

die hochschullehre – Jahrgang 9 – 2023 (9)

Herausgebende des Journals: Svenja Bedenlier, Ivo van den Berk, Jonas Leschke, Peter Salden, Antonia Scholkmann, Angelika Thielsch

Beitrag in der Rubrik Praxisforschung

DOI: 10.3278/HSL2309W

ISSN: 2199-8825 wbv.de/die-hochschullehre



Ingenieurstudium 4.0

Werden künftige Ingenieurinnen und Ingenieure an deutschen Hochschulen adäquat auf die digitalisierte Arbeitswelt vorbereitet?

ANJA GOTTBURGEN, YVETTE E. HOFMANN, JANKA WILLIGE

Zusammenfassung

Angeht den hohen Bedarfs an hochqualifizierten Fachkräften wurden in den vergangenen Jahren in den Ingenieurwissenschaften intensive Anstrengungen unternommen, den Kreis der potenziellen Zielgruppen zu erweitern und die Studienerfolge durch eine verbesserte praxis- und kompetenzbezogene Lehre und Ausbildung zu unterstützen. Mit der COVID-19-Pandemie hat die Digitalisierung der Hochschullehre rasant an Fahrt aufgenommen und es scheint, dass insbesondere Studierende und Lehrende der Ingenieurwissenschaften besser für die Digitalsemester gerüstet waren. Doch lässt sich hieraus ableiten, dass Absolvierende dieser Fächer daher besser vorbereitet sind auf ihre Führungsrolle in der digitalen Arbeitswelt? Dieser Frage, ob bzw. inwiefern sich die aufgrund der zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt veränderten Kompetenzanforderungen auch auf curricularer Ebene in der Ingenieurausbildung niederschlagen, wird in einem explorativen Ansatz nachgegangen und es werden Implikationen für künftige Forschung diskutiert.

Schlüsselwörter: Digitale Transformation; Curriculum 4.0; Data Literacy, Industrie 4.0; Zukunftskompetenzen von Ingenieurinnen und Ingenieuren

Are Future Engineers Being Adequately Prepared for Industry 4.0 at Universities?

A German Perspective

Abstract

In the face of the high demand for highly qualified specialists, intensive efforts have been made in the engineering sciences in recent years to expand the group of potential target groups and to support student success through improved practice- and competence-based teaching and training. With the COVID-19 pandemic, the digitization of university teaching has rapidly gained momentum, and it seems that engineering students and faculty, in particular, were better equipped for the digital semesters. But can it be concluded that these subjects are better prepared for their leadership role in the digital world of work and adequately educating students? Therefore, whether or to what extent the changed competence requirements of the digital working world are also reflected at the curricular level in engineering education is pursued in an explorative analysis, and implications for future research are discussed.

Keywords: Digital transformation; Industry 4.0; future skills; data literacy

1 Ausgangssituation

Die digitale Transformation umfasst den globalen Übergang von Wirtschaft und Gesellschaft durch die konsequente Durchdringung des täglichen Lebens mit Informations- und Kommunikationstechnologien mit einschneidenden Aus- und Wechselwirkungen auf die Art und Weise, wie gelebt, gewirtschaftet und gearbeitet wird (nach Eckert et al. 2018, 8). Mit der COVID-19-Pandemie hat insbesondere die Digitalisierung der Hochschullehre rasant an Fahrt aufgenommen. Welche Herausforderungen und Chancen damit verbunden waren und sind (vgl. Dittler und Kreidl 2021), veranschaulichen Befragungen von Hochschulleitungen (Bosse et al. 2020), Lehrenden (Hofmann et al. 2021; Reinmann et al. 2020; Seyfeli, Elsner und Wannemacher 2020; Winde et al. 2020) und Studierenden (Boros, Kiefel und Schneijderberg 2020; Meißelbach und Bochmann 2020; Traus et al. 2020). Die Anpassung an das erste digitale Sommersemester 2020 in Deutschland gelang dabei in den Fächern unterschiedlich; insbesondere die Studierenden und Lehrenden in Informatik- und Ingenieurwissenschaften schienen besser gerüstet, denn sie schrieben sich selbst durchschnittlich höhere digitale Fähigkeiten zu, die Studierenden waren im Mittel zufriedener mit den digitalen Fähigkeiten ihrer Lehrenden und berichteten von eher niedrigeren Anteilen ausgefallener Lehrveranstaltungen (Lörz, Zimmer und Marczuk 2021).

Wie aber steht es in den Studiengängen der Ingenieurwissenschaften um die im Zuge der angestrebten Industrie 4.0 erforderliche Vermittlung der notwendigen fachlichen und überfachlichen Kompetenzen für die digitalisierte Arbeitswelt? Werden die Studierenden in diesen Studiengängen darauf vorbereitet, die digitale Transformation künftig maßgeblich mitzugestalten und die ihnen zugeschriebene Führungsrolle übernehmen zu können?

Für die veränderten Anforderungen der Hochschulbildung werden unter dem Begriff „Curriculum 4.0“ Empfehlungen mit dem Ziel formuliert (OECD 2020; Europäische Kommission 2020; Kultusministerkonferenz 2019; Michel, Baumgartner und Brei 2018; Stifterverband 2016), Hochschulabsolvierende für die digitale Transformation und die mit dem Wandel verbundenen Kompetenzanforderungen in einem digitalisierten Arbeitsmarkt vorzubereiten (Grünewald 2020). Dabei wird der Ansatz des „Curriculum 4.0“ sehr umfassend verstanden, indem drei verschiedene Ebenen des digitalen Wandels von Studiengängen einbezogen werden (Grünewald 2020, 10), und zwar

1. digitale Lehrkonzepte und -methoden (Hardware- und Software-Tools sowie Lehrmethoden mit Verwendung digitaler Techniken zur veränderten Gestaltung und verbesserten Wissensvermittlung),
2. digitale Lehrinhalte (durch die Digitalisierung veränderte Fachinhalte ebenso wie überfachliche Kompetenzen) und
3. curriculare Veränderungen, also ob und wie die durch die Digitalisierung veränderten Kompetenzanforderungen auf curricularer Ebene berücksichtigt werden.

Wie Lörz et al. (2021) zeigen, scheinen Studierende der Ingenieurwissenschaften mit digitalen Lehrkonzepten und -methoden (Ebene 1) vertrauter zu sein. Doch inwiefern dies auch für die beiden anderen Ebenen zutrifft, soll nachfolgend explorativ auf Basis der empirischen Studie „Ingenieur-ausbildung für die Digitale Transformation“ untersucht werden.¹ Die Ergebnisse liefern Hinweise darauf, inwiefern künftige Ingenieur:innen adäquat auf eine digitalisierte Arbeitswelt vorbereitet werden, indem digitale Fachinhalte/-kompetenzen und überfachliche Kompetenzen vermittelt (Ebene 2) und Veränderungen in den ingenieurwissenschaftlichen Curricula vorgenommen werden (Ebene 3).

¹ Hierbei wurden Hochschullehrende und Studiengangverantwortliche des ingenieur- und informatikwissenschaftlichen Fächerspektrums an deutschen Hochschulen im Auftrag des Vereins Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) befragt (Gottburgsen et al. 2019). Wir danken dem Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) für die Möglichkeit, die Daten für diese sekundäranalytischen Auswertungen nutzen zu können.

2 Diskurs zu ingenieurwissenschaftlichen Curricula

Angesichts des bereits seit einigen Jahren diagnostizierten hohen Bedarfs an hochqualifizierten Fachkräften wurden und werden in den Ingenieurwissenschaften intensive Anstrengungen unternommen, sowohl den Kreis der potenziellen Zielgruppen zu erweitern als auch die Studienerfolge durch eine verbesserte praxis- und kompetenzbezogene Lehre/Ausbildung nachhaltig zu unterstützen und die gerade in den deutschen Ingenieurwissenschaften „alte und mächtige Tradition eines dozentenorientierten Lehrstils“ abzulösen (Terkowsky et al. 2018, 91; Bingham, Southee und Page 2015). Während insbesondere in den USA eine lange Tradition der „Engineering Education“ existiert, wurde in Deutschland der „shift from teaching to learning“² (Barr und Tagg 2000; Wildt 2004; Wildt und Wildt 2011) mit entsprechenden didaktischen Impulsen in die ingenieurwissenschaftliche Hochschulausbildung vor allem durch die Gründung von 4ING (Dachverein der Fakultätentage der Ingenieurwissenschaften und der Informatik an Universitäten in 2006) sowie den im Qualitätspakt Lehre geförderten Einzel- und Verbundprojekten an mehr als 50 deutschen Hochschulen vorangetrieben (vgl. Frerich et al. 2016; Terkowsky et al. 2018).

Im Hinblick auf das „Curriculum 4.0“ lässt sich festhalten, dass in den Informatik- und Ingenieurwissenschaften insbesondere auf der *Ebene 1 – Digitale Lehrkonzepte und -methoden* Erfolge erzielt werden konnten (Grünewald 2020; Haertel et al. 2019; vgl. auch Bond et al. 2018). Belegt wird dies beispielsweise durch die im Qualitätspakt Lehre geförderte Forschung zur Lehre in den Ingenieurwissenschaften im Rahmen des Verbundprojekts „ELLI – Exzellentes Lehren und Lernen in der Ingenieurausbildung“ (RWTH Aachen, Ruhr-Universität Bochum, Technische Universität Dortmund; Förderzeitraum 2011–2020). Einen Schwerpunktbereich bildeten hier „Virtuelle Lernumgebungen“ mit der Etablierung von Remote und Virtual Labs, E-Learning- und Mobile Learning-Lösungen und der begleitenden Forschung dazu. Bereits in der ersten Projektphase wurden hierzu vielfältige Ergebnisse generiert (detailliert Frerich et al. 2016). Gerade im Vergleich zu anderen Fächergruppen an deutschen Hochschulen sind die Ingenieurwissenschaften bezüglich digitaler Lehr-/Lernmethoden gut aufgestellt (vgl. Heidling und Neumer 2021). Ähnliches berichtet auch Bosse (2021), die auf Basis einer qualitativen Befragung einen Vergleich zwischen ingenieurwissenschaftlichen Fachbereichen und Fakultäten mit anderen Fächergruppen zieht.

Das Konzept „Curriculum 4.0“ fokussiert mit seiner *Ebene 2 – Digitale Fachinhalte/-kompetenzen*, inwieweit die bisherigen Fachinhalte/-kompetenzen und überfachlichen Kompetenzen im Kontext der digitalen Transformation zu verändern sind. Mit Schaffung des europäischen Hochschulraumes im Zuge des Bologna-Prozesses ist die kompetenzorientierte Gestaltung von Studiengängen, Lehrveranstaltungen und Prüfungen mit dem Ziel der Beschäftigungsfähigkeit („employability“) von Absolventinnen und Absolventen zur zentralen Anforderung geworden (Kultusministerkonferenz 2017; Schaper 2012; Hericks 2018). Auch mit dem 2017 überarbeiteten Qualifikationsrahmen für Deutsche Hochschulabschlüsse (HQR, Kultusministerkonferenz 2017)³ gilt es, die Kompetenzfelder Fachkompetenz (Wissen und Verstehen), Methodenkompetenz (Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen), Sozialkompetenz (Kommunikation/Kooperation) und Selbstkompetenz (Wissenschaftliches Selbstverständnis und Professionalität) in die Studienprogramme zu implementieren (vgl. Kultusministerkonferenz 2017, 4). Insbesondere in den Ingenieurwissenschaften wird angesichts der Herausforderungen von Industrie 4.0 und digitaler Transformation bereits seit längerem, vor allem auch international diskutiert, welche Kompetenzprofile Ingenieure und Ingenieur-

2 Mit dem „shift from teaching to learning“ ist ein fundamentaler Perspektivenwechsel in Richtung Studierendenzentrierung verbunden (Barr und Tagg 2000). Lehr- und Lernsettings werden konsequent aus der Perspektive der Studierenden unter Einbeziehung ihres Vorwissens, ihrer Lernstile, Erwartungen und Diversitäten entwickelt und gestaltet (Wildt 2004). Fokussiert wird somit sowohl auf den eigentlichen Prozess des Lernens inklusive der dabei zu erwerbenden Kompetenzen (Output- statt Inputorientierung) als auch auf die Förderung des selbstorganisierten und aktiven Lernens. Damit ist ein neues Rollenverständnis verbunden: zum einen seitens der Lehrenden, die künftig vor allem moderieren, unterstützen, beraten und coachen; zum anderen seitens der Studierenden, die eigenverantwortlich ihren selbstständigen und interessengetriebenen Lernprozess respektive Kompetenzerwerb steuern (Wildt und Wildt 2011).

3 Der HQR ist als nationale Umsetzung des Europäischen Qualifikationsrahmens für Lebenslanges Lernen (EQR) zu verstehen und entsprechend mit diesem kompatibel. Der HQR ist Bestandteil des Deutschen Qualifikationsrahmens für Lebenslanges Lernen (DQR).

rinnen für die digitale Transformation mitbringen sollten und wie diese curricular umzusetzen sind (vgl. Crawley et al. 2014; Jeganathan et al. 2018; King et al. 2021; Ramirez-Mendoza et al. 2018; van den Beemt et al. 2020; Violante und Vezzetti 2017; Winberg et al. 2020; für die deutschen Ingenieurwissenschaften: Kreulich et al. 2016; Heidling et al. 2019; Heidling und Neumer 2021; Morace et al. 2017).

Beteiligt an der Diskussion zu den für die digitale Transformation erforderlichen Kompetenzen sind unterschiedliche Stakeholder. Dabei handelt es sich neben Hochschulen bzw. Hochschulzusammenschlüssen (z. B. UAS7-Hochschulen und deren Aussagen hinsichtlich der zu erfüllenden Akkreditierungskriterien für Studienprogramme) auch um die in den Ingenieurwissenschaften aktiven Fakultätentage und deren Zusammenschluss in 4ING, um Berufsverbände wie beispielsweise den Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und den Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) oder auch den Stifterverband für die deutsche Wissenschaft (Stifterverband 2016; Meyer-Guckel et al. 2019 zu den „future skills“ aus Sicht von Unternehmen).

Im Kontext des oben erwähnten ELLI-Projekts wird in einer Reihe von Beiträgen diskutiert, inwiefern neben ingenieurwissenschaftlichen Fachinhalten/-kompetenzen auch sogenannte berufliche Kompetenzen („professional skills“) wie beispielsweise Kreativität, Interdisziplinarität, Forschungsorientierung, unternehmerisches Denken, problemorientiertes Lernen oder auch Kompetenz in Interkulturalität und Diversität notwendige Voraussetzung dafür sind, dass Absolventinnen und Absolventen adäquat auf ihre künftigen Tätigkeiten in der Industrie 4.0 vorbereitet sind (Frerich et al. 2016, Kap. 4 Professional Competency). In ihrem Positionspapier formulieren auch die UAS7-Hochschulen relevante professionelle (außerfachliche) Kompetenzen für den digitalisierten Arbeitsmarkt. Kreulich et al. (2016) veranschaulichen als über-/außerfachliche bzw. berufliche Kompetenzen unter dem Oberbegriff „Methodenkompetenz“ die Herausforderungen der Digitalisierung für die Problemlösekompetenz, das Entscheidungsvermögen, die Analysefähigkeit und die Medienkompetenz. Zur „Selbstkompetenz“ gehören Aspekte der (Selbst-)Lernkompetenz, ethisches Verhalten und unternehmerische Kompetenz. „Sozialkompetenz“ umfasst hingegen Kommunikationskompetenz, Kooperations- und Konfliktkompetenz sowie Führungskompetenz. Die genannten Kompetenzen entsprechen dabei weitgehend den Akkreditierungskriterien verschiedener internationaler Akkreditierungsagenturen. Exemplarisch sind hier zu nennen die Akkreditierungskriterien des US-amerikanischen Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET 2020) oder des Europäischen Network for Engineering Accreditation (ENAE 2017). Letztere bilden den Standard, der auch für die Akkreditierung ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge an deutschen Hochschulen gilt und wie er auch durch die wichtigste Akkreditierungsagentur in diesem Feld, die Accreditation Agency for Degree Programs in Engineering, Computer Science, Natural Science, Mathematic and Teaching Qualification (ASIIN), vertreten wird.

Welcher Mix aus klassischen Qualifikationen und neuen fachlichen respektive beruflichen Kompetenzen erforderlich ist, damit Beschäftigte und Unternehmen die Chancen der digitalen Transformation nutzen und Hochschulen entsprechend ausbilden können, damit setzt sich auch der deutschsprachige „Kompetenzdiskurs“ auseinander. Erste Antworten hierzu liefert die im Auftrag des VDMA durchgeführte empirische Befragung von Unternehmen und Hochschulen von Heidling et al. (2019; Heidling und Neumer 2021), in deren Rahmen ein Soll-Kompetenzprofil für die Industrie 4.0 aus Sicht von Unternehmen entwickelt wird. Demnach bildet die Beherrschung der fachlichen Kerndisziplin nach wie vor das Fundament, auf dem dann spezifischeres Wissen aufbauen sollte. Als notwendige, neue Erweiterungen des fachlichen Kerns wird unter anderem Grundlagenwissen in den Bereichen Informatik und Data Science genannt. Und auch die befragten Expertinnen und Experten der Hochschulen sehen es als vornehmliche Aufgabe in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an, die Entwicklungen in Industrie 4.0 und Digitalisierung mit neuen inhaltlichen Orientierungen der fachspezifischen Curricula zu verbinden (Heidling und Neumer 2021, 101). Präferiert wird dabei vor allem eine modulare Erweiterung der jeweiligen Grundlagendisziplinen. Ähnlich wie von den befragten Unternehmen werden als neue digitale, interdisziplinäre Fachkompetenzen solche aus den Bereichen Informatik und Data Science benannt. Angestrebt wird

eine stärker interdisziplinäre Studienganggestaltung, wobei in diesem Zusammenhang von intensiven Diskussionsprozessen in den jeweiligen ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten bei der Erarbeitung strukturierter Entscheidungsprozesse zum Verhältnis „Integration neuer Inhalte versus Streichung alter Inhalte“ berichtet wird (Heidling und Neumer 2021, 102).

Zur Frage, ob bzw. inwiefern sich die aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung der Arbeitswelt veränderten Kompetenzanforderungen mittlerweile auch auf *Ebene 3 – Curriculare Veränderungen in der Ingenieurausbildung* – niederschlagen, liegen jedoch wenige empirische Daten vor. Zwar wird die Diskussion zur Gestaltung von „Curricula 4.0“ ebenfalls geführt und Akteure im Feld befassen sich zunehmend mit grundlegenden curricularen Reformprozessen und veränderten Kompetenzanforderungen durch die digitale Transformation (vgl. Grünewald 2020, 21 f.). Doch die bisherige Datenlage lässt kaum einen Schluss zu, ob bzw. in welchem Umfang die notwendigen curricularen Anpassungen tatsächlich stattgefunden haben und inwiefern hierbei thematisiert wird, dass für ein studierendenzentriertes Lehren eine stärkere Agilität der Curricula erforderlich ist. Auch ist bisher nur ansatzweise bekannt, inwiefern diese Anpassungen ausreichen, um die Studierenden auf die neuen Fachkräfteprofile seitens der Stakeholder aus der Industrie vorzubereiten (Stichwort: Industrie 4.0).

Zusammenfassend lässt sich daher festhalten, dass auf den ersten beiden Ebenen des digitalen Wandels von Studiengängen in den vergangenen Jahren vielfältige Veränderungen zu verzeichnen sind. Allerdings scheint sich in den Curricula der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung die Digitalisierung der Arbeitswelt samt beschleunigter Marktdynamik und den sich daraus ergebenden Kompetenzanforderungen an künftige Ingenieurinnen und Ingenieure (vgl. auch Kirchherr et al. 2021) nur ansatzweise widerzuspiegeln. Inwieweit hier tatsächlich ein Desiderat vorliegt, lässt sich bis dato nicht zufriedenstellend beantworten. Diese Lücke will der vorliegende Beitrag anfangen zu schließen, indem explorativ auf Basis von Befragungsergebnissen von Studiengangverantwortlichen untersucht wird, welche Rolle Zukunfts Kompetenzen für die Industrie 4.0 in der Ingenieurausbildung an deutschen Hochschulen spielen und welche Implikationen sich hieraus für künftige Forschungsschwerpunkte ergeben.

3 Charakteristika der explorativen Analyse

Die zentrale Fragestellung der explorativen Studie war es, erste Ergebnisse darüber zu liefern, welche Wichtigkeit Studiengangverantwortliche unterschiedlicher Studienbereiche denjenigen Kompetenzen beimessen, die insbesondere für den digitalen Arbeitsmarkt relevant sind.⁴

Diese werden im Folgenden als nicht-traditionelle Kompetenzen bezeichnet, um diese deutlich von den klassischen bzw. traditionellen Fach- und Berufskompetenzen abzugrenzen (vgl. Abbildung 1). Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die diesem Beitrag zugrunde liegende Systematisierung der ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzen für die Industrie 4.0.

Nicht-traditionelle Fach- und Berufskompetenzen beschreiben jene Kompetenzen, die in einem Querschnittsbereich zu den klassischen ingenieurwissenschaftlichen Fachinhalten hinzutreten und die im Kontext der digitalen Transformation und Industrie 4.0 als hochrelevant eingeschätzt werden, wie zum Beispiel Data Literacy (Schüller 2020; Heidrich, Bauer und Krupka 2018), unternehmerische Kompetenzen, ethisches Verhalten, interkulturelle oder Kommunikations- und Kollaborationskompetenzen, aber auch weitergehende Aspekte wie das Verständnis von neuen, digital induzierten Geschäftsmodellen, Datensicherheit und -schutz sowie gesellschaftlichen Implikationen (z. B. Ethik, Technikfolgenabschätzung; Gottburgsen et al. 2019, 15 f.). Für den vorliegenden Beitrag standen dabei die beiden Fragen nach der generellen Einschätzung der Bedeutung überfachlicher Kompetenzen und dem Stellenwert digitaler Fachinhalte im Studiengang im Mittelpunkt der Analyse.

4 Die Fragestellungen waren Teil einer größer angelegten Studie (siehe unten sowie Gottburgsen et al. 2019).



Abbildung 1: Systematisierung ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen für die Industrie 4.0 (eigene Darstellung)

Zur Erfassung der *generellen Einschätzung überfachlicher Kompetenzen* für eine digitalisierte Arbeitswelt wurden die Befragten gebeten, auf einer 4-stufigen Skala (1 = wichtig, 2 = eher wichtig, 3 = eher unwichtig, 4 = unwichtig sowie mit den zusätzlichen Antwortoptionen „weiß nicht“, „keine Angabe“ als Antwortoption) anzugeben, wie wichtig diese im jeweiligen Studiengang sind. Die Liste der genannten überfachlichen Kompetenzen reichte dabei von eher klassisch zu nennenden Kompetenzen (z. B. Problemlösekompetenz oder Entscheidungsvermögen) bis hin zu den für die digitale Transformation als außerordentlich relevant eingeschätzten Kompetenzen wie Data Literacy, unternehmerische Kompetenz (z. B. Entrepreneurship), ethisches Verhalten, interkulturelle Zusammenarbeit oder Technikfolgenabschätzung. Bei der Beantwortung der Frage, welcher Stellenwert digitalen Fachinhalten im Studiengang zukommt, kam eine vierstufige Antwortskala zum Einsatz, mit 1 = hoher Stellenwert, 2 = eher hoher, 3 = eher niedriger bzw. 4 = niedriger Stellenwert, mit den zusätzlichen Optionen „weiß nicht“ und „keine Angabe“. In der Analyse wurden die Antwortmöglichkeiten 1 und 2 zusammengefasst zu „(eher) hoch“, die Antwortmöglichkeiten 3 und 4 zu „(eher) niedrig“.

Die hier vorgestellten Befunde wurden als Teil einer thematisch breiter angelegten Auftragsstudie im Zeitraum ab Mitte Dezember 2018 bis Anfang Februar 2019 in einer Online-Befragung des Deutschen Zentrums für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW) unter dem Titel „Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation“ für den Verein Deutscher Ingenieure (VDI) erhoben (siehe Gottburgsen et al. 2019). Hierfür wurden an 215 staatlichen Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften mit einem ingenieurwissenschaftlichen Studienangebot rund 1.000 Studiengangkoordinator:innen kontaktiert. Nach Abschluss der Feldphase lagen Rückmeldungen von 163 Studiengangkoordinator:innen unterschiedlicher ingenieurwissenschaftlicher Hintergründe von 154 Hochschulen vor.⁵ Insgesamt entspricht dies einem Rücklauf von 16,3%. Dieser ist mit Blick auf das delegierte Kontaktverfahren⁶ und das Online-Setting als gut einzuschätzen.⁷

⁵ Seit dem Wintersemester 2015/2016 wird die „Informatik“ als der Fächergruppe „Ingenieurwissenschaften“ zugehörig geführt, dies wird im vorliegenden Beitrag entsprechend operationalisiert. Um im Folgenden den „Studienbereich Informatik“ vom „Kompetenzbereich Informatik“ klar abgrenzen zu können, wird daher immer dann von Informatikwesen gesprochen, wenn der Studiengang gemeint ist.

⁶ Da es kein offizielles Adressverzeichnis von Studiengangkoordinator:innen gibt, wurden an den genannten Hochschulen die Prorektor:innen und Dekan:innen angeschrieben und darum gebeten, die Einladung für die Onlinebefragung an die jeweiligen Ansprechpartner:innen in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen weiterzuleiten.

⁷ In Online-Settings liegen die Rücklaufquoten i. d. R. bis zu elf Prozentpunkte unter denen von schriftlichen Umfragen (siehe Yan und Fan 2010).

4 Ergebnisse

Die Datenanalysen zeigen, dass die digitale Transformation als Thema an den deutschen Hochschulen angekommen ist: Knapp drei Viertel der Studiengangverantwortlichen, deren Rückmeldungen ausgewertet wurden, geben an, dass an ihrer Hochschule die digitale Transformation ein strategisches Ziel ist.

Auch weist die Mehrzahl der Studiengangverantwortlichen über alle Fächergruppen hinweg der Vermittlung von digitalen Kompetenzen für eine digitalisierte Arbeitswelt einen (eher) hohen Stellenwert zu (74%). Allerdings finden sich bei dieser Frage deutliche Unterschiede in den analysierten Fächergruppen des ingenieurwissenschaftlichen Spektrums. Die Studiengangverantwortlichen im Informatikwesen schreiben zu 96% den digitalen Fachkompetenzen einen (eher) hohen Stellenwert zu und auch in der Elektrotechnik sowie dem Verkehrs- und Bauwesen wird diesen eine vergleichsweise große Bedeutung beigemessen (80% bzw. 78%). In den Studiengängen des Maschinenbaus sehen hingegen lediglich gut die Hälfte der Befragten digitale Fachkompetenzen als maßgeblich an (54%).

Auf der einen Seite wird also der Stellenwert der nicht-traditionellen Fachkompetenzen als bedeutend anerkannt – wenn auch mit Unterschieden in den betrachteten Fächern. Auf der anderen Seite spiegelt sich dies mit Blick auf die nicht-traditionellen Berufskompetenzen jedoch nur ansatzweise auf Ebene der Curricula wider (vgl. Abbildung 2): Hier zeigt sich, dass die Studiengangverantwortlichen ingenieurwissenschaftlicher Fächer nach wie vor die als eher klassisch zu bezeichnenden Berufskompetenzen (z. B. Problemlösekompetenz) priorisieren, während die für die Industrie 4.0 als hochrelevant erachteten Kompetenzen (z. B. Data Literacy) teilweise von weniger als zwei Dritteln als (eher) wichtig bewertet werden. Die Bedeutsamkeit unternehmerischer Kompetenzen wird sogar nur von knapp der Hälfte der Studiengangverantwortlichen gesehen. Auch wenn seitens der Akkreditierungsagenturen die Bedeutung von nicht-traditionellen Berufskompetenzen seit Jahren betont wird, zeigt sich also, dass die Studiengangverantwortlichen diesen Kompetenzen insgesamt vergleichsweise geringe Beachtung schenken.

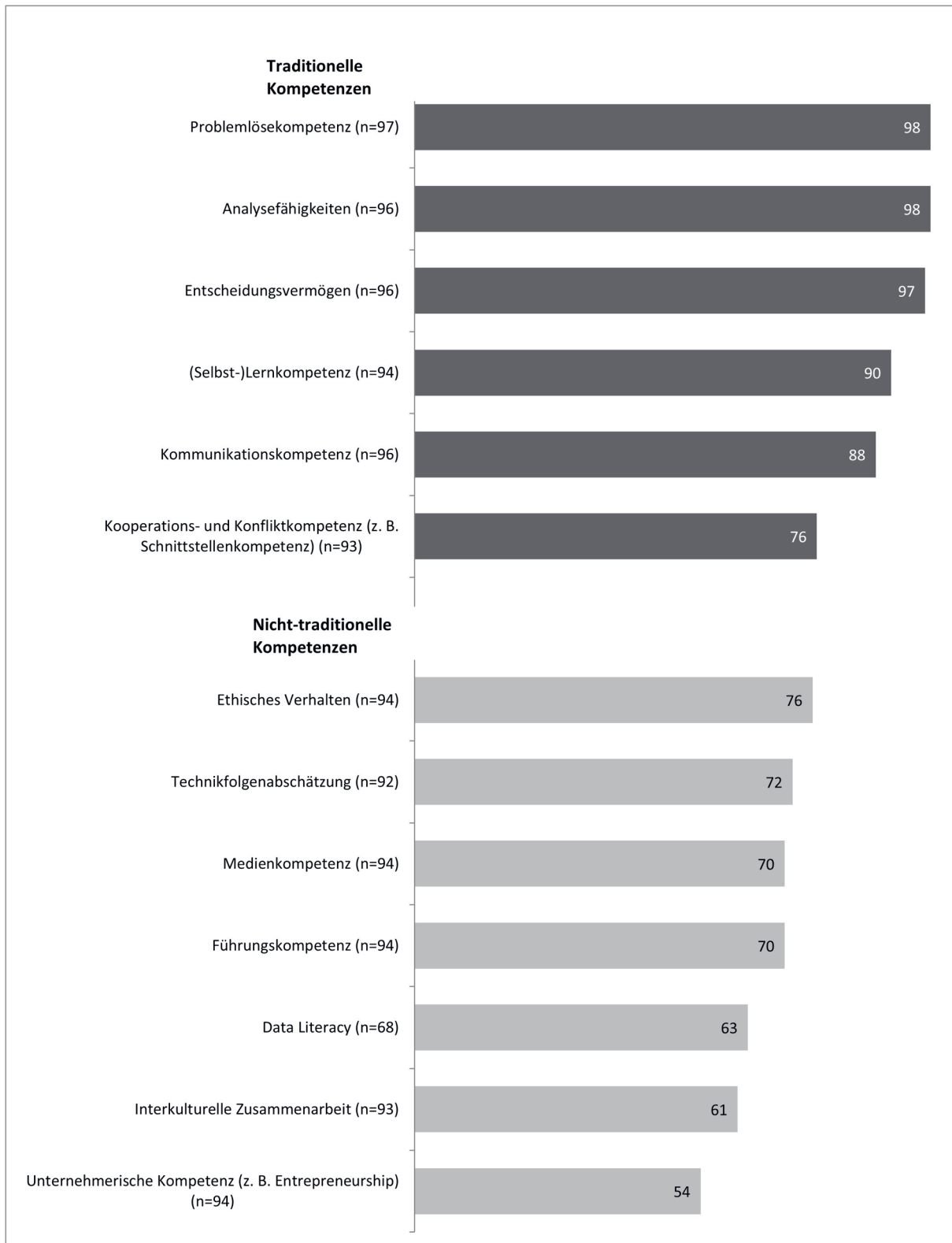


Abbildung 2: Einschätzungen der Wichtigkeit überfachlicher Kompetenzen im Überblick (Datenquelle: VDI-Studie [Gottburgsen et al. 2019])

Anmerkungen: Mehrfachantworten, Angaben für den zusammengefassten Wert „(eher) wichtig“, Angaben in %

Vertiefend lohnt sich daher der Blick auf die fächerspezifische Einschätzung, denn dass im Informatikwesen die unmittelbar mit der digitalen Transformation verknüpften, nicht-traditionellen Berufskompetenzen eine weitaus wichtigere Rolle spielen als in den übrigen Fächergruppen, bestätigen die Ergebnisse (vgl. Abbildung 3).

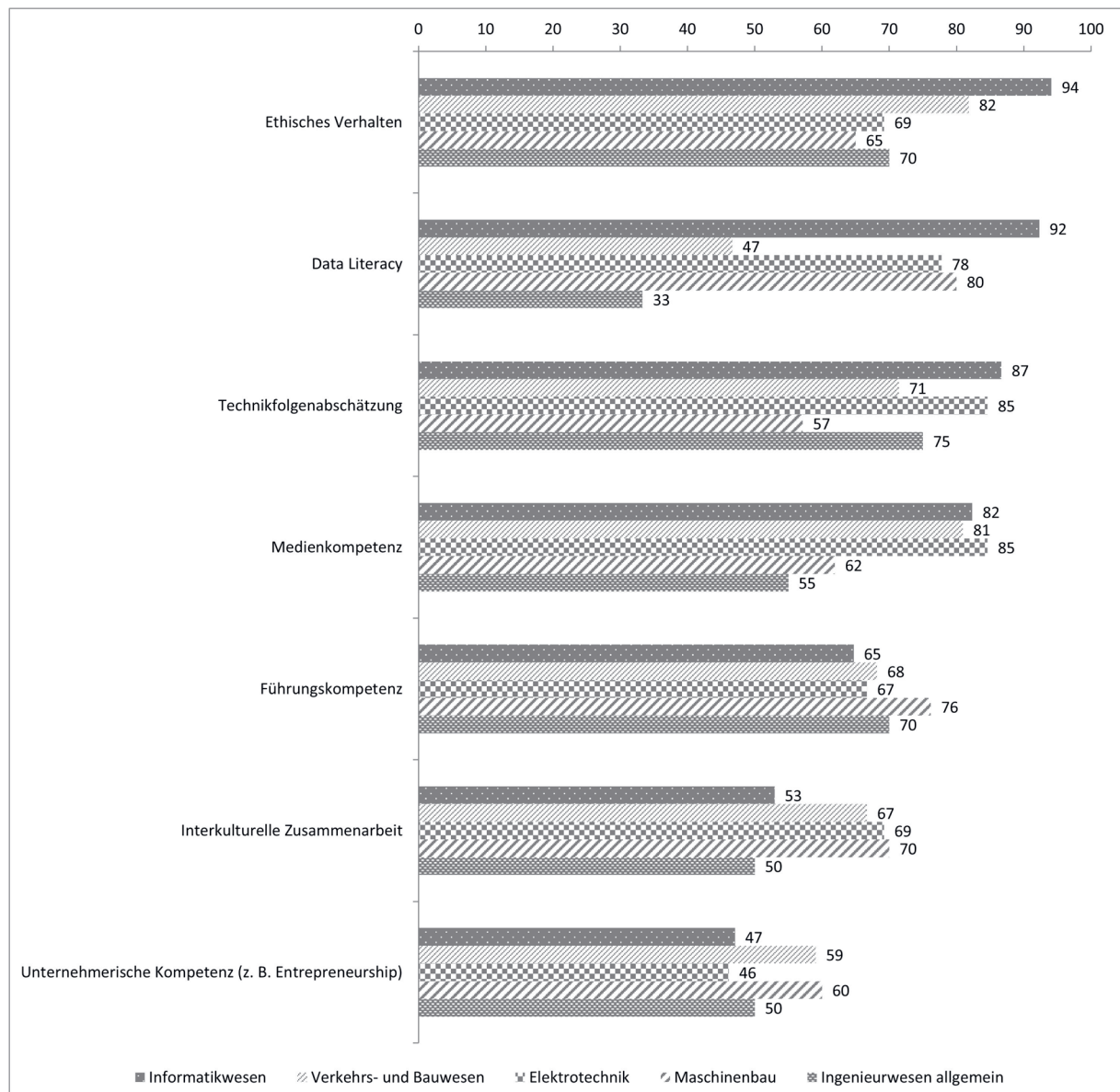


Abbildung 3: Einschätzungen der Wichtigkeit nicht-traditioneller, überfachlicher Kompetenzen nach Fächergruppen (Datenquelle: VDI-Studie [Gottburgsen et al. 2019])

Anmerkung: Mehrfachantworten, Angaben für den zusammengefassten Wert „(eher) wichtig“, Angaben in %. (Informatikwesen n = 17, Verkehrs- und Bauwesen n = 22, Elektrotechnik n = 13, Maschinenbau n = 23, Ingenieurwesen allgemein n = 20)

Insgesamt wird *Ethisches Verhalten* mit Abstand am häufigsten von den Studiengangverantwortlichen des Informatikwesens als (eher) wichtig benannt (94%), gefolgt vom Verkehrs- und Bauwesen, dem Ingenieurwesen, der Elektrotechnik und dem Maschinenbau. Weiterhin sehr hohe Bedeutung kommt, insbesondere im Informatikwesen, der für die digitale Transformation hochrelevanten *Data Literacy* zu (92%). Schlusslicht bildet hier das Ingenieurwesen; nur 33% der Studiengangverantwortlichen schätzen diese als (eher) wichtig ein. *Technikfolgenabschätzung* ist ebenfalls eine Kompetenz, die von der Majorität der Studiengangverantwortlichen als (eher) wichtig angegeben wird – auch hier liegt das Informatikwesen mit 87% in seiner Einschätzung höher als die restlichen Fächergruppen, dicht gefolgt von der Elektrotechnik, wo 85% der Befragten diese Kompetenz als (eher) wichtig ansehen. Fast gleichauf wird die Bedeutsamkeit der *Medienkompetenz* in den drei Fächergruppen Elektrotechnik (85%), Informatikwesen (82%) sowie Verkehrs- und Bauwesen (81%) eingeschätzt, als weniger wichtig dagegen im Maschinenbau (62%) und im Ingenieurwesen (55%).

Ein etwas anderes Bild zeichnet sich mit Blick auf die *Führungskompetenz*: Diese Kompetenz wird mit leichtem Vorsprung im Maschinenbau (76 %) als (eher) wichtig angesehen, während die Einschätzung dieser Kompetenz in allen anderen untersuchten Fächergruppen etwas geringer ausfällt (Ingenieurwesen 70 %, Verkehrs- und Bauwesen 68 %, Elektrotechnik 67 %, Informatikwesen 65 %). Ähnliches ist auch hinsichtlich der Kompetenz zu *interkultureller Zusammenarbeit* zu beobachten: Dieser messen am häufigsten Studiengangverantwortliche des Maschinenbaus (70 %), der Elektrotechnik und des Verkehrs- und Bauwesens eine recht hohe Wichtigkeit bei, während dies im Informatikwesen (53 %) und im Ingenieurwesen (50 %) deutlich seltener der Fall ist.

Am wenigsten Bedeutung zugesprochen wird über alle Fächergruppen hinweg der *unternehmerischen Kompetenz*. So sehen weniger als zwei Drittel der Studiengangverantwortlichen des Maschinenbaus (60 %) und des Verkehrs- und Bauwesens (59 %) diese Kompetenz als (eher) wichtig an; die Zustimmungswerte der Studiengangverantwortlichen des Ingenieur- sowie Informatikwesens und der Elektrotechnik liegen sogar unter 50 %.

Die explorativen Ergebnisse zeigen, dass es in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an deutschen Hochschulen insbesondere bei der Vermittlung von *nicht-traditionellen* Berufskompetenzen im Vergleich zu traditionellen zu einer Schieflage kommt. Zum einen scheinen sich laut Einschätzung der befragten Studiengangverantwortlichen traditionelle Kompetenzen häufiger in den Curricula wiederzufinden, während dies auf die nicht-traditionellen durchschnittlich eher selten zutrifft. Zum anderen lässt sich feststellen, dass es offensichtlich zu großen Fächerunterschieden kommt. So spricht das Informatikwesen nicht-traditionellen Kompetenzen im Großen und Ganzen deutlich mehr Bedeutung zu als andere Fächergruppen.

5 Implikationen für Hochschulen

Unsere explorativen Ergebnisse weisen darauf hin, dass der Stellenwert der nicht-traditionellen ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzen von Studiengangverantwortlichen insgesamt zwar als hoch eingeschätzt wird. Dennoch findet bis dato kaum eine Verankerung von fach- und themenspezifisch nicht-traditionellen Kompetenzen statt.⁸ Dabei sind z. T. erhebliche Fächerunterschiede zu beobachten: So zeigt sich, dass die Studiengangverantwortlichen im Informatikwesen mehrheitlich sehr hohe Anteile bereits implementierter digitaler Fachinhalte/-kompetenzen berichten, die Einschätzungen in den anderen Fächergruppen jedoch deutlich zurückliegen.

Insgesamt kann daher festgehalten werden, dass aktuell in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an deutschen Hochschulen zwar die Bedeutsamkeit nicht-traditioneller Kompetenzen (sowohl bei den Fach- als auch Berufskompetenzen) erkannt wird. Dies scheint sich jedoch bisher nicht in ausreichendem Maße auf die curriculare Umsetzung und damit in der Hochschullehre niederzuschlagen.

Die gewonnenen Ergebnisse müssen allerdings vor dem Hintergrund interpretiert werden, dass es sich um eine explorative Analyse mit den üblichen Limitationen handelt (z. B. nicht-repräsentative Stichprobe⁹). Dieses Vorgehen war erforderlich, da es sich um ein noch wenig beforschtes Untersuchungsfeld handelt und insofern eine theoriegeleitete und hypothesentestende Vorgehensweise nicht sinnvoll erschien. Inwiefern die berichteten Einschätzungen von Studiengangverantwortlichen daher generalisierbar sind, sollten weiterführende Untersuchungen zum Stand der tatsächlichen curricularen Ausgestaltung der digitalen Transformation in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen zeigen. In diesem Zusammenhang könnten ergänzende Experteninterviews die explorativ gewonnenen Ergebnisse validieren und deren Aussagekraft weiter erhöhen.

8 Zudem berichten Gottburgsen et al. (2019), dass sich diese dann im Wesentlichen auf das Wahlprogramm der Studiengänge konzentrieren und nicht Bestandteil der Pflichtprogramme sind.

9 Zwar wurden alle Vize-Präsident:innen und Dekan:innen deutscher Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften mit einem Studienangebot in den Ingenieurwissenschaften angeschrieben, die Weiterleitung der Einladung zur Online-Befragung lag jedoch bei den angeschriebenen Personengruppen (delegiertes Verfahren). Entsprechend kann die resultierende Stichprobe nicht als repräsentativ gelten.

Eine vertiefende Studie hierzu ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil die explorativen Ergebnisse zeigen, dass die Anpassung der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an die Erfordernisse/Anforderungen der Industrie 4.0 bisher nur in Teilen gelungen ist. Insbesondere in den Studiengängen des Maschinenbaus und dem allgemeinen Ingenieurwesen besteht im Vergleich zur Fächergruppe Informatikwesen nach wie vor großer Handlungsbedarf, um die künftigen Ingenieurinnen und Ingenieure adäquat und mit einem zeitgemäßen Curriculum auf die ihnen zugeschriebene Führungsrolle im Kontext der digitalen Transformation der Arbeitswelt vorzubereiten. Gerade vor diesem Hintergrund ist die konsequente Weiterentwicklung der Kompetenzprofile in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen zentral – und dies sowohl hinsichtlich der vermittelten digitalen Fachkompetenzen als auch bezüglich der überfachlichen Kompetenzen.

Zukünftige Forschungen sollten daher zwei Ebenen in den Blick nehmen: Auf *Ebene der Studiengänge* sollten die für die Industrie 4.0 erforderlichen Kompetenzprofile im Hinblick auf die vermittelten Fach- und Berufskompetenzen angehender Ingenieurinnen und Ingenieure im Zentrum stehen, um den Status der digitalen Transformation der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung sichtbar zu machen. Aufschlussreich für die Einschätzung des Standes der curricularen Ausgestaltung wäre insbesondere, welchen Stellenwert diese im Studiengang haben und die Art ihrer curricularen Einbindung, also in welchem Umfang sie bereits vertreten und wie verbindlich diese z. B. im Pflicht- oder im Wahlprogramm der Studiengänge eingebunden sind. Darüber hinaus sollte beleuchtet werden, welche thematischen Schwerpunkte angeboten werden.

Für die *Ebene der Hochschulen* gilt es, den Stand der digitalen Transformation auf Leitungsebene zu berücksichtigen: Grundsätzlich sind Studiengänge in den Gesamtkontext ihrer jeweiligen Hochschule und Fakultät und somit auch in deren Strategien, Organisationsformen und Ressourcenbereitstellung für die Implementierung digitaler Transformationsprozesse eingebettet. Dies lässt zum einen vermuten, dass sich in der Ausgestaltung der Studiengänge signifikant niederschlägt, ob bzw. inwiefern Hochschulen respektive Fakultäten eine digitale Transformation ihrer Hochschule als strategisches Ziel formuliert haben (z. B. in Grundsatzpapieren). Zum anderen könnte für den Status der digitalen Transformation der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung eine Rolle spielen, ob Digitalisierungsinitiativen hochschulweit koordiniert und die erforderlichen Ressourcen bereitgestellt werden (d. h. Personal, technische und räumliche Ausstattung, Weiterbildung). Somit kann das in Abbildung 4 veranschaulichte Erklärungsmodell die Basis für eine vertiefende Erforschung der Zusammenhänge zwischen Hochschul- und Studiengangebene darstellen.

Alles in allem scheint nicht nur der Einbezug etwaiger Interdependenzen zwischen den beiden Ebenen für eine tiefergehende Analyse notwendig. Vielmehr sollte insbesondere vor dem Hintergrund, dass gerade Hochschulen sich in der Vergangenheit mit der digitalen Transformation nicht immer leichttaten (Bond et al. 2018; Deimann 2021; Wissenschaftsrat 2022), der Fortschritt der Integration zukunftsfähiger Kompetenzen für die Industrie 4.0 sichtbar gemacht werden.

In diesem Zusammenhang ist zu beobachten, dass an den Hochschulen bislang häufig lediglich einzelne, hochmotivierte Akteure und Akteurinnen die digitale Transformation der Studiengänge vorantreiben sowie deren Umsetzung beispielsweise in Kooperation mit Unternehmen fördern (vgl. Gottburgsen et al. 2019). Um jedoch grundsätzlich eine adäquate und agile Weiterentwicklung der Curricula voranzutreiben, ist es erforderlich, dass sich Hochschulen als lernende Organisationen verstehen. Die Bildung von hochschulweiten Netzwerken könnte hier dem Zeit- und Ressourcenmangel als dem am häufigsten identifizierten Hemmnis bei der Umsetzung der digitalen Transformation respektive der „Modernisierung“ des Curriculums entgegenwirken (vgl. Hofmann et al. 2021). Auch können Kooperationen mit Unternehmen als Praxispartner und als Vertreter:innen der Anforderungen von Industrie 4.0, aber auch die Einbindung der Studierenden Impulse für die notwendigen Anpassungen in Richtung digitaler Transformation liefern. Gerade in den Ingenieurwissenschaften scheint es sich dabei anzubieten, über die verschiedenen ingenieurwissenschaftlichen Fachdisziplinen hinweg gemeinsame Kerninhalte zu identifizieren und interdisziplinäre Formate zu etablieren (für einen umfassenden Überblick über mögliche Handlungsfelder auf Hochschul-, Personal-, Studiengangebene etc. siehe Gottburgsen et al. 2019, 18–33).

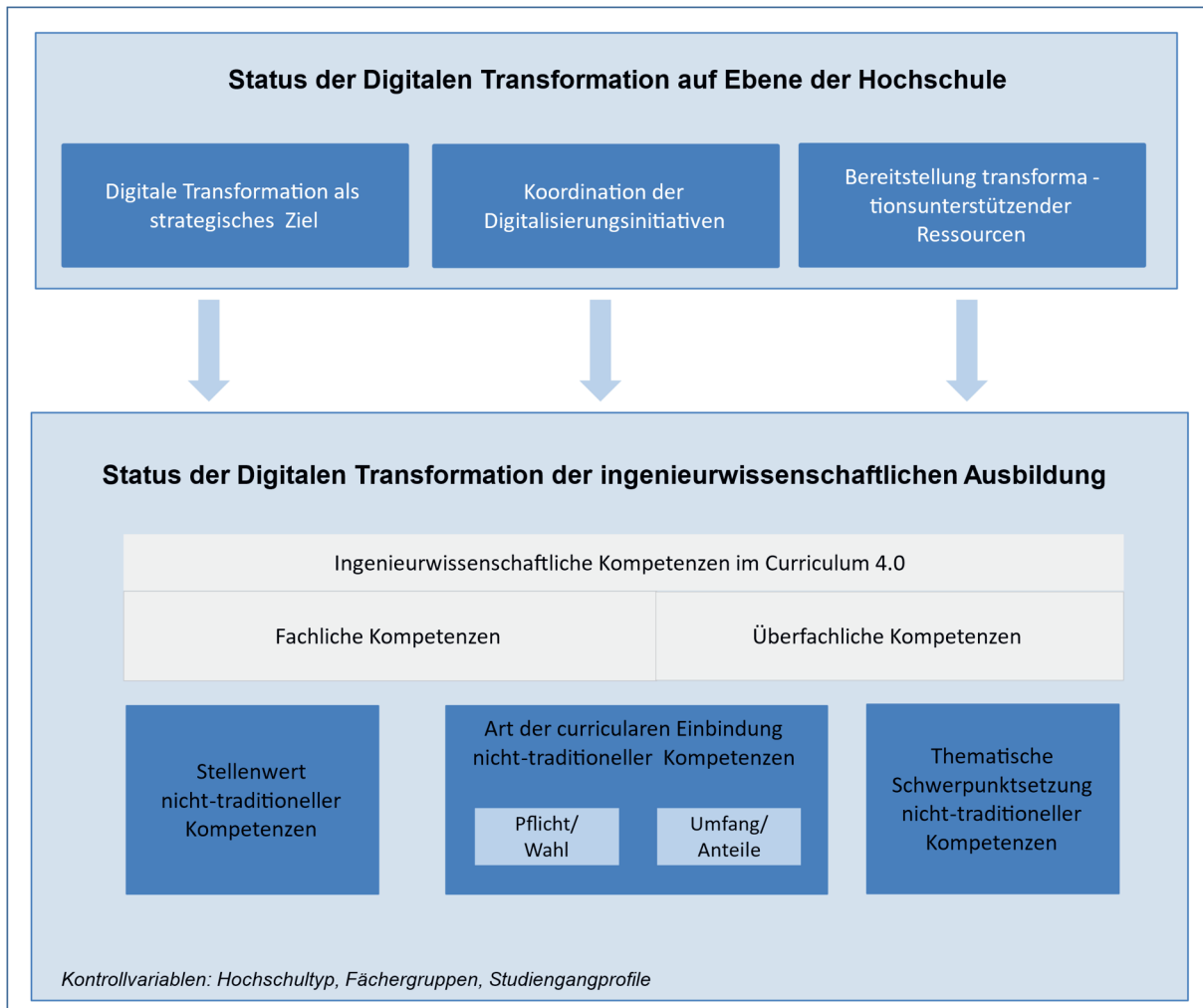


Abbildung 4: Erklärungsmodell für evidenzbasierte zukünftige Forschung zur Bedeutsamkeit nicht-traditioneller Kompetenzen (Future Skills) in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung (eigene Darstellung)

Die Curricula-Transparenz, die sich durch eine vertiefende empirische Analyse einstellen würde, ermöglichte es den Entscheidungsträgern in Hochschulen und Politik zu erkennen, an welchen Stellen der Transformationsprozess ggf. zusätzlich unterstützt werden sollte. Hierfür bietet sich ein längsschnittliches Design an, das zusätzlich durch eine sekundäranalytische Auswertung von Strategiepapieren, Zielvereinbarungen, Studien- und Prüfungsordnungen, etc. ergänzt bzw. begleitet sein sollte. Als Kontrollgrößen sollten bei der Analyse neben Hochschultyp und Fächerangebot auch die Studiengangprofile einbezogen werden. Zur Ableitung praxistauglicher Handlungsempfehlungen wäre es darüber hinaus wünschenswert, die gewonnenen Ergebnisse an international erfolgreichen Best Practices zu spiegeln, um Besonderheiten der Ausbildung in den verschiedenen Hochschulsystemen besser herausstellen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die digitale Transformation stellt die Ingenieurwissenschaften an deutschen Hochschulen vor große Herausforderungen, insbesondere auch hinsichtlich der anzupassenden Kompetenzprofile der angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure für den digitalisierten Arbeitsmarkt und einer größeren Agilität der Curricula, um New Learning-Bestrebungen respektive lernerzentrierte Lehre zu ermöglichen. Das Ingenieurstudium 4.0 heute und in seiner weiteren Ausgestaltung sollte daher Gegenstand künftiger Forschung sein, wofür der vorliegende Beitrag einen Orientierungsrahmen bietet.

In dieselbe Richtung weisen jüngste Initiativen zu New Learning und zum Zukunftsbild der Hochschullehre (Bandtel et al. 2022; Hagener Manifest 2021; Hochschulforum Digitalisierung 2022). Danach steuern Lernende ihren Wissens- und Kompetenzerwerb eigenverantwortlich in par-

tizipativ gestalteten Lernprozessen im Rahmen eines agil organisierten New Learning. Hierfür müssen sich die Hochschulen als lernende Organisationen begreifen, die agil eine partizipative und lebendige Hochschulkultur erschaffen, in der Studierende für die Arbeitswelt der Gegenwart und Zukunft ausgebildet werden.

Literatur

- ABET Accreditation Board for Engineering and Technology (2020). *Criteria for accrediting engineering programs, 2021–2022*. <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2021/01/T001-21-22-ETAC-Criteria-1.pdf>
- Bandtel, M. et al. (2022). *Zukunftsbild Hochschullehre 2025*. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/images/DisPapier%2018_Zukunftsbild%20Hochschullehre%202025_0.png
- Barr, R. B. & Tagg, J. (2000). From teaching to learning. In D. DeZure (Hg.), *Learning from change: Landmarks in teaching and learning in higher education from change magazine, 1969–1999* (S. 198–200). Stylus Publishing.
- Bingham, G., Southee, D. & Page, T. (2015). Meeting the expectation of industry: An integrated approach for the teaching of mechanics and electronics to design students. *European Journal of Engineering Education*, 40(4), 410–431. <https://doi.org/10.1080/03043797.2014.1001813>
- Bond, M., Marin, V., Dolch, C., Bedenlier, S. & Zawacki-Richter, O. (2018). Digital transformation in German higher education: Student and teacher perceptions and usage of digital media. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15(1), 15–48. <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0130-1>
- Boros, N., Kiefel, K. & Schneijderberg, K. (2020). *Kurzbefragung der Studierenden: Gesamtbericht*. <https://www.qmlehre.uni-freiburg.de/content-1/pdf-dokumente/berichte-befragungen/stu2020/stu2020-gesamtbericht>
- Bosse, E. (2021). *Fachbereiche und Fakultäten in der Corona-Pandemie: Erfahrungen und Erwartungen an die Zukunft*. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_57_Fachbereiche_digitale_Lehre_Corona.pdf
- Bosse, E., Lübcke, M., Book, A. & Würmseer, G. (2020). *Corona@Hochschule: Befragung von Hochschulleitungen zur (digitalen) Lehre*. <https://medien.his-he.de/publikationen/detail/coronahochschule>
- Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. & Edström, K. (Hg.) (2014). *Rethinking engineering education: The CDIO approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05561-9>
- Deimann, M. (2021). Hochschulbildung und Digitalisierung – Entwicklungslinien und Trends für die 2020er-Jahre. In Hochschulforum Digitalisierung (Hg.), *Digitalisierung in Studium und Lehre gemeinsam gestalten* (S. 25–41). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32849-8_3
- Dittler, U. & Kreidl, C. (Hg.) (2021). *Wie Corona die Hochschullehre verändert: Erfahrungen und Gedanken aus der Krise zum zukünftigen Einsatz von eLearning*. SpringerGABLER. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32609-8>
- Eckert, N., Gallenkämper, J., Heiß, H.-U., Kreulich, K., Mooraj, M. et al. (2018). *Smart Germany – Engineering education for the digital transformation*. <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/engineering-education-for-the-digital-transformation>
- ENAAE (2017). *EUR-ACE® Framework standards and guidelines (EAFSG)*. https://www.enaee.eu/wp-content/uploads/2021/05/eafsg_brochure_2017_online.pdf
- Europäische Kommission (2020). *Skills for industry – curriculum guidelines 4.0: Future-proof education and training for manufacturing in Europe*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1>
- Frerich, S., Meisen, T., Richert, A., Petermann, M., Jeschke, S., Wilkesmann, U. & Tekkaya, A. (Hg.) (2016). *Engineering education 4.0: Excellent teaching and learning in Engineering Sciences*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46916-4>
- Gottburgsen, A., Wannemacher, K., Wernz, J. & Willige, J. (2019). *Ingenieurausbildung für die digitale Transformation: Zukunft durch Veränderung*. <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-studie-ingenieurausbildung-fuer-die-digitale-transformation>
- Grünewald, S. (2020). *Studiengänge in der Digitalisierung: Baustelle Curriculumentwicklung*. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_Nr_52_Studiengaenge_Digitalisierung_Baustelle_Curriculumentwicklung.pdf
- Haertel, T., Terkowsky, C., Dany, S. & Heix, S. (Hg.) (2019). *Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven*. wbv Publikation.

- Hagener Manifest (2021). Lernen neu denken. Das Hagener Manifest zu New Learning. <https://newlearning.fernuni-hagen.de/das-hagener-manifest/>
- Heidling, E., Meil, P., Neumer, J., Poschen-Hueck, S., Schmierl, K. & Wagner, A. (2019). *Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0*. http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372/4875823/Ingenieurinnen0und0Ingenieure0f%C3%BCr0Industrie04.0_IMPULS0Studie0Januar02019.pdf/9a5672ea-6fe3-a379-2a70-a8536fbfe73e
- Heidling, E. & Neumer, J. (2021). Kompetenzprofile von Ingenieurinnen und Ingenieuren im digitalen Wandel. In L. Lehmann (Hg.), *Kompetenzen für die digitale Transformation 2020: Digitalisierung der Arbeit – Kompetenzen – Nachhaltigkeit* (S. 93–106). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62866-9_7
- Heidrich, J., Bauer, P. & Krupka, D. (2018). *Future Skills: Ansätze zur Vermittlung von Data Literacy in der Hochschulbildung*. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_Nr37_DALI_Studie.pdf
- Hericks, N. (Hg.) (2018). *Hochschulen im Spannungsfeld der Bologna-Reform: Erfolge und ungewollte Nebenfolgen aus interdisziplinärer Perspektive*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21290-2>
- Hochschulforum Digitalisierung (2022). *Thesen zur Hochschullehre 2025*. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFDcon_2022_Thesenpapier.pdf
- Hofmann, Y., Salmen, N., Stürz, R., Putfarken, H., Schlude, A., Reimer, M. & Classe, F. (2021). *Die Pandemie als Treiber der digitalen Transformation der Hochschulen? Eine Beurteilung aus Sicht der Professoren- und Studentenschaft*. https://www.bidt.digital/wp-content/uploads/sites/2/2022/08/BIDT_IHF_Studie_Digitale-Transformation-der-Hochschulen.pdf
- Jeganathan, L., Khan, A., Kannan Raju, J. & Narayanasamy, S. (2018). On a framework of curriculum for Engineering education 4.0. In IEEE (Hg.), *2018 World Engineering Education Forum – Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC)* (S. 1–6). <https://doi.org/10.1109/WEEF-GEDC.2018.8629704>
- King, I., Saxena, C., Pak, C., Lam, C. & Cai, H. (2021). Rethinking Engineering education: Policy, pedagogy, and assessment during crises. *IEEE Signal Processing Magazine*, 38(3), 174–184. <https://doi.org/10.1109/MSP.2021.3059243>
- Kirchherr, J., Klier, J., Lehman-Brauns, C. & Winde, M. (2021). Future skills: Which skills are lacking in Germany. <https://www.stifterverband.org/medien/which-skills-are-lacking-in-germany>
- Kreulich, K., Dellmann, F., Schutz, T., Harth, T. & Zwingmann, K. (2016). *Digitalisierung – Strategische Entwicklung einer kompetenzorientierten Lehre für die digitale Gesellschaft und Arbeitswelt: Die Position der UAS7-Hochschulen für angewandte Wissenschaften*. <https://www.uas7.org/sites/default/files/2020-04/uas7-broschure-digitalisierung-der-lehre.pdf>
- Kultusministerkonferenz (2017). *Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/2017-03-30_BS_170216_Qualifikationsrahmen.pdf
- Kultusministerkonferenz (2019). *Empfehlungen zur Digitalisierung in der Hochschullehre*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2019/BS_190314_Empfehlungen_Digitalisierung_Hochschullehre.pdf
- Lörz, M., Zimmer, L. & Marczuk, A. (2021). Studieren in Deutschland zu Zeiten der Corona-Pandemie. Fachspezifische Besonderheiten des digitalen Studiums. In I. Neiske, J. Osthushenrich, N. Schaper, U. Trier & N. Vöing (Hg.), *Hochschullehre auf Abstand – ein multiperspektivischer Zugang* (S. 77–88). transcript. <https://doi.org/10.1515/9783839456903-007>
- Meißelbach, C. & Bochmann, C. (2020). *Wir können hier alle nur dazulernen. Studierendenbefragung zur digitalen Lehre in Zeiten der Corona Krise*. <https://tu-dresden.de/gsw/phil/powi/polsys/ressourcen/dateien/forschung/umfrage-digitale-lehre/Meisselbach-Bochmann-2020-Studierendenbefragung-Digitale-Lehre.pdf>
- Meyer-Guckel, V., Klier, J., Kirchherr, J. & Winde, M. (2019). Future Skills: Strategische Potenziale für Hochschulen. <https://www.future-skills.net/analysen/strategische-potenziale-fuer-hochschulen>
- Michel, A., Baumgartner, P., Brei, C. et al. (2018). *Framework zur Entwicklung von Curricula im Zeitalter der Digitalen Transformation*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2633066>
- Morace, C., May, D., Terkowsky, C. & Reynet, O. (2017). Effects of globalisation on higher engineering education in Germany – current and future demands. *European Journal of Engineering Education*, 42(2), 142–155. <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1293618>
- OECD (2020). *The digitalisation of science, technology, and innovation: Key developments and policies*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b9e4a2c0-en>

- Ramirez-Mendoza, R. A., Morales-Menendez, R., Iqbal, H. & Parra-Saldivar, R. (2018). Engineering education 4.0: Proposal for a new curriculum. In IEEE (Hg.), *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 1273–1282). <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363376>
- Reinmann, G., Bohndick, C., Lübcke, E., Brase, A., Kaufmann, M. & Groß, N. (2020). *Emergency Remote Teaching im Sommersemester 2020: Bericht zur Begleitforschung – Lehrendenbefragung*. <https://www.hul.uni-hamburg.de/forschung/projektarchiv/ert/begleitforschung-bericht-2020-2.pdf>
- Schaper, N. (2012). *Fachgutachten zur Kompetenzorientierung in Studium und Lehre*. https://www.hrk-nexus.de/fileadmin/redaktion/hrk-nexus/07-Downloads/07-02-Publikationen/fachgutachten_kompetenzorientierung.pdf
- Schüller, K. (2020). *Future Skills: A framework for Data Literacy: Competence framework and research report*. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_Nr_53_Data_Literacy_Framework.pdf
- Seyfeli, F., Elsner, L. & Wannemacher, K. (2020). *Vom Corona-Shutdown zur Blended University? ExpertInnenbefragung Digitales Sommersemester*. Tectum. <https://doi.org/10.5771/9783828876484>
- Statistisches Bundesamt (2020). *Bildung und Kultur – Studierende an Hochschulen – Fächersystematik* (Fachserie 11, Reihe 4.1, WS 2019/2020). https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Bildung/studenten-pruefungstatistik.pdf;jsessionid=F857643A110D8E44384FD27002B7EF97.live722?__blob=publicationFile
- Stifterverband (2016). *Curriculum 4.0: Konsequenzen der Digitalisierung für Studiengangsreformen an deutschen Hochschulen*. <https://www.stifterverband.org/curriculum-4-0>
- Terkowsky, C., Frye, S., Haertel, T., May, D., Wilkesmann, U. & Jahnke, I. (2018). Technik- und Ingenieurdidaktik in der hochschulischen Bildung. In B. Zinn, D. Pittich & R. Tenberg (Hg.), *Technikdidaktik: Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme* (S. 87–97). Steiner.
- Traus, A., Höffken, K., Thomas, S., Mangold, K. & Schröer, W. (2020). *Stu.di.Co – Studieren digital in Zeiten von Corona: Erste Ergebnisse der bundesweiten Studie Stu.di.Co*. <https://dx.doi.org/10.18442/150>
- Van den Beemt, A., MacLeod, M., van der Veen, J., van de Ven, A., Baalen, S., Klaassen, R. & Boon, M. (2020). Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support. *Journal of Engineering Education*, 109(3), 508–555. <https://doi.org/10.1002/jee.20347>
- Violante, M. & Vezzetti, E. (2017). Guidelines to design engineering education in the twenty-first century for supporting innovative product development. *European Journal of Engineering Education*, 42(6), 1344–1364. <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1293616>
- Wildt, J. (2004). Vom Lehren zum Lernen. In B. Berendt, H.-P. Voss & J. Wildt (Hg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (Kap. A3, A 3.1). Raabe.
- Wildt, J. & Wildt, B. (2011). Kompetenzorientiertes Prüfen im „Constructive Alignment“. Ein Beitrag zur Förderung der Qualität von Hochschulbildung durch eine Weiterentwicklung des Prüfungssystems. In B. Berendt, A. Fleischmann, J. Wildt, N. Schaper & B. Szczyrba (Hg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (Kap. H 6.1). Raabe.
- Winberg, C., Bramhall, M., Greenfield, D. et al. (2020). Developing employability in engineering education: A systematic review of the literature. *European Journal of Engineering Education*, 45(2), 165–180. <https://doi.org/10.1080/03043797.2018.1534086>
- Winde, M., Werner, S. D., Gumbmann, B. & Hieronimus, S. (2020). *Hochschulen, Corona und jetzt? Wie Hochschulen vom Krisenmodus zu neuen Lehrstrategien für die digitale Welt gelangen*. <https://www.stifterverband.org/download/file/fid/9313>
- Wissenschaftsrat (2022). *Empfehlungen für eine zukunftsfähige Ausgestaltung von Studium und Lehre*. <https://doi.org/10.57674/q1f4-g978>
- Yan, Z. & Fan, W. (2010). Factors affecting response rates of the web survey: A systematic review. *Computers in Human Behaviors*, 26, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.10.015>

Autorinnen

Dr. Anja Gottburgsen. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung, Lange Laube 12, 30159 Hannover; Orchid-ID: 0000-0002-1076-2952; E-Mail: gottburgsen@dzhw.eu

Prof. Dr. Yvette E. Hofmann. Forschungsstelle für Higher Education Research and Governance, Munich School of Management, Ludwig-Maximilians-Universität München, Ludwigstr. 28/VG, 80539 München, Orchid-ID: 0000-0003-3988-8070; E-Mail: yvette.hofmann@lmu.de

MA Janka Willige. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung, Lange Laube 12, 30159 Hannover; E-Mail: willige@dzhw.eu



Zitiervorschlag: Gottburgsen, A., Hofmann, Y. E. & Willige, J. (2023). Ingenieurstudium 4.0. Werden künftige Ingenieurinnen und Ingenieure an deutschen Hochschulen adäquat auf die digitalisierte Arbeitswelt vorbereitet? *die hochschullehre*, Jahrgang 9/2023. DOI: 10.3278/HSL2309W. Online unter: wbv.de/die-hochschullehre