich bis heute durchgängig und nachweislich bewährt hat und nach bestem, wohl begründetem Überlegen weiter gelten wird! 1842 schreibt Fresenius dazu: „Mit dem Wissen muss das Können sich vereinigen... Mit den gründlichsten Kenntnissen ausgerüstet, ist man nicht im Stande zu bestimmen, wie viel Kochsalz in einer Lösung ist, wenn man nicht eine Flüssigkeit aus einem Gefäß in ein anderes gießen kann, ohne dass etwas wegspritzt oder ein Tropfen am Rande des Gefäßes hinabläuft u.s.w. – Die Hand muss sich die Fähigkeit erwerben, die bei quantitativen Analysen vorkommenden Operationen mit Umsicht und Geschick auszuführen, eine Fähigkeit, welche einzig und allein durch praktische Übung erworben werden kann.“ [38]. Also: Ohne praktische, wie beim Sport und in der Musik sicher eingeübte Fertigkeiten keine guten Produkte. Das MIT nennt diese Erkenntnis in seinem Motto „mens et manus“ [39].

Damit das Tun auch gelingt, verlangt Fresenius „1) Ordnung, Reinlichkeit und Geschick...; 2) scharfe Beobachtung, genaue Erwägung der Umstände bei jeder Reaktion, richtige Berechnung der Folgen jedes Processes; 3) die Fähigkeit, sachgemäße und für den einzelnen Fall passende Methoden selbstständig zu entwerfen; und endlich 4) die Gewöhnung bei Erscheinungen, welche früheren Erscheinungen widersprechen, den Fehler stets zuerst an sich, d. h. an dem Mangel einer zum Eintreten der Erscheinung notwendigen Bedingung zu suchen.“ [40]. Also: Ohne sorgfältige, theoretisch durchdrungene und methodisch durchdachte Experimente und ohne stete Bereitschaft zu (selbst)kritischem Hinterfragen der Ergebnisse kein nachhaltiger Erfolg. Eine gute Schule dafür ist und bleibt die

auch durch moderne instrumentelle Verfahren nicht überflüssig gewordene Nasschemie [41]. 2007 sagte Dr. Heide Brito (†), damals Leiterin der Analytik bei Chemetall, sie bevorzuge Graduierte des Typs, wie die Hochschule Fresenius sie ausbildet, wegen ihrer Kenntnisse in klassischer Nasschemie und ihrer Fähigkeit zur (Selbst-)Kritik, ihrer Bereitschaft, Ergebnisse (auch die eigenen) zu hinterfragen und auf mögliche Schwachstellen und Fehlerquellen zu überprüfen.

Dieses selbstkritische Denken ist auch in der Pharmaindustrie vor dem Hintergrund des zuvor genannten Quality by Design und der Prozessvalidierung von großer Wichtigkeit. Die in der Pharmaindustrie gefürchteten „Warning Letters“ und „Import Alerts“ der FDA mahnen in der Inspektionspraxis nicht selten ab, dass die Analytik so lange wiederholt wird, bis die Ergebnisse passen und Abweichungen nicht systematisch und reproduzierbar untersucht werden. Erfolgt auf die behördliche Abmahnung von dem Unternehmen binnen 15 Tagen keine selbstkritische und fundierte Stellungnahme, so darf an dem inspezierten Produktionsstandort kein Produkt mehr für den US-amerikanischen Markt produziert werden [42].

Und genau dieses selbstkritische Hinterfragen ist ein durchgängig inhärentes Prinzip der praktischen Ausbildung und der Unterrichtsgespräche, der gemeinsamen Arbeit mit Studierenden vom Anfängerlabor bis zur Diskussion von Abschluss- und Forschungsarbeiten [43]. Dabei kommt es nach unserer Erfahrung auch darauf an, Bilder im Kopf der Studierenden zu erzeugen, die in ihnen jenseits schematischer Logik anschaulich machen, was molekular geschieht, wenn wir die Natur (so würde Carl Remigius Fresenius es nennen) in ihrer Sprache, der Sprache der Experimente befragen. Sie müssen, so sagen wir ihnen, „Moleküle tanzen sehen, wo andere nichts sehen“ – ein Kopfkino, das auch durch die beste Visualisierung zwar gefördert, aber nicht ersetzt werden kann und darf. Für die moderne Pharmaindustrie 4.0 mit dem bereits geschilderten erforderlichen tiefen Verständnis biologischer Makromoleküle ist diese Fähigkeit unabdingbar.

5 Fundament legen, Interdisziplinarität trainieren, Praxis leben

Was wir unserer Ansicht nach also statt bürokratischer und rein papierbasierter Fokussierung auf Kompetenzen wirklich brauchen, sind die genannten drei Säulen praxisorientierter Bildung:

- 1) Ein solides Fundament an Wissen und Können in Mathematik und Naturwissenschaften
- 2) Interdisziplinäre Vernetzung mit angrenzenden Feldern und Anwendung des erworbenen Fundaments
- 3) Praxiserfahrung in einem realen Unternehmen mit tatsächlichen Industrieprojekten, um den Nutzen des angewandten Wissens und Könnens zum Gelingen zu bringen

Schauen wir uns diese drei Elemente an. Für alle, die naturwissenschaftlich und ingenieurtechnisch arbeiten, ist es sicherlich unbestritten, dass eine profunde Basis an einschlägigem Fachwissen und handwerklichem Können für die spätere Berufspraxis unabdingbar ist, wie es C. R. Fresenius in seinem Zitat beschreibt. Bei aller Dynamik und Veränderung, mit der wir konfrontiert sind, gibt es doch Wissen, das immer gelten wird und welches wir zum Glück nicht mehr jeden Tag aufs Neue erwerben oder im Internet recherchieren – müssen. Beispielhaft genannt seien nur der Erste Hauptsatz der Thermodynamik, die Zustandsgleichung idealer Gase oder das Periodensystem der Elemente mit all ihren chemischen Eigenschaften. Dieses Fundament an Wissen erspart uns Diskussionen über Fakten. Zum Beispiel die Frage, wie (nicht ob!) ein perpetuum mobile erster Art gebaut werden kann. Oder die Frage, wie (nicht ob!) 100 g Argongas bei 25 °C und 1013 mbar in einem isochoren Stahlbehälter mit einem Volumen von 1 Liter untergebracht werden können. Oder die Frage, wie wir es schaffen können, Kohlendioxid zu verbrennen, um daraus Energie zu gewinnen. Das soll nun aber nicht heißen, dass wir zu engstirnigem Dogmatismus aufrufen. Wir wären die ersten, die mit Freuden vernehmen würden, dass im Sinne des Popperschen Falsifikationsprinzips die Energieerhaltung oder die limitierenden Einschränkungen von Zustandsgleichungen oder thermochemischen Eigenschaften der Materie durch ein geeignetes Experiment widerlegt würden. Solange dies aber nicht der Fall ist, halten wir einsteilen, ebenfalls im Sinne des Popperschen Falsifikationsprinzips, an diesen bewährten Theorien erst einmal fest. Sie mögen vielleicht nicht unter allen Bedingungen gelten – aber sie sind das Beste, was wir derzeit haben. Sich gegenwärtigen, wo das Wissen herkommt, ist eben auch Teil des Wissens. Diesem Aspekt muss moderne Hochschullehre Rechnung tragen. Und dies kann und sollte unserer Ansicht nach am besten in einem Bachelorstudium geschehen, wo das Fundament gelegt wird, das später zur Anwendung kommt.

Auf dem Fundament der im Bachelorstudium erworbenen Disziplinarität sollte im nächsten Studienabschnitt der Schritt in die Interdisziplinarität folgen. Studierende im Masterstudium sollten sich neben der Vertiefung ihrer eigentlichen Fachkenntnisse nun zunehmend mit Fach-, Methoden-, Sozial- und Führungskompetenzen auseinandersetzen. Dabei können und sollten sie bewusst die Grenzen ihrer eigenen Disziplin überschreiten und den Blick über den Tellerrand werfen. Durch die interdisziplinäre Arbeit in Teams mit Mitgliedern unterschiedlicher Disziplinen erlernen die Studierenden u. a. Kreativität (indem sie Lösungen für bislang noch nicht dagewesene Probleme erarbeiten) und Kommunikationskompetenzen (indem sie diese Lösungen mit anderen Denkdisziplinen diskutieren und überzeugend vertreten müssen). Wenn eine berufsbegleitende Version eines solchen Studiums angeboten wird, bietet das interessierten Studierenden die Möglichkeit, all diese Erfahrungen nicht alleine im akademischen Umfeld

einer Hochschule, sondern auch und vor allem direkt in der industriellen Praxis zu machen.

Als drittes Element praxisnaher Bildung ist unserer Ansicht und Erfahrung nach die unmittelbare Praxiserfahrung in einem Unternehmen zentral und wichtig. Hier müssen die Studierenden den Schritt aus den akademischen Hallen heraus machen und in einem praxisnahen Umfeld unter Beweis stellen, dass und wie ihr Denken und Tun zur fachlichen und ökonomischen Wertschöpfung beiträgt. Die wesentlichen Elemente von Bildung für die Studierenden sind hier Bescheidenheit (indem sie erkennen, dass manche ihrer Lösungen in der Praxis nicht so gut funktionieren, wie sie auf dem Papier zunächst ausgesehen haben) und Kritikfähigkeit (indem sie sich mit dem Scheitern ihrer Ideen in der Praxis bewusst und intensiv auseinandersetzen müssen). Zu all dem gehört aber auch das Erlebnis von Erfolg, wenn am Ende tatsächlich das Gelingen steht.

Das alles ist nichts grundlegend Neues, da es seit den 1970er Jahren an den Fachhochschulen gelebt wird. Dennoch erscheint es uns wichtig, im Rahmen dieses Beitrags noch einmal darauf zu verweisen. Aber, und hier hinterfragen wir uns selbst kritisch, werden wir diesem Anspruch denn tatsächlich gerecht? Von verantwortlichen Managern der Prozessindustrie bekommen wir die Aussage: „Ich möchte nicht wissen, was Ihre Studierenden wissen – sondern was sie können!“ (so Dr. Norbert Meyer, ehemals Personalverantwortlicher bei der BASF, in einem Gespräch in den 1990er Jahren). Was haben wir als Hochschulen für Angewandte Wissenschaften hier zu entgegnen?

6 Ein konkretes Beispiel aus der Pharmaindustrie 4.0: die M.Sc. Executive Initiative

Die oben beschriebene Tradition und die daraus resultierenden Aufgaben einer Hochschule für Angewandte Wissenschaften vor Augen, haben sich die Autoren im Mai 2013 im Traditionszimmer der Hochschule Fresenius in Idstein getroffen und die M.Sc. Executive Initiative ins Leben gerufen.

Diese Kooperation zwischen Hochschule und Beratungsunternehmen bringt berufsbegleitend über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren talentierte Bachelorabsolventinnen und -absolventen und industrieerfahrene Ingenieurinnen und Ingenieure unterschiedlicher Disziplinen in realen Industrieprojekten zusammen. Flankiert wird die auf diese Weise gelebte Berufspraxis im beratenden Ingenieurwesen von berufsbegleitenden Masterstudiengängen und Ingenieurweiterbildungen (in einer betriebsinternen „Engineering Consulting School“) in Form sogenannter Master-Class-Module. Auf diese Weise wird Wissen in der projektorientierten Zusammenarbeit erworben, erfasst, dokumentiert und damit in explizites Wissen transferiert.

An der M.Sc. Executive Initiative, bestehend aus (1) einem berufsbegleitenden Masterstudium der Wirtschaftschemie oder Pharmazeutischen Biotechnologie, (2) relevanten In-

dustrieprojekten sowie (3) Ingenieurweiterbildungskursen haben im Zeitraum 2013–2020 bereits über 40 Chemiker:innen und Ingenieur:innen teilgenommen [44, 45].

Wer in diese Initiative einsteigt, für den oder die geht von ihrer – im wahrsten Sinne des Wortes – Dreifachbelastung eine große Motivation aus. Die Faszination, eine Biotech-Anlage oder Sterilfabrik vom ersten Entwurf bis zur Validierung zu begleiten und zu erleben, dass dort nach kurzer Zeit lebenswichtige Medikamente produziert werden, ist eine lohnende Erfahrung. Seit der Gründung der Initiative beträgt das Investitionsvolumen der Projekte, die in ganz Deutschland, Österreich und der Schweiz angesiedelt sind, weit mehr als eine Milliarde Euro. Die Projekte behandeln ein breites Produktsortiment von Biopharmazeutika, Gelbfieber- und Hepatitis B- bis hin zu mRNA- und Vektorimpfstoffen gegen das Coronavirus SARS-CoV-2. Der Gegenstand der Industrieprojekte umfasst die gesamte technische Bandbreite von der Wirkstoffproduktion über die Pharma-Fertigung kleinvolumiger gefriergetrockneter Injektionspräparate bis hin zur Pharmalogistik.

Vor dem Hintergrund des eingangs beschriebenen Wandels in der Pharmaindustrie ist für unseren Beitrag die Beobachtung interessant, dass der überwiegende Teil der Prozesse und Anlagen für Multi-Purpose-Zwecke designt, gebaut und qualifiziert wurde. Auch der Anteil personalisierter und sogar patientenindividueller Arzneistoffe hat in den Jahren des Bestehens der Initiative stetig zugenommen. Die Anwendung interdisziplinärer Projektdurchführungsmodelle für ein komprimiertes Planen, Bauen und Validieren im GMP-Umfeld wird immer gefragter [46–48]. Durch die GMP-konforme Integration aller notwendigen Fach-, Leistungs- und Leitungsfunktionen in den Projekten kann die Realisierungszeit für den Aufbau von Produktionskapazitäten nahezu halbiert werden [49].

Die Industrieprojekte bilden auch die Basis für inzwischen rund 60 wissenschaftliche Arbeiten mit direktem Praxisbezug auf die Arbeitswelten der Zukunft in einer „Smart & high hygienic factory of the future“. Der Schwerpunkt der Studien- und Abschlussarbeiten liegt insbesondere auf der Entwicklung von Verfahren und Methoden zur Optimierung der Rüst- und Zykluszeiten z. B. bei der Auswahl der Expressionsplattformen und des Gentransfers, im Prozessdesign, bei der Verbesserung von Wasch-, Sterilisations- und Depyrogenisationsprozessen oder bei der Oberflächen-dekontamination.

Die Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Beratungsfirma soll nach dem Willen der Beteiligten weiter ausgebaut werden. So soll auf dem Gelände der Hochschule in Idstein ein Projektcampus entstehen, zu dem u. a. die Raumtechnologie für die Entwicklung und Kleinserienfertigung von Biopharmazeutika gehört.

7 Schluss mit Kompetenzen!?

Machen wir Schluss mit Kompetenzen! Und zwar im wahrsten und besten Sinne des Wortes. Denn zum Abschluss des Beitrags möchten wir den Begriff noch einmal unter die Lupe nehmen. Das Wort „Kompetenz“ geht auf lat. *competere* zurück. Der Wortteil *com-* steht für zusammen, gemeinsam. Das Wort *petere* bedeutet „etwas zu erreichen versuchen“. Das „zu erreichen versuchen“ kennen wir aus dem Wort *studere* (lat., sich bemühen), das auch in *Studieren* steckt. Wichtig ist uns aber das „etwas“, das ebenfalls in *petere* steckt. Denn ohne dieses „etwas“, ohne den konkreten Gegenstand der Betrachtung oder des Bestrebens, kann offenbar nicht kompetent gedacht und gemacht werden. Damit kommen unserer Ansicht nach auch das Fachwissen und das Beherrschen der Fachpraxis der jeweiligen Disziplin ins Spiel, an welchen sich Kompetenzen erst ausbilden können. Wir müssen daher alle gemeinsam dafür Sorge tragen, dass der Begriff „Kompetenz“ nicht losgelöst von konkretem, zugegeben mühsam zu erwerbendem Wissen und Können gedacht oder gelebt wird.

Wenn die Bologna-Erklärung die Erwartung ausspricht, dass die „first cycle“-Abschlüsse „relevant to the European labour market“ sein müssen, kann damit also nicht nur aktuelle Verwertbarkeit gemeint sein [50]. Ulrich Bartosch schreibt dazu treffend: „Kompetenzen seien dabei Befähigungen genannt, zu einem späteren konkreten, jetzt aber unbekanntem Zeitpunkt, unter dann konkreten, jetzt aber nur allgemein beschreibbaren Bedingungen, eine dann konkrete, jetzt weitgehend unbekannte Aufgabenstellung durch planvolles, zielgerichtetes Denken und Handeln erfolgreich zu meistern.“ [51].

Um die Herausforderungen der Pharmaindustrie 4.0 zu meistern, brauchen wir begeisterte und motivierte junge Menschen, die sowohl einen naturwissenschaftlichen Blick auf die molekulare Ebene der Biopharmazutika werfen können als auch die Freude am ingenieurwissenschaftlichen Gelingen haben, um im Rahmen des durch die molekularen Eigenschaften vorgegebenen Designspielraums gestaltend tätig zu werden.

Um das zu erreichen, müssen wir junge Leute zu Beginn ihres Studiums dort abholen, wo sie stehen – und sie am Ende ihres Studiums dorthin gebracht haben, wo sie in einem industriellen Arbeitsumfeld bestehen können – Produkte und Dienstleistungen erarbeitend, Probleme lösend, Qualität sichernd.

Literatur

- [1] J. Lücke, M. Bädeker, M. Hildinger, *Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2020*, The Boston Consulting Group, vfa, München 2020. www.vfa-bio.de/vb-de/vb-presse/vb-publikationen (Zugriff am 11. April 2021)
- [2] *Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2007*, The Boston Consulting Group, München 2007. www.vfa-bio.de/vb-de/vb-presse/vb-publikationen (Zugriff am 11. April 2021)

- [3] M. R. Reddy, A. L. Parrill, in *Rational Drug Design* (Eds: M. R. Reddy, A. L. Parrill), ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington DC, 1999. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/bk-1999-0719.ch001> (Zugriff am 25. April 2021)
- [4] <http://analytics.dkv.global/deep-pharma/AI-for-Drug-Discovery-2020.pdf> (Zugriff am 11. April 2021)
- [5] www.fitchsolutions.com/corporates/healthcare-pharma/ai-become-central-drug-discovery-01-02-2021 (Zugriff am 11. April 2021)
- [6] www.aerztezeitung.de/Wirtschaft/Neues-BioNTech-Werk-Produktion-ist-wundervoll-angelaufen-418425.html (Zugriff am 25. April 2021)
- [7] www.fda.gov/media/77391/download (Zugriff am 11. April 2021)
- [8] A. S. Rathore, H. Winkle, *Nat. Biotechnol.* **2009**, *27*, 26–34.
- [9] www.process-ing.de/engineering-consulting-school/msc-executive-initiative (Zugriff am 11. April 2021)
- [10] T. Roos, *Biol. Unserer Zeit* **2015**, *45*, 28–35.
- [11] T. Sauer, C. M. Rooney, *Transfusion* **2019**, *59*, 1171–1173.
- [12] S. Ali, R. Kjekken, C. Niederlaender, G. Markey, T. S. Saunders, M. Opsata, K. Moltu, B. Bremnes, E. Grønevik, M. Mousse, G. D. Håkønsen, V. Skibeli, M. E. Kalland, I. Wang, I. Buajordet, A. Urbaniak, J. Johnston, K. Rantell, E. Kerwash, M. Schuessler-Lenz, T. Salmonson, J. Bergh, C. Gisselbrecht, K. Tzoganis, I. Papadoulis, F. Pignatti, *Oncologist* **2020**, *25*, e321–e327.
- [13] L. Hood, R. Balling, C. Auffray, *Biotechnol. J.* **2012**, *7*, 992–1001.
- [14] R. Bucher, R. Diodone, F. Evers, H. Koch, O. Kayser, A. Greinaucher, P. Haseley, S. Lieb, in *Pharmazeutische Produkte und Verfahren* (Eds: G. Kutz, A. Wolff), Wiley-VCH, Weinheim **2007**.
- [15] B. Davis, W. S. Schlindwein, in *Pharmaceutical Quality by Design* (Eds: W. S. Schlindwein, M. Gibson), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ **2018**.
- [16] B. S. Davis, in *Risk Management Applications in Pharmaceutical and Biopharmaceutical Manufacturing* (Eds: A. H. Mollah, M. Long, H. S. Baseman), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ **2013**.
- [17] C.-F. Mandenius, K. Graumann, T. W. Schultz, A. Premstaller, I.-M. Olsson, E. Petiot, C. Clemens, M. Welin, *Biotechnol. J.* **2009**, *4*, 600–609.
- [18] A. D. Little, Vorwort zu W. L. Badger, W. L. McCabe, *Elements of Chemical Engineering*, McGraw-Hill, New York, **1931**; zitiert in M. M. Denn, *The Identity of our profession*, MIT Centennial of Chemical Engineering Education Symposium, **1988**. <https://escholarship.org/content/qt5979w389/qt5979w389.pdf?t=p0viet&nosplash=b9506181dce4d6db0e3db c719e1ecd9> (Zugriff am 11. April 2021).
- [19] A. Akermann, M. Bold, A. Mehring, R. Ulber, L. van Waveren, J. Weiermüller, *Chem. Ing. Tech.* **2018**, *90*, 1658–1675.
- [20] A. D. Little, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **1931**, *50*, 192–199.
- [21] N. Kockmann, J. Kussi, G. Schembecker, *Chem. Ing. Tech.* **2012**, *84*, 563–563.
- [22] W. Rähse, *Chem. Ing. Tech.* **2012**, *84*, 588–596.
- [23] N. Kockmann, *ChemBioEng Rev.* **2016**, *3*, 5–15.
- [24] C. Bramsiepe, N. Krasberg, C. Fleischer, L. Hohmann, N. Kockmann, G. Schembecker, *Chem. Ing. Tech.* **2014**, *86*, 966–981.
- [25] A. Bamberg, L. Urbas, S. Bröcker, M. Bortz, N. Kockmann, *Chem. Eng. Technol.* **2021**, *44* (6), 954–961.
- [26] C. Fleischer-Trebes, N. Krasberg, C. Bramsiepe, N. Kockmann, *Chem. Ing. Tech.* **2017**, *89*, 785–799.
- [27] A. Klose, S. Merkelbach, A. Menschner, S. Hensel, S. Heinze, L. Bittorf, N. Kockmann, C. Schäfer, S. Szmaj, M. Eckert, T. Rude, T. Scherwies, P. da Silva Santos, F. Stenger, T. Holm, W. Welscher, N. Krink, T. Schenk, A. Stutz, M. Maurmaier, K. Stark, M. Hoernicke, S. Unland, S. Erben, F. Kessler, F. Apitz, L. Urbas, *Chem. Eng. Technol.* **2019**, *42*, 2282–2291.
- [28] M.-D. Weitz, *Chem. Unserer Zeit* **2011**, *45*, 316–323.

- [29] A. Skerra, K. Schürle, *Nachr. Chem.* **2004**, 52, 682–687.
- [30] www.process-ing.de/engineering-consulting-school/master-class-modules-msc-degrees (Zugriff am 25. April 2021).
- [31] www.bmbf.de/pubRD/bologna_deu.pdf (Zugriff am 07. April 2021)
- [32] <https://epub.wu.ac.at/1382/1/document.pdf> (Zugriff am 07. April 2021)
- [33] <https://epub.wu.ac.at/1382/1/document.pdf> (Zugriff am 07. April 2021)
- [34] Leider wurden dabei bewährte Elemente von Fachhochschulstudiengängen wie Praxissemester sowie praktische Abschlussarbeiten in einem ausreichend großen Zeitrahmen in der Regelstudienzeit durch Begrenzung auf 6-semestrige Bachelorprogramme in der konkreten Umsetzung gefährdet oder ganz aufgegeben. Die Hochschule Fresenius hat sie in den praktisch orientierten (8-semestrigen) Bachelor-Studiengängen im Fachbereich Chemie & Biologie jedoch bewahrt; viele weitere Hochschulen für Angewandte Wissenschaften konnten wenigstens 7 Semester und damit ebenfalls ein Praxissemester mit ECTS-Punkten als Teil des Regelstudiums erhalten.
- [35] Eine kritische Sicht auf diesen Begriff liefern Robert Helmrich und Ingrid Leppelmeier in: <https://documentcloud.adobe.com/link/track?uri=urn:aaid:scds:US:2ff47d31-a56b-4dc2-9b3d-d1e4b8a8d51d> (Zugriff am 07. April 2021)
- [36] L. Gros, *Mit fünf Studenten fing er an. Carl Remigius Fresenius – Vater der analytischen Chemie. Katalog zur Ausstellung C. R. Fresenius*, Museum Wiesbaden/Hochschule Fresenius, **2018**.
- [37] www.aphorismen.de/suche?text=hängen+gestern+war&autor_quelle=Rivarol (Zugriff am 29. April 2021)
- [38] C. R. Fresenius, *Anleitung zur Quantitativen Chemischen Analyse*, 1. Bd., 6. Auflage, Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, **1875**, 4.
- [39] <https://mitadmissions.org/discover/about-mit/a-brief-history-of-mit/> (Zugriff am 07. April 2021)
- [40] C. R. Fresenius, Über das Thun und Treiben im chemischen Laboratorium zu Giessen, mit besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse des letzten Jahres, in *Amtlicher Bericht der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* **1842 (1843)**, 92–110. Der Text wurde unter Korrektur von Lesefehlern der online-Quelle http://archive.org/stream/amtlicherbericht20gese/amtlicherbericht20gese_djvu.txt entnommen. (Zugriff am 07. April 2021)
- [41] L. Gros, Why Do I Teach Wet Chemistry? Problem Solving Skills Learnt With and Practical Applications of Classical Analytical Chemistry, in *Engineering Education – The Priority for Global Development. Proceedings of the 34th International Engineering Education Symposium IGIP*, Tallinn **2006**, 389–397.
- [42] T. Winchell, *Qual. Assur. J.* **2011**, 14, 76–79.
- [43] T. Daubefeld, L. Gros, *Bildung als Schlüsselressource*, in *Arbeitsleben 3.0 – Erfolg in einer veränderten Welt, Wiesbadener Gespräche zur Sozialpolitik* (Eds: J. Funk, N. Hummel, A. Schack), Heidelberg **2013**, 86–108.
- [44] www.chemanager-online.com/themen/personal/wirtschaftschemiker-fuer-die-pharmaindustrie-40 (Zugriff am 25. April 2021)
- [45] www.hs-fresenius.de/blog/wissen/pharmaindustrie-4-0-interview-thorsten-daubefeld-bernd-geis/ (Zugriff am 25. April 2021)
- [46] www.process-ing.de/biochemical-process-engineering/integrated-engineering-procurement (Zugriff am 25. April 2021)
- [47] C. Bramsiepe, G. Schembecker, *Chem. Ing. Tech.* **2012**, 84, 581–587.
- [48] P. Meier, *Chem. Ing. Tech.* **2012**, 84, 727–729.
- [49] www.process-ing.de/fileadmin/processing/downloads/590TB2REF_ING_2014a.pdf (Zugriff am 25. April 2021)
- [50] U. Bartosch, K.-P. Kratzer, L. Gros, M. Hampe, B. Dernbach, G. Obieglo, R. Averkorn, A. Mack, M. Fröhlich, M. Maikämper, *Zehn Bologna-Experten mahnen zur Kurskorrektur*, DUZ-Magazin, Berlin **2013**. www.duz.de/beitrag/!id/212/zehn-bologna-experten-mahnen-zur-kurskorrektur (Zugriff am 25.04.2021)
- [51] U. Bartosch, Fachliche Qualifikationsrahmen. Beispielhafte Funktions- und Nutzungsmöglichkeiten, *Handbuch Qualität in Studium und Lehre*: (Eds: W. Benz, J. Kohler, K. Landfried), DUZ Verlags- und Medienhaus GmbH, Berlin **2010**, E10.2, 1–44.

DOI: 10.1002/cite.20210047

Schluss mit Kompetenzen! Praxisnahe Bildung für die Pharmaindustrie 4.0

Thorsten Daubenfeld*, Bernd Geis, Leo Gros

Essay: Die Autoren stellen Beispiele für die konkrete Umsetzbarkeit der Verflechtung von Wissensvermittlung und anwendungsorientierter Lehre zur Qualifizierung des Ingenieur-nachwuchses für die Pharmaindustrie 4.0 am Beispiel einer Hochschule für Angewandte Wissenschaften und deren Kooperationspartner vor. ■

