

Entwicklungen und Errungenschaften der Ingenieurdidaktik

Tobias Haertel

Zusammenfassung: *Veränderungen in der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre hat es über lange Zeit fast nur auf fachlicher Ebene gegeben. Fachliche Lerninhalte wurden aktualisiert oder ergänzt, während überfachliche Lerninhalte oder neue Lehrmethoden ganz überwiegend keinen Einzug in die Lehre fanden. Dazu trug sicher auch der Erfolg der Lehre mit der weltweit ausgezeichneten Reputation deutscher Ingenieurwissenschaften bei. In der Kombination der Auswirkungen aus dem Bologna-Prozess und der Auflage mehrerer ingenieurdidaktischer Forschungs- und Lehrprojekte (insbesondere im Qualitätspakt Lehre) hat sich dies zuletzt stark verändert. Durch die Fokussierung auf Kompetenzmodelle, die vor allem aus Berufstätigkeiten in der Wirtschaft abgeleitet wurden, blieben wissenschaftsdidaktische Reflexionen dabei jedoch unterrepräsentiert.*

Schlagworte: *Ingenieurdidaktik, Wissenschaftsdidaktik, Labordidaktik, Qualitätspakt Lehre*

1 Einleitung

Die Wissenschaftsaneignung als Teil des Universitätsstudiums (Trempp, 2022) stand in den Ingenieurwissenschaften seit jeher vor fachspezifischen Herausforderungen. Ingenieurwissenschaftliche Studiengänge sind an vielen Hochschulen geprägt durch hohe Studierendenzahlen. An den Grundlagenveranstaltungen können mehrere Hundert Studierende teilnehmen, was grundsätzlich bestimmte Lehrformate ausschließt und andere bevorzugt. Etabliert haben sich Vorlesungen mit ergänzenden Übungen, standardisierte (bis hin zu automatisiert auswertbaren) Klausuren und Laborveranstaltungen mit zum Teil stark formalisierten Laborberichten. Darüber hinaus ist das

Curriculum gekennzeichnet durch eine hohe Dichte an Inhalten, die aufgrund der dynamischen Fortschritte in der Disziplin (einhergehend mit einer steigenden Komplexität) ständig zunehmen, ohne dass akzeptable Möglichkeiten zur Verfügung stehen, an anderen Stellen auf Inhalte zu verzichten. Grundlagen der Mechanik, Physik und Informatik werden immer notwendig sein für ingenieurwissenschaftliche Tätigkeiten. Die Gesellschaft erwartet von Ingenieur*innen, dass sie Technik nicht nur anwenden, sondern ihre Funktionsweisen auch verstehen und sie gestalten können. Dieser besondere Kontext und die Perspektive, dass das deutsche Ingenieurwesen generell weltweit über einen exzellenten Ruf verfügt, die Lehre an den Universitäten also durchaus erfolgreich sein muss, trug dazu bei, ingenieurwissenschaftliche Lehre relativ resistent gegen Forderungen nach Veränderungen zu machen (Becker, 2004; König, 2006). So blieben auch die seit den 1970er Jahren einsetzenden Diskussionen über Aufgaben und Funktionen wissenschaftlicher Bildung über die Vermittlung fachlichen Wissens hinaus (Siegfried-Laferi, 2022) in den Ingenieurwissenschaften zunächst ohne wesentliche Folgen. Dies hat sich in der letzten Dekade durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren grundlegend geändert. Beginnend mit dem Prozess der Bologna-Reformen führte die Kompetenzorientierung von Studiengängen zur Entwicklung neuer Kompetenzmodelle in den Ingenieurwissenschaften, die weit über die bisherigen fachlichen Aspekte hinausgehen. Sichtbar wird das z.B. an den »Future Skills« vom Stifterverband (Kirchherr et al., 2018), insbesondere in der 2021 überarbeiteten Version. Neben der Zunahme fachlicher Kompetenzen (im Sinne der Future Skills die klassischen und technologischen Kompetenzen) ist dabei vor allem auch eine Zunahme überfachlicher Kompetenzen beobachtbar. Bei den Future Skills sind dies die digitalen Schlüsselkompetenzen und die transformativen Kompetenzen. Darüber hinaus sind interkulturelle Kompetenzen (May, 2017), Kreativität (Jahnke, Haertel & Wildt, 2017) und Nachhaltigkeitskompetenz (Schönefeld et al., 2019) relevant geworden und haben Einzug in die Diskussion über ingenieurwissenschaftliche Lehre gefunden. Studien über die Bedeutung fachlicher Habitualisierung in der ingenieurwissenschaftlichen Studieneingangsphase stellen den klassischen Aufbau von der weitreichenden Vermittlung fachlichen Wissens vor der ersten Anwendung des Wissens infrage (Morococz et al., 2016). Die schließlich einsetzende Förderung ingenieurdidaktischer Forschungsprojekte, in Deutschland insbesondere durch den Qualitätspakt Lehre, trug zur Gründung einer entsprechenden nationalen Community und vielen Innovationen in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre bei.

In diesem Beitrag werden diese Entwicklungen und ihre Errungenschaften beleuchtet.

2 Ingenieurwissenschaften, Ingenieurdidaktik, Hochschuldidaktik und Wissenschaftsdidaktik

Die Frage, ob Ingenieurwissenschaften Wissenschaften sind, hat zuletzt die »Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025« fundiert beantwortet: Aufbauend auf unterschiedlichen Ansätzen definiert die Kommission Ingenieurwissenschaften letztlich so: »Die Ingenieurwissenschaften dienen der Gesellschaft durch Erkennen und Gestalten technischer Möglichkeiten mit Hilfe von spezifischen Methoden. Sie sind institutionalisiert in sich beständig wandelnden, eigenständigen Disziplinen« (Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025, 2015, S. 5). Sie ordnet die Ingenieurwissenschaften als zweckorientierte Wissenschaften ein, die in einem Anwendungszusammenhang stehen und dafür technische Lösungen entwickeln und verantworten. Dabei arbeiten sie mit spezifischen Methoden, die aus erkennenden, analysierenden, gestaltenden und synthetisierenden Vorgängen bestehen. Im Unterschied zu anderen Disziplinen müssen die Ingenieurwissenschaften »agil und flexibel sein, um auf die sich zunehmend schneller ändernden Anforderungen der Gesellschaft mit konkreten Lösungen reagieren zu können« (Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025, 2015, S. 5). Ein aktuelles Beispiel für eine solche gesellschaftliche Anforderung über rein technisch-funktionale Aspekte hinaus ist die Orientierung an der Nachhaltigkeit technischer Artefakte. Dies führt in der ingenieurwissenschaftlichen Bildung zu dynamischen fachlichen und überfachlichen Veränderungen.

Solche Veränderungsbedarfe fokussiert auch die Ingenieurdidaktik als fachgebundene Hochschuldidaktik. Sie steht als Bindeglied zwischen den Ingenieurwissenschaften und der allgemeinen Hochschuldidaktik, indem sie hochschuldidaktische Erkenntnisse auf ingenieurwissenschaftliche Lehre überträgt und für den Kontext der Disziplin aufbereitete Lehr-/Lernszenarien erarbeitet, empirisch überprüft und zur Verfügung stellt (für das Beispiel der Nachhaltigkeit wird dies exemplarisch deutlich bei Schönefeld et al., 2019).

Dabei ist die Ingenieurdidaktik in Deutschland noch vergleichsweise jung und erst mit der Einrichtung des Qualitätspakts Lehre breiter etabliert. Genau der von der Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025 beschriebene dynamische Wandel hat ihr geholfen, Zugang zu den Ingenieur-

wissenschaften zu finden. Neue gesellschaftliche Anforderungen gehen in der Regel mit neuen Kompetenzanforderungen für Ingenieur*innen einher, die neue Kompetenzmodelle und neue Lehr-/Lernszenarien erforderlich machen. Im Zusammenspiel von Ingenieurwissenschaften und Ingenieurdidaktik orientieren sich solche neuen Kompetenzmodelle zumeist an Kompetenzanforderungen, die sich aus Berufstätigkeiten in der Wirtschaft speisen. Ein relevantes Beispiel ist hier das Modell der future skills, das der Stifterverband der deutschen Wirtschaft in Zusammenarbeit mit McKinsey anhand der Befragung von Unternehmensvertreter*innen erstellt hat (Kirchherr et al., 2018). Aspekte der Reflexion von Wissenschaft, wissenschaftlichen Methoden, des Weltaufschlusses von Wissenschaft bleiben bei so erstellten Modellen zumeist unberücksichtigt. Solche, aus der Perspektive der Wissenschaftsdidaktik relevanten Fragen (Siegfried-Laferi, 2022), sind in Diskursen über die Rolle und Aufgaben ingenieurwissenschaftlicher Lehre folglich unterrepräsentiert.

3 Neue Kompetenzanforderungen: Mehr als Wissen und Verstehen

Die Diskussionen über Formen und Inhalte wissenschaftlicher Bildung in den Ingenieurwissenschaften haben eine lange Tradition. Schon vor rund 100 Jahren begann die Auseinandersetzung darüber, ob fachliche Inhalte und überfachliche Bildungsziele nicht besser auszubalancieren seien (König, 2006). Auch in den 1960er Jahren haben Wirtschaftsvertreter*innen gefordert, breiter angelegte Perspektiven jenseits der fachlichen Spezialisierung in die Curricula zu integrieren (Becker, 2004). Bis in die erste Dekade des neuen Jahrtausends hinein hat sich daran jedoch grundsätzlich wenig geändert (Minks, 2005). Dann aber setzten unterschiedliche Prozesse ein, die direkt zu Veränderungen in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre führten oder sie indirekt anregten:

- Die Umsetzung der Ergebnisse des Bologna-Prozesses initiierte Diskussionen über das Curriculum in den Ingenieurwissenschaften. Im Rahmen der Fakultätentage bzw. der Zusammenschließung der vier ingenieurwissenschaftlichen Fakultätentage zu 4ING im Jahr 2006 wurden hochschulübergreifende Positionen zur Kompetenzorientierung und Umstellung der Studiengänge auf die neue Struktur von Bachelor- und Master-Abschlüssen erarbeitet (4ING, 2022).

- Spätestens mit dem Einsetzen der vierten industriellen Revolution änderten sich Kompetenzanforderungen vieler ingenieurwissenschaftlicher Berufsbilder und es verschwommen disziplinäre Grenzen (Hegmanns, Straub, Kaczmarek, May et al., 2019; Hegmanns, Straub, Kaczmarek, Rudolph et al., 2019).
- Mit der Einsetzung des Qualitätspakts Lehre wurden im Zeitraum von 2011 bis 2020 verschiedene ingenieurdidaktische Projekte gefördert, die sich grundlegend mit den Methoden und Inhalten der ingenieurwissenschaftlichen Bildung befassten u. a. HD MINT, ProMINTus, MINT-Kolleg, Open MINT Labs, ELLI (Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften).

Neben diesen Projekten begannen auch andere Akteure, sich mit der kompetenzorientierten Bildung allgemein und konkret in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen und deren aktuellen Anforderungen zu befassen. Der Stifterverband erarbeitete gemeinsam mit McKinsey auf der Grundlage der Befragung von Unternehmen die »Future Skills«, die vier grundlegende Kategorien umfassen und damit die Hochschulausbildung deutlich breiter aufspannen: Neben die technologischen Kompetenzen (Gestaltung von Technik, z.B. Software Engineering, Hardware-/Robotikentwicklung) werden klassische Kompetenzen (grundlegende Kompetenzen für den Berufserfolg von Einzelnen wie z.B. Kreativität und unternehmerisches Handeln) und transformatorische Kompetenzen (z.B. Innovations- und Veränderungskompetenzen) sowie digitale Schlüsselkompetenzen (sicheres Agieren z.B. in der digitalen Kooperation und digitalen agilen Arbeit) gestellt (Kirchherr et al., 2018; Suesenbach et al., 2021). Viele Arbeiten entstanden, die sich mit den veränderten Kompetenzanforderungen in technischen Berufen im Rahmen der Industrie 4.0 befassten (Bachmann et al., 2021; Bullinger-Hoffmann, 2019; Dombrowski & Wagner, 2014; Franken & Cutmore-Beinlich, 2018; Huber, 2018). In einer Metaanalyse solcher Arbeiten über neue Kompetenzanforderungen in Ingenieurberufen unter den Bedingungen der Industrie 4.0 identifizieren May et al. (2020) 18 relevante Kompetenzen, die sie in einem Kompetenzraster für die Industrie 4.0 in drei Kategorien einteilen. Auch dabei zeigt sich, dass neben den fachlich notwendigen Kompetenzen die Quantität und Qualität überfachlicher und sozialer Kompetenzen sowie Selbstkompetenz deutlich zugenommen haben (May, Frye & Terkowsky, 2020, S. 216).

Im Ergebnis konkretisierten und operationalisierten diese Arbeiten die mit dem Bologna-Prozess eingeführte Kompetenzorientierung von Bil-

dungszielen. Die Diskussion rund um notwendige Qualifikationen wich der Formulierung von Lern- und Bildungszielen als Kompetenzen im Sinne der Fähigkeit zu selbstorganisiertem Handeln (Erpenbeck et al., 2017, S. XVII). In der Qualifikationsperspektive liegt der Fokus darauf, konkreter Anforderungen zu erfüllen und unmittelbar tätigkeitsbezogene (also direkt verwertbare) Kenntnisse und Fähigkeiten zu fördern. Aus der Kompetenzperspektive richtet sich der Blick auf das lernende Subjekt als Ganzes mit seinen vielfältigen individuellen Handlungsdispositionen und bezieht so neben den Qualifikationen Regeln, Normen und Werte mit ein (Erpenbeck et al., 2017, S. XXII). Im Deutschen Qualifikationsrahmen werden analog Kompetenzen als »[...] Fähigkeit und Bereitschaft des Einzelnen, Kenntnisse und Fertigkeiten sowie persönliche, soziale und methodische Fähigkeiten zu nutzen und sich durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten [bezeichnet]. Kompetenz wird in diesem Sinne als umfassende Handlungskompetenz verstanden« (BMBF, o.J.). Als Bildungsziel impliziert dies, dass die zu erreichenden Lernziele der Studierenden nicht auf den unteren Kompetenzniveaustufen Wissen und Verstehen verharren dürfen, sondern auch der Erwerb von Kompetenzen auf höheren Niveaustufen unerlässlich ist. Dies war für ingenieurwissenschaftliche Lehre nicht selbstverständlich.

4 Aktuelle Herausforderungen: Dynamik, Untiefen, Massenstudium

Dass es zu diesem tiefgreifenden Wandel hin zur Kompetenzorientierung kam, liegt auch an den sich rasch ändernden Herausforderungen angehende*r Ingenieur*innen. Technik entwickelt sich dynamisch – und mit ihr die Anforderungen an Menschen, die mit dieser Technik umgehen. Während dieser Wandel in der privaten Sphäre zumindest zum großen Teil individuell gesteuert, also auch abgelehnt und nicht genutzt werden kann, ist es in der Arbeitswelt nicht so leicht, sich den neuen Anforderungen zu entziehen. Auch wenn sich nach einer aktuellen Studie die Veränderungen von Tätigkeitsprofilen gerade verlangsamt haben gegenüber der Zeit des Aufkommens der Digitalisierung und Automatisierung (Bachmann et al., 2021), weisen mehrere Arbeiten auf eine Vielzahl neuer Kompetenzanforderungen in technischen Berufen hin. Eine hohe Relevanz weist Jeschke (2011) den Faktoren »Globalisierung der Produktion, steigende Diversifizierung von Produkten, Verkürzung von Innovationszyklen, steigende Komplexität technischer Systeme, neue Wachstumsmärkte, Nachhaltigkeit von Prozessen und Produktion,

Umweltbelastung und Ressourcenschonung, Demografischer Wandel der europäischen Gesellschaft« zu. Für sie folgt daraus, dass sich die Ingenieurbildung stärker an der Arbeitsmarktfähigkeit aus Industrie und Wissenschaft, an der Gewinnung von mehr (motivierten und leistungsfähigen) Studierenden und der Förderung der internationalen Mobilität ausrichten muss. Als weitere Herausforderungen identifiziert sie:

- die Gefahr, durch die Umstellung auf Bachelor- und Masterstudiengänge fachliche Tiefe zu verlieren,
- die veränderten Lernbedürfnisse von Studierenden, die mit digitalen Techniken groß geworden sind (digital natives),
- den Anspruch, mehr Studierende und vor allem diversere Studierende als die »typical students (männlich, deutsche Hochschulreife und oftmals vorhergehende Berufsausbildung)« (Arnold, Hiller & Weiss, 2010, S. 15) für die Ingenieurwissenschaften zu gewinnen,
- und forschungsorientierte Lehre für einen forschungsfähigen wissenschaftlichen Nachwuchs anzubieten.

Dem stellt sie die Bedingungen gegenüber, unter denen ingenieurwissenschaftliche Lehre an deutschen Universitäten häufig durchgeführt wird: In Studiengängen mit sehr hohen Einschreibebezahlen und entsprechend auf große Gruppen ausgelegte Lehrveranstaltungen und Prüfungsformate sowie der häufige Mangel an experimentellen Lehr-/Lernaktivitäten aufgrund fehlender Laborressourcen (Jeschke, 2011). Ihre Befunde decken sich mit der Argumentation des Projekts HD MINT im Qualitätspakt Lehre, das ebenfalls in diesem Zeitraum die große Heterogenität von Student*innen (und ihrer Eingangsvoraussetzungen), die mangelnde Studierfähigkeit der Schüler*innen, den steigenden Bedarf an Studierenden besonders in den Ingenieurwissenschaften und die Senkung der hohen Abbruchquote von Student*innen als Probleme identifiziert (Lödermann & Kreulich, 2017). Gerade Letzteres bestätigt noch einmal die Universität Duisburg-Essen in ihrem Projektbericht zum Qualitätspakt Lehre mit einer Abschlussquote von nur 38 % der Student*innen in den Ingenieurwissenschaften (Hintze & Ackeren, 2018, S. 5).

5 Die Ingenieurdidaktik im Wandel

In der letzten Dekade entstanden vor diesem Hintergrund verschiedene Aktivitäten, um die Herausforderungen zu bewältigen. Eine besondere Rolle spielten dabei einige Projekte im Qualitätspakt Lehre.

5.1 Didaktisierung und Lerntheorien

Vor dem Hintergrund dieser Gemengelage aus sich dynamisch entwickelnder Technik, der Ausrichtung von Hochschullehre auf die Kompetenzorientierung im Rahmen des Bologna-Prozesses, den offensichtlichen Problemen und Herausforderungen ingenieurwissenschaftlicher Bildung und dem Aufkommen neuer ingenieurdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprojekte u.a. im Qualitätspakt Lehre setzten schließlich zahlreiche Veränderungen im Sinne einer »Didaktisierung« (Terkowsky, 2022, S. 99) der ingenieurwissenschaftlichen Lehre ein. Durch Projekte und Initiativen initiiert arbeiteten Ingenieurwissenschaftler*innen und Hochschuldidaktiker*innen zusammen an den didaktischen Grundlagen ingenieurwissenschaftlicher Lehre und entwickelten gemeinsam neue didaktische Konzepte und innovative Lehr-/Lernszenarien.

War die klassische Lehre in den Ingenieurwissenschaften bis dahin noch häufig gekennzeichnet durch behavioristische und später auch kognitivistische Elemente, setzte sich immer mehr das Verständnis für die Vorteile von Lernaktivitäten durch, bei deren Gestaltung die Ansätze konstruktivistischer Lerntheorien berücksichtigt werden. Mit der Entstehung solcher Innovationen (einige Beispiele werden später vorgestellt) wandelte sich das Bild der Aneignung von wissenschaftlichem Wissen in den Ingenieurwissenschaften: weg von Lernenden, die ganz überwiegend Wissen auswendig lernen und in Prüfungen reproduzieren mussten, hin zu Lernenden, die sich Wissen selbstgesteuert erarbeiten, Zusammenhänge selbst sichtbar machen, das Wissen anwenden, auf andere Kontexte übertragen, Lösungen generieren und deren Auswirkungen beurteilen. Lehrende der Ingenieurwissenschaften begannen, sich mit Lernzielen und Lerntheorien auseinanderzusetzen und ihre Lehrveranstaltungen unter Berücksichtigung des Ansatzes des Constructive Alignment (Biggs, 1996) zu gestalten (Bartel, 2022).

Ingenieurwissenschaftler*innen, die sonst nur fachlich forschten, begannen, sich an hochschuldidaktischen Ausschreibungen zu beteiligen (siehe z.B. das Projekt TZdigital – Technisches Zeichnen im Ingenieurwesen – im Rahmen der Ausschreibungslinie OERcontent.nrw (Digitale Hochschule NRW,

2022). Flipped Classroom (Campillo-Ferrer & Miralles-Martínez, 2021) kam auf und wurde zur Blaupause für die Zeit des Lockdowns in der Corona-Pandemie: Viele Lehrende nutzten diese Gelegenheit, nicht nur ihre Vorlesung live zu streamen oder als Video zur Verfügung zu stellen, sondern auf Flipped Classroom umzustellen und die Interaktion unter den Studierenden und mit den Lehrenden grundlegend zu verändern. Das Bild der Wissensaneignung von individuellen Lernenden, die an Vorlesungen teilnehmen, Vorträge rezipieren und einsam Skripte und Lehrbücher durcharbeiten, wurde ergänzt um Lernende, die sich Wissen mittels moderner digitaler Medien auf unterschiedlichen Wegen im individuellen Tempo aneignen und ihr neu erworbenes Wissen in der Interaktion mit anderen Studierenden in Gruppenarbeit und in den nur auf Interaktion ausgerichteten Synchron-Zeiten (ob digital oder in Präsenz) mit den Lehrenden kommunikativ validieren. Die neu aufkommende Arbeitsweise im Studium kommt wesentlich näher an das heran, was professionelles wissenschaftliches Arbeiten ausmacht; der Zugang zur Enkulturation fachspezifischer Vorgehensweisen und Werte änderte sich in diesen Szenarien grundlegend.

Sehr gut sichtbar wird dies an einem der größten ingenieurdidaktischen Projekte des Qualitätspakts Lehre, ELLI und ELLI 2 (Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften, 2011–2020), und dessen aus der Programmlinie »Bologna – Zukunft der Lehre« der Stiftungen Mercator und Volkswagen gefördertes Vorläufer-Projekt TeachING LearnING (Bach, Jungmann & Müller, 2010). In ELLI entstanden unter der Bezeichnung »Engineering Education 4.0« (Isenhardt et al., 2020, S. 9) auf breiter Ebene neue Konzepte, die die Aneignung wissenschaftlichen Wissens und den Erwerb von Handlungskompetenz grundlegend neu gestalteten.

5.2 Beispiele einer neuen Konstruktivismus- und Kompetenzorientierung

Inzwischen existieren zahlreiche Beispiele für den Wandel in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre, die sich zu einer am Konstruktivismus und an Kompetenz orientierten sowie studierendenzentrierten Lehre wandelt. Vom traditionellen Lehrformat behavioristisch oder bestenfalls kognitivistisch geprägter Vorlesungen und wenig interaktiven Laborveranstaltungen wird immer mehr Abschied genommen zugunsten innovativer Lehr-/Lernarrangements, die auch das Verhältnis von Lehrenden und Lernenden durch direktere Kommunikation und Betreuung verändern und die Habi-

tualisierung in der Profession stärker in der Hochschule stattfinden lassen. Die Möglichkeiten der Digitalisierung von Lehre, die im Zuge der Coronapandemie einen nachhaltigen Schub bekommen haben, wirken in dieser Entwicklung wie ein Katalysator für die Umsetzung der in den zahlreichen ingenieurdidaktischen Projekten im Qualitätspakt Lehre und an anderen Stellen erarbeiteten Konzepte. Aus der Vielzahl der Initiativen werden nun ein paar ausgewählte Beispiele vorgestellt, wie Kompetenzorientierung zunehmend Eingang in die ingenieurwissenschaftliche Lehre findet und wie dabei auch überfachliche Kompetenzen gefördert werden, die über Jahrzehnte nicht berücksichtigt worden sind.

5.2.1 Transformation des Moduls Umformtechnik an der HAW Hamburg

Im Rahmen des vom Qualitätspakt Lehre geförderten Projekts »Lehre lotsen« an der HAW Hamburg wurde das Modul zur Umformtechnik grundlegend neugestaltet. Ein wesentliches Ziel des Vorhabens ist es, den Studierenden ein Lernen durch konkrete Erfahrungen im Umgang mit den Geräten und Maschinen der Umformtechnik zu ermöglichen. Grundlage der Transformation bilden Lernziele und darauf aufbauende User-Stories, die den Lernenden eine Orientierung für die jeweilige Lehrveranstaltung geben, das Lernen in Gruppen ermöglichen und dazugehörige Labore konkret in die Lehrveranstaltung integrieren. Damit und mit der daraus entstandenen Mischung aus Präsenz- und digitalen Anteilen können die Studierenden das Modul viel individueller bearbeiten und sich viel stärker interaktiv einbringen als im alten Modul. Der Aussage »Die Studierenden werden zu einer aktiven Mitarbeit in der Veranstaltung angeregt« stimmten in der Evaluation des transformierten Moduls 100 % der teilnehmenden Studierenden zu (Königstein-Lüdersdorff, 2021).

5.2.2 Bildung für eine nachhaltige Entwicklung: Die »Ingenieure ohne Grenzen«-Challenge

Ebenfalls im Kontext eines Projekts aus dem Qualitätspakt Lehre (in diesem Fall ELLI und ELLI 2) wurde ein Konzept entwickelt, das den Erwerb relevanter überfachlicher Kompetenzen entlang des Erwerbs fachlicher Kompetenzen für die Studierenden möglich machte. ELLI baute gemeinsam mit dem Verein »Ingenieure ohne Grenzen e.V.« eine für deutsche Hochschulen adaptierte Version der international (und vor allem in Australien beliebten) Engineers Without Borders Challenge auf. Dabei lösen Studierende Aufgabenstellungen, die sich aus der konkreten Zusammenarbeit von »Ingenieure ohne Grenzen«

mit Partnerinstitutionen vor Ort in den Ländern des globalen Südens ergeben. Es handelt sich also um reale technische Probleme (z.B. der Sicherung der Wasserqualität bei der Lagerung in Zisternen, dem Bau erdbebensicherer Gebäude, der Optimierung von Bewässerungssystemen in der Landwirtschaft unter schwierigen klimatischen Bedingungen), bei deren Lösung die Studierenden konkret die Auswirkungen ihrer Leistungen erfahren, indem sie mit ihrer Arbeit unmittelbar zur Steigerung von Lebensqualität beitragen können. In einem Wettbewerb treten Teams von Studierenden gegeneinander an, wobei die besten Lösungen den Partnerinstitutionen vor Ort vorgestellt und, wenn sie von den Menschen dort für gut befunden wurden, auch tatsächlich umgesetzt werden können. Damit dies geschehen kann, müssen die gefundenen Lösungen der Studierenden ökonomische, ökologische und soziale Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigen. Auf diese Weise lernen die Studierenden nicht nur, ihre theoretischen Kenntnisse anzuwenden, um praktisch Technik zu gestalten, sondern erwerben auch Kompetenzen im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung und erfahren eine professionelle Habitualisierung als Gestaltende von Technik, mit aller damit verbundener Verantwortung (Schönefeld et al., 2019).

5.2.3 Projekte zur Förderung der Kreativität

Ebenfalls in den Projekten ELLI und ELLI 2 des Qualitätspakts Lehre wurden Ansätze zur Förderung der Kreativität von Studierenden der Ingenieurwissenschaften entwickelt. Dabei galt es, wiederum den Erwerb überfachlicher Kompetenzen im Rahmen der fachlichen Kompetenzentwicklung zu ermöglichen. Grundsätzlich drückt sich Kreativität in der Hochschullehre in sechs verschiedenen Facetten aus: in reflektierendem Lernen, selbständigem Lernen, motiviertem Lernen, kreierendem Lernen, vielperspektivischem Lernen und innovationsorientiertem Lernen (Jahnke et al., 2017; Haertel et al., 2020). Innerhalb dieser sechs Facetten legen einzelne Disziplinen und individuelle Lehrende eigene Schwerpunkte, welche Facetten für sie Kreativität in ihrem Kontext ausmachen. So ergab eine Auswertung der Modulhandbücher der an ELLI beteiligten Universitäten RWTH Aachen University, Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Dortmund in den Studiengängen Elektrotechnik und Maschinenbau, dass insbesondere das reflektierende Lernen, Motivation und Neugier sowie das kreierende Lernen von Bedeutung sind (Haertel & Terkowsky, 2012). Damit diese im Rahmen fachlicher Lehre gefördert werden können, bedarf es zunächst im Sinne des Constructive Alignment (Biggs, 1996) entsprechender Lernziele. Innerhalb von ELLI wurden

die Facetten daher in entsprechende Lernziele operationalisiert, z.B. für das reflektierende Lernen: »Nach Besuch der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage, für sie neues und bestehendes Wissen kritisch zu hinterfragen. Sie können die Vor- und Nachteile neuer Zusammenhänge und Ansätze diskutieren und sind in der Lage, falsche Informationen zu erkennen und zu benennen« (Haertel et al., 2020, S. 84). Oder für das motivierte Lernen: »Nach Besuch der Veranstaltung sind Studierende in der Lage, ihre übergeordneten Interessen am Fach mit dem Thema der Veranstaltung zu verbinden. Sie können ihre eigenen Interessen an der Veranstaltung reflektieren, Widersprüche benennen und verstehen es, geeignete Methoden zur Überwindung eigener Motivationsdefizite auszuwählen und anzuwenden« (Haertel et al., 2020, S. 84). Diese Lernziele lassen sich über entsprechende Lernaktivitäten in fachliche Veranstaltungen einbauen, z.B. in Form eines One-Minute-Paper am Ende einer Vorlesung (Stead, 2005). Letztlich muss das Erreichen der Lernziele noch in Prüfungen bewertet werden, damit – im Sinne des Constructive Alignment – Studierende diese als individuelle Lernziele übernehmen und sich auf die Lernaktivitäten einlassen.

5.2.4 Der Erwerb Interkultureller Kompetenzen

Ein weiteres Beispiel für den Erwerb überfachlicher Kompetenzen entlang fachlicher Kompetenzentwicklung (ebenfalls innerhalb der Qualitätspakt-Lehre Projekte ELLI und ELLI 2 entstanden) liefert May (2017) mit seinem Beitrag zur interkulturellen Kompetenz. Unter der Fragestellung, wie Studierende der Produktionstechnik während ihres Studiums befähigt werden können, in internationalen Kontexten professionell zu handeln, entwickelt er zunächst ein Kompetenzmodell zur interkulturellen Kompetenz und leitet daraus ein Modell für die Lehre ab. Demnach müssen Lernende in der Lage sein, auf der individuellen Ebene ihre Einstellungen und Positionen kritisch zu hinterfragen und ggf. anzupassen und über die Fähigkeit verfügen, in interkulturellen Kontexten sicher handeln zu können. Dazu gehört die Fähigkeit, entsprechende Interaktionsprozesse kritisch zu reflektieren und konstruktiv zu gestalten. Bezogen auf ein konkretes Lehr-/Lernszenario bindet May diesen Ansatz in einen internationalen Vorkurs mit Studierenden aus unterschiedlichen Kontinenten ein. Der Kurs bezieht sich fachlich auf einen Remote-Versuch aus der Umformtechnik, den die Studierenden in interkulturell heterogenen Gruppen gemeinsam durchführen. Dabei werden Aspekte der Zusammenarbeit reflektiert und entsprechende Handlungen im-

mer wieder initiiert und neu justiert (May, 2017; May, Sadiki, Pleul & Tekkaya, 2015).

6 Die besondere Rolle des Labors beim Gewinn ingenieurwissenschaftlicher Erkenntnisse

Ingenieurwissenschaftliche Lehre ist geprägt von Vorlesungen mit Übung und ggf. Tutorium und den Laborveranstaltungen. Gerade Letztere tragen wesentlich zur professionellen Habitualisierung und Internalisierung von fachspezifischen Werten bei Studierenden bei. Wie sehr die Realität der Ingenieurbildung in Laboren und der Anspruch an die Kompetenzorientierung zu Beginn der 2010er Jahre auseinanderlagen, beschreibt Terkowsky (2022) unter Bezug auf ein von der Deutschen Akademie für Technikwissenschaften (acatech e.V.) durchgeführtes Projekt zur Labordidaktik (Tekkaya et al., 2016). Demnach lassen sich im Jahr 2011 Abweichungen von der Kompetenzorientierung bei Laborveranstaltungen beobachten, konkret bei

- dem labordidaktischen Design, das oft nicht sinnvoll in bestehende Lehr-/Lernarrangements eingebunden ist (Terkowsky, 2022, S. 10): Das ist zum Beispiel der Fall bei einer zeitlichen Differenz zwischen der Behandlung des Themas in der Vorlesung und im Labor.
- dem »unzureichenden Constructive Alignment« (Terkowsky, 2022, S. 10): Dies liegt z.B. vor, wenn Lernziele auf höhere Taxonomiestufen abzielen als die Lernaktivitäten und die Bewertung des Erreichens der Lernziele, oder wenn das Erreichen der Lernziele von Laborveranstaltungen gar nicht überprüft wird, weil die Modulprüfung bzw. Klausur auf Aspekte der Laborveranstaltung nicht eingeht.
- fehlenden Bezügen zur Employability (Terkowsky, 2022, S. 10): Gerade bei Laborveranstaltungen sollte ein Bezug zur Berufspraxis bestehen und den Lernenden auch transparent gemacht werden.
- der »Unzureichende[n] Lehr- und Laborgestaltungskompetenz« (Terkowsky, 2022, S. 10): Davon ist z.B. auszugehen, wenn Lehrende ohne Vorerfahrung oder ohne vorbereitende Weiterbildungsangebote Laborveranstaltungen übernehmen. Damit steigt die Gefahr, dass ein professioneller Habitus von den Lernenden nicht beobachtet und internalisiert werden kann.

Dies alles ist insofern relevant, als dass nach Berendes und Gutmann (2020) das Labor wissenschaftstheoretisch ein besonderer Raum für die Studierenden ist. Während Vorlesung und Übung ganz überwiegend theoretisch ausgerichtet sind, ist das Labor der Ort, an dem wissenschaftliche Erkenntnis aus dem Zusammenspiel von Theorie und Praxis gewonnen wird. Gerade im Labor lernen die Studierenden, welche Bedeutung der Begriff »Wahrheit« in ihrer Disziplin hat, welche Widersprüche es zwischen etablierten Theorien und abweichenden gemessenen Daten gibt, welche Grenzen deduktive und induktive Methoden vor dem Hintergrund einer endlichen Anzahl an Versuchen haben. Dabei wird das Labor meistens zur Überprüfung erstellter Hypothesen genutzt und seltener zur Generierung neuen Wissens durch Experimente. Damit bleiben aber wichtige Elemente der »habituellen Einübung« (Berendes & Gutmann, 2020, S. 41) unberücksichtigt, wie die Ausbildung der Urteilsfähigkeit, um z.B. nicht nur beurteilen zu können, ob eine Theorie »wahr« oder »falsch« ist, sondern eben auch, ob ein Versuch gelungen ist oder nicht, welche Fehlertoleranz akzeptabel ist, wie oft ein (erfolgloser) Versuch verändert und wiederholt werden darf: »In einem mit Blick auf die technischen Prozesse überraschungsfreien Lernlabor ist das einzig erwartete Ereignis der möglichst getreue Handlungs- und Deutungsnachvollzug durch die Lernenden« (Berendes & Gutmann, 2020, S. 46).

Vor diesem Hintergrund der erkenntnistheoretischen Bedeutung des Labors und seines Beitrags zum Erwerb von Handlungskompetenz wundert es nicht, dass hier zunächst der größte Ansatzpunkt für didaktische Innovationen wie forschungs- oder projektorientiertes Lernen bestand.

Terkowsky (2022) und Tekkaya et al. (2016) weisen darauf hin, dass zu Beginn des Jahrtausends weder eine elaborierte labordidaktische Forschung noch eine entsprechend wahrnehmbare labordidaktische Community in Deutschland existiert hat. Terkowsky (2022) zeigt jedoch auch, wie sich seit 2009 verstärkt Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit einer systematischen Labordidaktik befasst haben und sich auch in Deutschland eine entsprechende Community entwickelte, die dann den Anschluss an die internationalen Diskurse fand und inzwischen gut vernetzt ist. Entsprechend gibt es auf dem Gebiet der Labordidaktik inzwischen viele Beispiele für den Wandel der Lehre in den Ingenieurwissenschaften; nachstehend zwei Beispiele dazu.

6.1 Redesign eines Laborpraktikums

Das Laborpraktikum für angehende Lehrer*innen im Fach Technik an der Technischen Universität Dortmund war zunächst gekennzeichnet vom klassischen Aufbau: Die Studierenden bekamen Skripte zur Vorbereitung eines Versuchs, in denen alle Informationen, die sie für die Durchführung benötigten, bereits enthalten waren. Erst nach der Auseinandersetzung mit den theoretischen Informationen durften sie an die Geräte und Maschinen und die Versuche durchführen. Für die Studierenden war das reine, zunächst noch ohne Anwendungskontext versehene Auswendiglernen von Informationen wenig effektiv. Mit dem Ansatz des Design Based Research wurde diese Laborveranstaltung mit dem Ziel des Erreichens von Handlungskompetenz durch die Studierenden grundlegend neugestaltet. Im neuen Setting bekommen die Studierenden keine vorgefertigten Skripte mehr, sondern setzen sich im Sinne der projektorientierten Lehre mit einer Fragestellung auseinander, zu deren Beantwortung sie einerseits den Versuch durchführen und andererseits alle dafür notwendigen Informationen selbst recherchieren und sich erarbeiten. Die Studierenden haben von Anfang an (tutoriel beaufsichtigten) Zugang zu den Geräten und Maschinen, um sich selbst schrittweise ein Verständnis von den notwendigen Abläufen aufzubauen. Dies bedeutet auch, dass Vorbereitung und Durchführung nicht mehr strikt getrennt (räumlich und zeitlich, Vorbereitung mittels Skripten als Selbstlernen außerhalb der Uni, Durchführung vor Ort im Labor), sondern durchgehend gemeinsam vor Ort im Labor stattfanden (Frye et al., 2020). In ihrem Resümee schreiben Frye et al. (2020) den Erfolg des Wandels insbesondere der konstruktiven Zusammenarbeit von Fachwissenschaftler*innen mit Hochschuldidaktiker*innen zu.

6.2 Kompetenzorientierung im Paderborner Physik Praktikum 3P

Ein weiteres Beispiel für den Wandel in Laborveranstaltungen findet sich in Paderborn. Unter der Prämisse der Kompetenzorientierung im Zuge des Bologna-Prozesses wurde das Paderborner Physik Praktikum 3P neugestaltet. Ebenfalls unter Berücksichtigung des Ansatzes des Constructive Alignment (Biggs, 1996) wurden Lernziele, Lernaktivitäten und Prüfungen neu konzipiert. Eine besondere Bedeutung hat dabei das formative Prüfungsformat des Portfolios, das mit einer summativen Methode (Abschlussgespräch) kombiniert wurde (Sacher & Bauer, 2020). Der Neubewertung von Prüfungsmethoden

kommt in der Labordidaktik eine besondere Rolle zu, da die schlechte Einbindung von Laborveranstaltungen ins Constructive Alignment ein wesentlicher Schwachpunkt konventioneller Labore war (Terkowsky, 2022) und die bloße Anfertigung standardisierter Protokolle regelmäßig zu Frustrationen bei Studierenden und Lehrenden führte (Haertel et al. 2020).

7 Fazit und Ausblick


Die Ingenieurwissenschaften haben nach jahrzehntelangem Verharren in konventionellen Strukturen in der letzten Dekade einen radikalen Wandel erlebt. Davon ist ingenieurwissenschaftliche Lehre in unterschiedlichen Fächern und unterschiedlichen Hochschulen auch unterschiedlich stark betroffen, doch die Zahl der Publikationen mit Berichten über Innovationen in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre nimmt stetig zu. Im Komplex wissenschaftlicher Aufgaben gewinnt Lehre grundsätzlich an Bedeutung, auch wenn das nicht immer direkt zu Veränderungen führt. Mehrere Faktoren haben diese Entwicklung begünstigt: zum einen der Bologna-Prozess mit seiner Kompetenzorientierung, wodurch verstärkt unterschiedliche Vorstellungen der Profession von Ingenieur*innen (in der Wirtschaft, in der Wissenschaft) in den Hochschulen aufkamen; zum anderen die zahlreichen fachspezifischen Projekte im Qualitätspakt Lehre, die an vielen Stellen Lehrende der Ingenieurwissenschaften mit Hochschuldidaktiker*innen fruchtbar zusammengebracht haben. Für die Hochschuldidaktik ergaben sich dabei wertvolle Erkenntnisse über die spezifischen Anforderungen ingenieurwissenschaftlicher Lehre, und für die Ingenieurwissenschaften ergaben sich wertvolle Kenntnisse, wie sie es ihren Studierenden ermöglichen, nicht nur Informationen in Wissen umzuwandeln, sondern auch Zusammenhänge zu verstehen, ihr Wissen anzuwenden und selbstständig zu erweitern. Das macht Lehre für alle Beteiligten nicht immer leichter (im Gegenteil, Lernende und Lehrende nehmen in solchen Lehr-/Lernszenarien häufig Belastungen in Form von hohem Zeitaufwand, (Selbst-)Verantwortung und Unsicherheit im Hinblick auf die Zielerreichung wahr), aber mit Blick auf das gewünschte Ergebnis erfolgreicher. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung findet auch ein reger Austausch über mediendidaktische Aspekte statt u.a. vor dem Hintergrund der Frage sich ändernder Mediennutzungsgewohnheiten in der Gesellschaft, die neue Wege der Vermittlung hochkomplexer Zusammenhänge, wie sie in den Ingenieurwissenschaften üblich sind, erforderlich machen.

Einige der Projekte im Qualitätspakt Lehre haben durch empirische Arbeiten und Forschung auf internationalem Niveau dazu beigetragen, Aussagen über die Wirksamkeit unterschiedlicher Konzepte zu treffen, die sich zwar in die Lehrpraxis nie eins zu eins übertragen lassen, aber fundierte Ausgangspunkte bieten. In vielen Bereichen sorgt eine erfolgreiche Nachhaltigkeitsstrategie für die Nachhaltigkeit dieser Entwicklungen. So gibt es verschiedene Formen der Institutionalisierung, z.B. bei fachspezifischen hochschuldidaktischen Weiterbildungsworkshops, die in immer mehr Hochschulen Berücksichtigung finden, oder der Gründung der IngenieurDidaktik an der Technischen Universität Dortmund, die den Auftrag der Forschung und Lehre in diesem Gebiet verstetigt hat. Auch die Gründung des Fachausschusses »Moderne Lehre und Didaktik in der Mathematik und Mechanik« der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM) ist ein Hinweis darauf, dass sich diese Entwicklung in den Ingenieurwissenschaften weiter durchsetzen könnte. Der Fachausschuss, in dem sich Lehrende der Mathematik und Mechanik treffen und über konstruktivistisch kompetenzorientiert ausgerichtete Lehre diskutieren, ist ein exzellentes Beispiel für die zunehmende »Didaktisierung« (Terkowsky, 2022) der Ingenieurwissenschaften. Und schließlich trug die Dynamik der Entwicklung von Technik, ausgedrückt u.a. in der Industrie 4.0, und die Dynamik in der Gesellschaft mit ihrer Perspektive auf Technik zu diesen Entwicklungen in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre bei. Der europäische »Man on the Moon«-Moment (von der Leyen, 2019) erfordert umfassend kompetente Ingenieur*innen, die kreativ, in internationalen Kontexten und mit Blick auf eine nachhaltige Entwicklung von Technik und Gesellschaft handeln.

Wissenschaftsdidaktische Fragen, zum Beispiel wie Wissenschaft auch einen speziellen Weltaufschluss vermitteln kann (Reinmann & Rhein, 2022) oder wie Studieren auch ein Modus der Wissenschaftsaneignung sein kann (Trempp, 2022), werden vorwiegend entlang der Reflexionen über Lehre im Labor bearbeitet, bleiben insgesamt aber tendenziell unterrepräsentiert in den Ingenieurwissenschaften. Aus einer ingenieurdidaktischen Perspektive wäre zu prüfen, inwiefern wissenschaftsdidaktische Erkenntnisse und Ansätze ingenieurwissenschaftliche Kompetenzmodelle stärker als bisher ergänzen und ebenfalls in Lernziele, Lernaktivitäten und Bewertungsmechanismen überführt werden könnten.

Literatur

- 4ING Fakultätentage der Ingenieurwissenschaften und der Informatik an Universitäten. (2022). *4ING zum Bologna-Prozess*. Abgerufen am 29. September 2022. <https://4ing.net/bologna-prozess/>
- Arnold, A., Hiller, S. & Weiss, V. (2010). *LeMoTech – Lernmotivation im Technikunterricht. Projektbericht*. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Bach, U., Jungmann, T. & Müller, K. (2010). Projektbeschreibung TeachING-Learning. *EU. hd journal*, 2, 9–13. doi: <http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-7841>.
- Bachmann, R., Bode, E., Görg, H. & Schmidpeter, B. (2021). *Veränderungen von Tätigkeitsprofilen im Zuge des digitalen Wandels in Deutschland*. Berlin. Abgerufen am 15.10.2022: https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/Eckhardt_Bode/Veraenderungen_von_Taetigkeitsprofilen_im_Zuge_des_digitalen_Wandels_in_Deutschland/EFI_StuDIS_09_2021.pdf
- Bartel, T. (2022). *Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM): Fachausschuss Moderne Lehre und Didaktik in der Mathematik und Mechanik*. Abgerufen am 14. August 2022: <https://www.im.mb.tu-dortmund.de/cms/de/GAMM/GAMM-FA-Didaktik/index.html>
- Becker, F.S. (2004). Der Europäische Hochschulraum: Bekommen wir die Ingenieure, die wir brauchen? In J. Grünberg & I.G. Wenke (Hrsg.), *Arbeitsmarkt Elektrotechnik Informationstechnik* (S. 43–54). Berlin: VDE.
- Berendes, J. & Gutmann, M. (2020). Wozu Labor? Zur vernachlässigten Erkenntnistheorie hinter der Labordidaktik. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 35–49). Bielefeld: wbv.
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347–64. doi: 10.1007/BF00138871.
- BMBF (o.J.). Der DQR: Glossar. Abgerufen am 5.8.2022: https://www.dqr.de/dqr/de/der-dqr/glossar/glossar_node.html
- Bullinger-Hoffmann, A. (Hrsg.). (2019). *Zukunftstechnologien und Kompetenzbedarfe. Kompetenzentwicklung in der Arbeitswelt 4.0*. Heidelberg: Springer.
- Campillo-Ferrer, J.M. & Miralles-Martínez, P. (2021). Effectiveness of the flipped classroom model on students' self-reported motivation and learning during the COVID-19 pandemic. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8(1). doi: 10.1057/s41599-021-00860-4.

- Digitale Hochschule NRW (2022). OER-CONTENT.NRW. Abgerufen am 15.10.2022. <https://www.dh.nrw/kooperationen/OER-Content.nrw-42>.
- Dombrowski, U. & Wagner, T. (2014). Arbeitsbedingungen im Wandel der Industrie 4.0: Mitarbeiterpartizipation als Erfolgsfaktor zur Akzeptanzbildung und Kompetenzentwicklung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 109(5), 351–55. doi:10.3139/104.111149.
- Erpenbeck, J., von Rosenstiel, L., Grote, S. & Sauter, W. (2017). Einführung. In J. Erpenbeck, L. von Rosenstiel, S. Grote & W. Sauter (Hrsg.), *Handbuch Kompetenzmessung. Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis* (S. IX–XXXIII). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025 (2015). *Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025: Abschlussbericht*. Stuttgart. Abgerufen am 14.10.2022. https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/Anlagen_PM/2015/132_PM_Anlage_Abschlussbericht_Expertenkommission_Ingenieurwissenschaften@BW2025_.pdf
- Franken, S. & Cutmore-Beinlich, S.A. (2018). Digitalisierung und Industrie 4.0 – neues Arbeiten, veränderte Belegschaften. In S. Armutat, N. Bartholomäus, S. Franken, V. Herzig & B. Helbich (Hrsg.), *Personalmanagement in Zeiten von Demografie und Digitalisierung: Herausforderungen und Bewältigungsstrategien für den Mittelstand* (S. 57–75). Wiesbaden: Springer.
- Frye, S., Terkowsky, C., Haertel, T., Franuszkiewicz, J. & Heix, S. (2020). Re-Design eines Laborpraktikums im Lehramtsstudium – Didaktische Optimierung mittels Design-Based Research. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T.R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 95–108). Bielefeld: wbv.
- Haertel, T., Höschel, A., Rummler, M. & Terkowsky, C. (2020). Kreativität und Sicherheit im Labor – ein Widerspruch? In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T.R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 81–94). Bielfeld: wbv.
- Haertel, T. & Terkowsky, C. (2012). Where have all the inventors gone? The lack of spirit of research in engineering education. In The Ministry of Higher and Secondary Specialized Education (MHSSE) of the Republic of Uzbekistan (Eds.), *Proceedings of the 2012 Conference on Modern Materials, Technics and Technologies in Mechanical Engineering. The Ministry of Higher and Secondary Specialized Education (MHSSE) of the Republic of Uzbekistan, Andijan Area, Andijan City, Uzbekistan* (pp. 507–12). Abgerufen am 15.10.2022: <https://doi.org/10.14391/97838380462959-012> - am 13.02.2025, 21:47:41. <https://www.inlibra.com/de/egb> - Open Access - 

- [//ow.zhb.tu-dortmund.de/storages/ow-zhb/r/Publikationen/haertel_terkowsky_2012_where-have-all-the-inventors-gone_mhsse.pdf](https://ow.zhb.tu-dortmund.de/storages/ow-zhb/r/Publikationen/haertel_terkowsky_2012_where-have-all-the-inventors-gone_mhsse.pdf).
- Hegmanns, T., Straub, N., Kaczmarek, S., May, D., Radtke, M., Haertel, T. & Neubauer, D. (2019). Identifikation zukünftiger Kompetenzbedarfe in der Logistik«. In A.C. Bullinger-Hoffmann (Hrsg.), *Zukunftstechnologien und Kompetenzbedarfe. Kompetenzentwicklung in der Arbeitswelt 4.0* (S. 103–25). Heidelberg: Springer.
- Hegmanns, T., Straub, N., Kaczmarek, S., Rudolph, B., Sobiech, D., Müller, S., Dehler, J., Haertel, T., May, D., Radtke, M., Neubauer, D., Möllmann, A. & Zaremba, B. (2019). Kompetenzmanagement in der Logistik der Zukunft – ein Umsetzungsbeispiel von der Modellierung und Diagnostik zur unternehmensspezifischen und individuellen Kompetenzentwicklung. In A.C. Bullinger-Hoffmann (Hrsg.), *Zukunftstechnologien und Kompetenzbedarfe. Kompetenzentwicklung in der Arbeitswelt 4.0* (S. 199–232). Heidelberg: Springer.
- Hintze, P. & Ackeren, I. (2018). *Bildungsgerechtigkeit im Fokus – Studieneingang gestalten, Potenziale fördern, Chancen realisieren: Qualitätspakt Lehre-Projekt an der Universität Duisburg-Essen: Schlussbericht zur ersten Förderphase: Laufzeit: 01.10.2011 bis 30.09.2016*. Essen.
- Huber, W. (2018). *Industrie 4.0 kompakt – Wie Technologien unsere Wirtschaft und unsere Unternehmen verändern*. Wiesbaden: Springer.
- Isenhardt, I., Petermann, M., Schmohr, M., Tekkaya, A.E. & Wilkesmann, U. (Hrsg.). (2020). *Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften. innovativ – digital – international*. Bielefeld: wbv Media.
- Jahnke, I., Haertel, T. & Wildt, J. (2017). Teachers' conceptions of student creativity in higher education. *Innovations in Education and Teaching International* 54(1), 87–95. doi: 10.1080/14703297.2015.1088396.
- Jeschke, S. (2011). *Didaktik in den Ingenieurwissenschaften – ein Streifzug durch Herausforderungen, Modelle und Methoden*. Vortragsfolien präsentiert im Qualitätszirkel für Lehre der Fak. III, RWTH Aachen, 01.02.2011. Abgerufen am 4.8.2022: https://ow.zhb.tu-dortmund.de/storages/ow-zhb/r/Publikationen/haertel_terkowsky_2012_where-have-all-the-inventors-gone_mhsse.pdf
- Kirchherr, J., Klier, J., Lehmann-Brauns, C. & Winde, M. (2018). *Future Skills: Welche Kompetenzen in Deutschland fehlen*. Abgerufen am 27.11.2018: <https://www.stifterverband.org/medien/future-skills-welche-kompetenzen-in-deutschland-fehlen>

- König, W. (2006). Vom Staatsdiener zum Industrieangestellten: Die Ingenieure in Frankreich und Deutschland 1750–1945. In W. König & W. Kaiser (Hrsg.), *Geschichte des Ingenieurs – Ein Beruf in sechs Jahrtausenden* (S. 179–232). München: Hanser.
- Königstein-Lüdersdorff, K. (2021). Transformation des Moduls Umformtechnik. In M. Bessenrodt-Weberpals (Hrsg.), *HAW Hamburg: Lehre lotsen* (S. 115–19). Abgerufen am 20.08.2022: https://www.haw-hamburg.de/fileadmin/Hochschule/Lehre_lotsen/PDF/HAW_LehreLotsen_Bd2_Onlineversion-Bibliothek.pdf
- Löderrmann, A.-M. & Kreulich, K. (2017). *HD MINT Hochschuldidaktik-Department für die MINT-Fächer. Abschlussbericht*. München: Hochschule für Angewandte Wissenschaften München.
- May, D. (2017). *Globally Competent Engineers: Internationalisierung der Ingenieurusbildung am Beispiel der Produktionstechnik*. Düren: Shaker.
- May, D., Frye, S. & Terkowsky, C. (2020). Die Eignung von Remote-Laboren zur Förderung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 am Beispiel von VISIR. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 211–26). Bielefeld: wbv Media.
- May, D., Sadiki, A., Pleul, C. & Tekkaya, A.E. (2015). Teaching and learning globally connected: Using live online classes for preparing international engineering students for transnational collaboration and for studying in Germany. *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2015)* (pp. 114–22). Abgerufen am 15.10.2022: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7087275>.
- Minks, K.H. (2005). Kompetenzen für den globalen Arbeitsmarkt: Was wird vermittelt? Was wird vermisst?« In J. Grüneberg & I.-G. Wenke (Hrsg.), *Arbeitsmarkt Elektrotechnik Informationstechnik* (S. 29–48). Berlin: VDE.
- Morococz, R.J., Levy, B., Forest, C., Nagel, R.L., Newstetter, W.C. & Linsey, J.S. (2016). Relating student participation in university maker spaces to their engineering design self-efficacy. *ASEE 2016 Conference Proceedings*, New Orleans. Abgerufen am 21.08.2017: <https://www.asee.org/public/conference/s/64/papers/16125/download>
- Reinmann, G. & Rhein, R. (Hrsg.). (2022). *Wissenschaftsdidaktik I. Eine Einführung*. Bielefeld: transcript.
- Sacher, M.D. & Bauer A.B. (2020). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T.R. Ortelt, S. Heix & K. Len-

- sing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre. Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 51–66). Bielefeld: wbv Media.
- Schönefeld, K., Frye, S., Haertel, T., Willicks, F. & Hees, F. (2019). Interkulturelle und sozial verantwortliche Technikbildung – Die Ingenieure ohne Grenzen Challenge. *Journal of Technical Education*, 7(1), 127–46.
- Siegfried-Laferi, M. (2022). Hochschuldidaktik als Wissenschaftskritik. Der Diskurs zur ›Wissenschaftsdidaktik‹ in der Studienreformdebatte um 1970. In G. Reinmann & R. Rhein (Hrsg.), *Wissenschaftsdidaktik I: Einführung* (S. 109–131). Bielefeld: transcript.
- Stead, D.R. (2005). A review of the one-minute paper. *Active Learning in Higher Education* 6(2), 118–131. doi: 10.1177/1469787405054237.
- Suessenbach, F., Winde, M., Klier, J. & Kirchherr, J. (2021). *Future Skills 2021: 21 Kompetenzen für eine Welt im Wandel. Diskussionspapier 3*. Essen: Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V.
- Tekkaya, A.E., Wilkesmann, U., Terkowsky, C., Pleul, C., Radtke, M. & Maevus, F. (2016). *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab. acatech STUDIE*. acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Terkowsky, C. (2022). *Labordidaktik in the making. Erforschung eines Desiderats der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre*. Dortmund: Technische Universität Dortmund.
- Tremp, P. (2022). Studieren als Modus der Wissensaneignung. In G. Reinmann & R. Rhein (Hrsg.), *Wissenschaftsdidaktik I: Einführung* (S. 181–198). Bielefeld: transcript.
- Von der Leyen, U. (2019). *Press remarks by President von der Leyen on the occasion of the adoption of the European Green Deal Communication*. Abgerufen am 06.12.2021: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_19_6749