



INGENIEURAUSSCHILDUNG FÜR DIE DIGITALE TRANSFORMATION

Zukunft durch Veränderung

VDI-Studie
April 2019



Verfasserinnen und Verfasser:

Gottburgsen , Anja	Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH
Wannemacher , Klaus	HIS-Institut für Hochschulentwicklung e.V.
Wernz , Jonas	VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Willige , Janka	Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH

An der Studie haben beratend mitgewirkt:

Dittmar , Rainer	Deutsche Bahn AG
Heiß , Hans-Ulrich	TU Berlin
Heitmann , Günter	European Society for Engineering Education (SEFI)
Hörber , Gerhard	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Isenhardt , Ingrid	RWTH Aachen University
Kiesel , Raphael	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie (IPT)
Kreulich , Klaus	Hochschule München
Müller , Carolin	Hochschulrektorenkonferenz
Müller , Gerhard	Technische Universität München
Schumann , Christian-Andreas	Westfälische Hochschule Zwickau
Seling , Irene	Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände
Spiegelberg , Gernot	Siemens AG

Vorwort und Danksagung

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Deutschland verdankt seine im internationalen Vergleich exzellente Stellung als Technologie- und Produktionsstandort der Innovationskraft seines Ingenieurwesens. Um diese Position weiterhin zu halten und auszubauen, müssen wir die sich aus der Digitalen Transformation ergebenden neuen Anforderungen dringend und deutlich stärker in der Ausbildung unserer Ingenieurinnen und Ingenieure verankern.

Nachdem wir Leitungen und Lehrende der Hochschulen, Studierende sowie Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger zur Digitalen Transformation im Studium befragt haben, sind wir zu dem Ergebnis gekommen: Das Ingenieurstudium braucht starke inhaltliche Veränderungen und Weiterentwicklungen.

Unsere Studie zielt darauf, den Status quo der ingenieurwissenschaftlichen Curricula zu erfassen, um daraus konkrete Handlungsempfehlungen für die Hochschulen und die Politik abzuleiten.

Wir sprechen uns dafür aus, dass sich die Digitale Transformation als Querschnittsthema in den Curricula allgegenwärtig niederschlagen sollte. Damit die Ingenieurinnen und Ingenieure von morgen den Herausforderungen der Digitalen Transformation gerecht werden, brauchen sie heute agile, leicht anpassbare Studiengänge, die neue Themen rasch integrieren.

Den treibenden Akteurinnen und Akteuren an den Hochschulen müssen der nötige Handlungsspielraum und die nötigen Ressourcen eingeräumt werden, um neue Inhalte und Formate schnell zu implementieren. Gezielt muss das Gestalten moderner Curricula gefördert und ein Anreiz dafür geschaffen werden.

Wie das erfolgreich gelingen kann, damit beschäftigt sich der VDI in dieser Studie und steht den Hochschulen somit als Partner zur Seite. Denn nur durch gut ausgebildete Fachkräfte können wir führender Technikstandort bleiben.

Ich bedanke mich für das große Engagement des VDI-Fachbeirats Ingenieurausbildung, der die Erstellung der Studie eng begleitet hat, bei den Autorinnen und Autoren für die sehr gute Zusammenarbeit und bei über 2.000 Menschen, die an den Umfragen teilgenommen haben.

Ich wünsche Ihnen eine interessante und aufschlussreiche Lektüre unserer Studie.

Ihr



Ralph Appel
Direktor

Executive Summary

Die Studie ermittelt den **Iststand der Ingenieurausbildung und identifiziert förderliche und hemmende Rahmenbedingungen** für die Weiterentwicklung der Studiengänge und Curricula unter dem Vorzeichen der Digitalen Transformation. Grundlage hierfür ist eine explorative Analyse von rund 50 wissenschaftlichen Texten und Fachgutachten, eine Hochschulbefragung, die sich an Hochschulleitungen, Dekanate und Studiengangverantwortliche ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge richtete, und eine Befragung der im VDI organisierten Studierenden und Berufseinsteigerinnen und -einsteiger.

Eine explorative Analyse wissenschaftlicher Texte und Fachgutachten

Angesichts des Wandels beruflicher Tätigkeitsfelder gewinnen im Diskurs um die Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Curricula **neue Schwerpunkte** an Bedeutung. Die Analyse zeigt, dass die Notwendigkeit **inter- und transdisziplinärer Ansätze**, Soft Skills, die Bedeutung des Praxisanteils der Lehre, **ethische Aspekte** und gewinnbringende **Partnerschaften mit Unternehmen** hier eine große Rolle spielen. Zu weiteren Herausforderungen zählen das Schaffen geeigneter Voraussetzungen für eine **agile Curriculumentwicklung**, eine Aufnahme informatischer oder datenanalytischer Bildungsinhalte, die Vermittlung digitaler Fachkompetenzen für Studierende sowie eine Ausweitung digitaler Handlungskompetenzen von Lehrenden.

Hochschulbefragung zur Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation

Die Umsetzung der **Digitalen Transformation als strategisches Ziel** ist häufig, aber noch nicht flächendeckend auf allen Hochschulebenen implementiert. Noch vielerorts ausbaufähig ist die Kooperation mit außerhochschulischen Partnern im Studium, z. B. mit Unternehmen. Der **Umfang digitaler Inhalte** in den Curricula ist **zu erhöhen**. Für eine digitalisierte Arbeitswelt ist es wesentlich, **überfachliche Kompetenzen** wie Kooperationskompetenz und Data Literacy in die Curricula **aufzunehmen**. Über alle befragten Gruppen hinweg wird die Bereitschaft zur Digitalen Transformation höher eingeschätzt, als die Fähigkeit dazu.

Befragung der Studierenden sowie Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger des VDI

Weit auseinander liegen die Einschätzungen der Studierenden zum aktuellen und von ihnen gewünschten künftigen Stellenwert digitaler Fachinhalte in ihrem Studiengang. Es werden vornehmlich disziplinäre Formate bei der Vermittlung digitaler Fachinhalte verwendet. Für besonders geeignet halten Studierende jedoch interdisziplinäre Formate. Besonders auffällig ist die **hohe Zustimmung, die eigenen Studienschwerpunkte im Zuge der Digitalen Transformation anzupassen**. Als Hemmnis nehmen Studierende vor allem Professorinnen und Professoren wahr, die neuen Inhalten ablehnend gegenüberstehen. Als größten Treiber sehen Studierende die **Kooperationen mit Unternehmen** gefolgt von besonders **aktiven Lehrenden**.

Handlungsfelder und Empfehlungen

Die Digitale Transformation wirkt auf alle Bereiche des Ingenieurwesens mit einer starken Dynamik. Die große Mehrheit der Befragten aller Gruppen ist der Meinung, dass die Bedeutung digitaler Fachinhalte in den nächsten fünf Jahren weiter deutlich zunehmen wird. Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger benötigen **digitale Fachinhalte in ihrer täglichen Arbeit**, fühlen sich jedoch durch die Inhalte ihres zurückliegenden **Studiums nicht ausreichend vorbereitet**. Daher empfiehlt der VDI eine Überarbeitung der Curricula, die schnellstmöglich umgesetzt werden sollte. Aktuelle Inhalte der letzten Jahre müssen hinterfragt und bewertet werden, und neue Inhalte sind hinzuzufügen. **Sechs Handlungsfelder an Hochschulen und in der Hochschulpolitik** wurden identifiziert.

Strategische Ziele setzen

Es besteht die Notwendigkeit zur **Verankerung der Digitalen Transformation in allen Hochschulstrategien** sowie zur Etablierung einer hochschulweiten digitalen Kultur. Der VDI empfiehlt, dass sich die Digitale Transformation prominent in den Grundsatzpapieren der Hochschulen niederschlagen muss.

Treiber und Hemmnisse identifizieren

Die **Bereitschaft** zur Umsetzung digitaler Transformationsprozesse an den Hochschulen wird durchgängig **höher eingeschätzt als die Fähigkeit** dazu. 40 % der Studierenden geben an, dass digitale Fachinhalte im Wesentlichen (eher) nicht Teil ihres Studiums sind. Die Dynamik zur Innovation an Hochschulen wird von den Befragten als eingeschränkt empfunden. Trotz des interdisziplinären Wesens der Digitalen Transformation werden interdisziplinäre Formate verhältnismäßig wenig genutzt. Gute und aktuelle **Lehre wird nicht ausreichend gewürdigt**. Als hemmend werden zudem **rechtliche Rahmenbedingungen** (z. B. die Lehrdeputatsverordnungen) identifiziert.

Strategische Ziele operationalisieren

Lehrinhalte sind ergebnisoffen laufend zu hinterfragen. Es muss der fakultätsinterne und -übergreifende Diskurs über curriculare Zuschnitte angestoßen werden. Die **Hindernisse aus** den aktuell vielfach noch vorliegenden „**Silostrukturen**“ **der Fakultäten und Fachbereiche sollten dabei identifiziert und abgebaut werden**. An den Hochschulen muss eine die Interdisziplinarität befördernde Kultur etabliert und durch den Einbezug von Kolleginnen und Kollegen anderer Disziplinen herbeigeführt werden. Der VDI empfiehlt, die Zuschnitte von Kompetenzprofilen und die zugehörigen curricularen Elemente laufend weiterzuentwickeln, **digitale Lehrinhalte in den Pflichtbereich** der Curricula aufzunehmen und Optionen zur Kooperation mit jenen Unternehmen in der Lehre zu nutzen, die Veränderungen aus der Digitalen Transformation erfolgreich in Change-Prozessen gestaltet haben.

Kompetenzprofile weiterentwickeln

Die Aufnahme digitaler Fachkompetenzen und interdisziplinärer Elemente aus **Informatik und Data Science in Curricula** werden fokussiert. Die Bedeutung überfachlicher Kompetenzen wächst. Für die Aufgaben in einer digitalisierten Arbeitswelt ist eine **umfassende Kooperationskompetenz** über die

Teamfähigkeit hinaus besonders hervorzuheben. Es ist notwendig, die didaktischen und digitalen Handlungskompetenzen von Lehrkräften auszuweiten und ein Rollenverständnis von Lehrenden im Sinne des „**Shift from Teaching to Learning**“ zu etablieren. Der VDI empfiehlt, die Berücksichtigung von Lehrkompetenz und digitaler Kompetenzen als Auswahlkriterium in Berufungsverfahren zu nutzen, bei der Weiterentwicklung der **Curricula eine Kooperation Lehrender mit allen Stakeholdern in agilen Gruppen** zu etablieren und stärker auf interdisziplinäre Formate zu setzen, um die digitale Transformationsprozesse schneller adäquat umzusetzen.

Zu ethisch verantwortlichem Handeln befähigen

Nicht allein produkt- und produktionsorientierte Anforderungen sind umzusetzen, sondern auch die **gesamtgesellschaftlichen Wirkungen der eigenen Arbeit kontinuierlich einzuschätzen und zu bewerten**. Eine solche Perspektive auf die digitalisierungsrelevanten Bereiche des Berufsfelds ist bei den Befragten noch wenig verbreitet. Der VDI empfiehlt daher, Studienformate in alle Ingenieurstudiengänge aufzunehmen, die die Aspekte Technikfolgenbewertung und technologieinduzierte gesellschaftliche Transformationsprozesse explizit adressieren, sowie im Studium für die **Übernahme gesellschaftlicher Verantwortung zu sensibilisieren** und zudem zu ethisch verantwortlichem Handeln befähigen.

Akademische Weiterbildung systematisch etablieren

Die Dynamik der **Digitalen Transformation fordert ein hohes Maß an Initiative, sich weiterzubilden**. Eine akademisch orientierte Weiterbildung der im Beruf stehenden Ingenieurinnen und Ingenieure wird noch vernachlässigt. Der VDI empfiehlt, akademische Weiterbildung als integralen Baustein einer ingenieurwissenschaftlichen Berufstätigkeit zu behandeln und die **Kooperation von Hochschulen und Akteuren der digitalisierten Arbeitswelt im Rahmen der Weiterbildung zu stärken**.

Inhalt

1 Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation – eine explorative Analyse	8
2 Hochschulbefragung zur Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation	13
3 Befragung der Studierenden sowie Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger des VDI	21
4 Handlungsfelder und Empfehlungen	28
Bibliografie	34

1 Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation - eine explorative Analyse

1.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Zielsetzung der Studie „Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation“ ist, den Iststand der ingenieurwissenschaftlichen Curricula und Studiengänge mit Blick auf die für die Digitale Transformation notwendigen Kompetenzen zu ermitteln sowie die Identifikation der für die Weiterentwicklung der Studiengänge und Curricula förderlichen und hemmenden Rahmenbedingungen. „Die Digitale Transformation steht für den globalen Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft, hervorgerufen durch die konsequente Durchdringung des täglichen Lebens mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Der Wandel hat Auswirkungen auf alle Lebensbereiche und umfasst alle Branchen. Er steht in einer engen Wechselwirkung zur Art und Weise, wie wir leben, wirtschaften und arbeiten.“ (Gallenkämper et al. 2018, S. 8). Empirisch umgesetzt wurde die Zielsetzung der Studie u. a. auf dem Weg einer Meta-Analyse mit dem Ziel, ausgehend von einer Recherche wissenschaftlicher Texte und Fachgutachten Hinweise auf eine für die Digitale Transformation adäquate Ausbildung zu entwickeln.

Einen Schwerpunkt der Recherche bildete wissenschaftliche Literatur, darunter Untersuchungen zur Ingenieurausbildung, Tagungsbände sowie Veranstaltungs- und Vortragsdokumentationen von Fachkonferenzen. Daneben wurden Positions- und Diskussionspapiere zu Aspekten wie der Weiterentwicklung des Ingenieurstudiums oder Auswirkungen der Digitalen Transformation auf die Curriculumentwicklung berücksichtigt. Zu den Institutionen, die in die Literaturrecherche einbezogen wurden, zählten u. a.

- ingenieurwissenschaftliche Fachgesellschaften,
- Institutionen der Hochschulforschung,
- Wirtschafts- und Branchenverbände,
- internationale Wirtschaftsorganisationen sowie
- Bundesministerien und bildungspolitische Akteure.

Die Publikationen wurden im Hinblick auf Kriterien ausgewertet, die sich aus dem Textkorpus ableiten ließen und die Auskunft über Anpassungen gaben, die unter dem Vorzeichen der Digitalen Transformation bei der Auswahl und Anordnung von Bildungsinhalten in Ingenieurstudiengängen ergiebig erschienen.

Insgesamt wurden über 50 Erhebungen, Analysen, Tagungsbände sowie Positions- und Diskussionspapiere aus einem Zeitraum von den späten 1990er-Jahren bis 2019 berücksichtigt, darunter rund 35 Positions- und Diskussionspapiere von Branchen- und Fachverbänden sowie Fachgesellschaften, die überwiegend in die nähere Analyse einbezogen wurden.

1.2 Auswertung der ausgewählten Literatur

Bei der Analyse wissenschaftlicher Literatur und von Diskussions- und Positionspapieren wurde ein breites Spektrum von Aspekten berücksichtigt, die sich dem Schwerpunktthema Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation zuordnen lassen (Abb. 1.1). Fragestellungen aus dem Bereich einer generellen Lehrentwicklung („Shift from Teaching to Learning“, Aufwertung der Lehre, Berücksichtigung von Lehr- und Digitalkompetenz in Berufungsverfahren etc.) konnten nur am Rande berücksichtigt werden.

Die nachfolgend referierten Positionen entstammen deutschen und internationalen Publikationen. Vereinzelt stehen Argumente aus internationalen Publikationen den Rahmenbedingungen des deutschen Hochschulsystems entgegen. Die Positionen dokumentieren Schwerpunkte des öffentlichen Diskurses, ohne dass sich die beteiligten Institutionen und die Verfasserinnen und Verfasser dieser Studie diese zu Eigen machen.

Digitale Fachkompetenzen und Digitalisierung als Lehr-/Lerninhalt

Angesichts einer zunehmend digitalisierten Lebenswelt müssen Hochschulen sich anpassen und weiterentwickeln, um Nutzen aus den digitalen Tools und den Stärken neuer Technologien ziehen zu können (OECD 2019, S. 11). Die neuen Beschäftigungsfelder am Arbeitsmarkt seien tendenziell komplexer als die bisherigen. Daher werde es mehr auf Flexibilität und **Methodenkenntnisse beim Einsatz von digitalen Technologien** ankommen (BMWi 2016, S. 5 f.; vgl. EFI 2018, S. 32; OECD 2018, S. 38–40). Ohne digitale Bildung keine digitale Wirtschaft. Sie ist Kernelement der Zukunftsfähigkeit des deutschen Technologie- und Innovationsstandorts (VDI 2017, S. 10). Die Digitali-

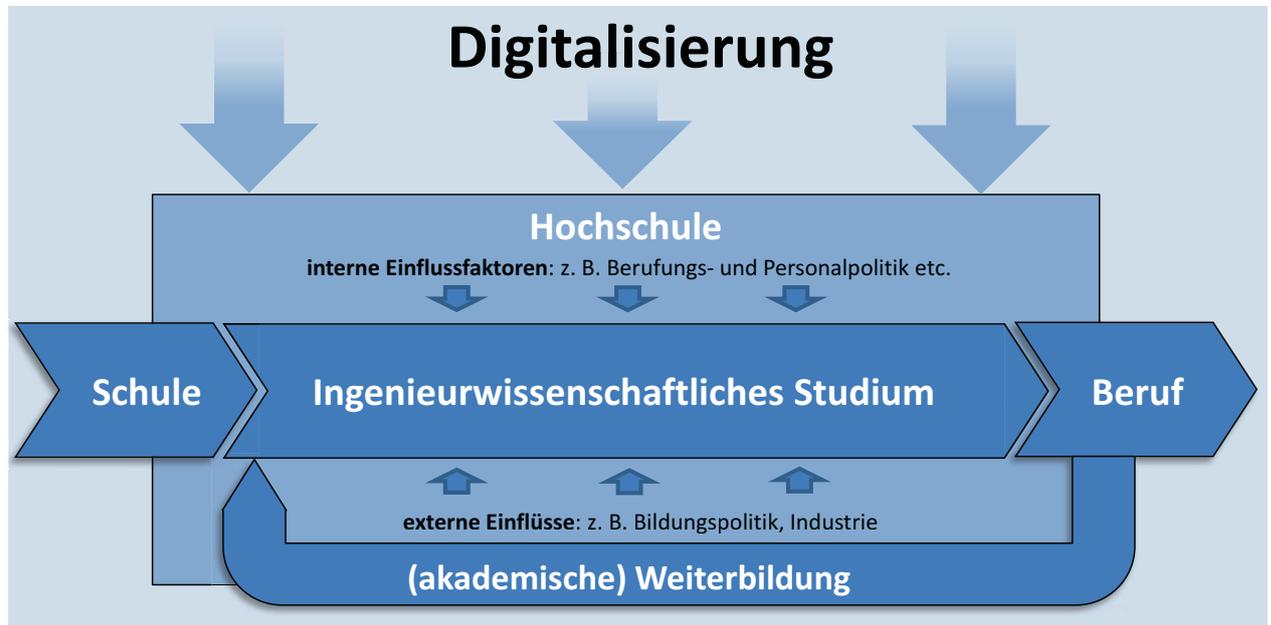


Abb. 1.1. Kontextfaktoren einer Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation

sierung wird in der Arbeitswelt zu deutlich kürzeren Innovationszyklen führen. Die **Komplexität nimmt in der Industrie 4.0 zu**. Ingenieurinnen und Ingenieure müssten in der Lage sein, diese Komplexität zu beherrschen (Büddicker 2015). Daher sollten **digitale Fachkompetenzen** in die Curricula aufgenommen werden (Stifterverband 2016, S. 44; Gilch et al. 2019, S. 38).

Verstärkt dürften künftig Absolvierende mit hybriden Fähigkeiten benötigt werden, das heißt Domänen-Know-how in einer Ingenieursdisziplin gepaart mit soliden Grundkenntnissen in digitalen Disziplinen (Gallenkämper et al. 2018, S. 12). Fuchs zufolge wird ein Studiengang der Ingenieurwissenschaften auch künftig ein breites Spektrum an mathematischem und technologischem Grundlagenwissen enthalten. Das **wichtigste Ausbildungsziel** sei jedoch die daraus abgeleitete **Kompetenzentwicklung**, die Ingenieurinnen und Ingenieure für ihre künftigen Aufgaben benötigten (Fuchs 2013, S. 17 f.). acatech plädiert dafür, die entscheidenden **Medien- und Digitalisierungskompetenzen** auf Grundlage einer fundierten Analyse zu Bildungsstand und Kompetenzniveaus durch Hochschulen näher zu **definieren** und erfolgreiche Qualifizierungsstrategien zu entwickeln (acatech 2016, S. 5). Doch sei zu beachten, dass der natürliche

Umgang Studierender mit digitalen Kommunikationsmitteln noch kein **tiefgehendes Verständnis der Digitalen Transformation** impliziere. Auch deshalb sei eine Förderung der Information Literacy im Ingenieurstudium unabdingbar (Gallenkämper et al. 2018, S. 3; vgl. Kreulich et al. 2016, S. 40).

Es gelte insbesondere, informatische Lehrinhalte stärker zu adaptieren. Das Bundeswirtschaftsministerium wirbt für die **Aufnahme von Informatik und Datenanalyse** als interdisziplinäre Elemente in anderen Studienbereichen (BMW 2016, S. 17; tatsächlich werden jüngst in diesen Feldern verstärkt neue Professuren eingerichtet). Der Fortschritt in wissenschaftlichen Schlüsselfeldern wie Data Science/Data Engineering oder künstlicher Intelligenz bewirke ein vielfältiges Ablösen bestehender Anwendungen (Gallenkämper et al. 2018, S. 8). In der „Smart Factory“ **verwischen „die Grenzen zwischen den Disziplinen Informatik, Maschinenbau und Elektrotechnik**. Dies bedeute, dass IT-Kenntnisse künftig unverzichtbar werden – Know-how über Software, Programmierung und Elektronik“ (Büddicker 2015). Auch eine Studie des ISF München ergibt, dass erweiterte fachliche Grundlagen v. a. **die Bereiche Informatik und Data Science umfassen sollten** (Heidling et al. 2019, S. 84). Data Science und künst-

liche Intelligenz könnten zu eigenen Schwerpunkten der Ingenieurausbildung werden.

Herausforderungen bei der (Weiter-)Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Curricula

Eine Herausforderung für die ingenieurwissenschaftlichen Curricula besteht darin, zu einer Verständigung über eine **Mischung „neuer“ und „alter“ Studieninhalte** zu gelangen (Heidling et al. 2019, S. 85). Neben Grund- und Fachkenntnissen müssten Ingenieurinnen und Ingenieure weitere Qualifikationen erwerben (Crawley et al. 2011). Besondere Bedeutung kommt einer Öffnung des Kompetenzprofils hin zu **interdisziplinären Ansätzen** und der Fähigkeit, sich selbstständig kontextbezogene Kenntnisse anzueignen, zu: „In line with emerging new needs and new professions, traditional boundaries need to be challenged and crossed in the engineering field but also between engineering and other disciplines“ (SEFI 2017, S. 2).

Studierende der Ingenieurwissenschaften können in besonderem Maß von einem **ausgeprägten Praxisanteil der Lehre** profitieren. Praxisorientierung sollte in jedem Hochschulprofil ihren Platz haben (VDMA 2017, S. 13). Schon ein gelungener Einstieg in ein ingenieurwissenschaftliches Studium könne über ein praxisorientiertes Projekt erfolgen (VDMA 2015, S. 66; vgl. exemplarisch Gallenkämper & Richert 2015; Klocke et al. 2018). Auch praxisnahe Lernformate wie Problem Based Learning seien ergiebig.

Den **Schlüsselqualifikationen von Ingenieurinnen und Ingenieuren** werden Aspekte zugezählt wie in Systemen zu denken, mit Komplexität umzugehen, über die Auswirkungen des eigenen Tuns reflektieren zu können, Kommunikations- und Organisationsfähigkeit, kreative Problemlösefähigkeit sowie wirtschaftliche Kenntnisse. Diesen Anforderungen sei durch ein sich **ständig modernisierendes Ausbildungssystem** Rechnung zu tragen (Bauernhansl & Nestler 2015, S. 31; vgl. Crawley et al. 2011). An Ingenieurfakultäten sollten Konzepte entwickelt werden, wie Studierende zukunftsorientierte, fachliche und **überfachliche Kompetenzen**, z. B. in interdisziplinär geprägter Projektarbeit, **erwerben** könnten. Ein Austausch über solche Ansätze sollte innerhalb von Netzwerken (z. B. Lehre hoch n, HAWtech-Verbund) erfolgen (Sonntag 2018).

Besonders hervorgehoben wird u. a. die Bedeutung von **Soft Skills, Kooperations- und interkultureller Kompetenz** (BDA 2017, S. 48). Der Stellenwert sozialer Kompetenz werde durch den steigenden Bedarf an Teamfähigkeit und Eigenverantwortlichkeit wachsen (BMW 2016, S. 7). Zur Förderung

einer Kooperationskompetenz sollten regelmäßig im Studium hochschulweite, aber auch externe Kooperationen stattfinden (Gallenkämper et al. 2018, S. 3). Aufgrund der Globalisierung von Produkten und Märkten sei auch ein sensibler Umgang mit fremden Kulturen und Denkweisen ein absolutes Muss (Fuchs 2013, S. 6; vgl. Graham 2018, S. 43).

Weitere relevante Kompetenzen werden im Bereich **Ethik und Nachhaltigkeit** verortet: „Engineering must be carried out responsibly and ethically, use available resources efficiently, be economic, safeguard health and safety, be environmentally sound and sustainable“ (International Engineering Alliance 2009, S. 1; vgl. hierzu die „Ethischen Grundsätze des Ingenieurberufs“, Abschnitt 2, VDI 2002, derzeit in Überarbeitung). Ingenieurinnen und Ingenieure müssten sich ihrer neuen Rolle bei der Lösung zentraler Probleme der Menschheit und der Umsetzung der UN-„Ziele für nachhaltige Entwicklung“ bewusst werden: “It was anticipated that this emphasis would increasingly be reflected in engineering curricula and ‘a greater focus on solving human challenges and the problems facing society’ would emerge as hallmarks of the world’s best engineering programs” (Graham 2018, S. 43). Zudem bedürfe es der Kompetenz zur Technikfolgenabschätzung (Gallenkämper et al. 2018, S. 12). Auch gibt es Forderungen nach einer Art „Eid des Leonardo da Vinci“ (Dreher, 2015) im Sinne einer Selbstverpflichtung des Ingenieurberufs.

Andere Akteure heben aus unternehmerisch geprägter Sicht die **Rolle von Ingenieurinnen und Ingenieuren als Entrepreneure** hervor. Der Ingenieur der Zukunft sei ein Innovationsmanager und denke „unternehmerisch“ (Fuchs 2013, S.18 f.). Hochschulen müssten Unternehmertum und -geist im Studium fördern (BDA 2017, S. 48). In diesem Kontext erscheint auch die Vermittlung einer Haltung geistiger Unabhängigkeit und einer neuen Art der Fehlerkultur, zu der nicht nur Jungingenieurinnen und -ingenieure in der Industrie befähigt sein sollten, von Bedeutung.

Regelmäßig werden die **Schnittstellen zwischen Hochschulen und Unternehmen** adressiert. Als ein Schlüssel zum Erfolg einer künftigen Ingenieurausbildung wird vielfach die Kooperation von Hochschulen und Unternehmen in der Lehre bezeichnet, von der jedoch längst nicht alle Studierenden profitieren könnten: „Indeed, many of the educational features common to the ‘current leaders’ and ‘emerging leaders’ in engineering education – including entrepreneurial or authentic industry experiences – are, in practice, only available to relatively small student cohorts“ (Graham 2018, S. 36). Mit Blick auf die kompetenzfördernden Effekte von Unternehmenskontakten wird

die Etablierung von Unternehmenskooperationen u. a. im Bereich Nachwuchsförderung als wesentliches Profilmerkmal von Hochschulen beschrieben (Hauschildt & Jaeger 2013, S. 99). Zudem sollten Kenntnisse zur Geschäftsmodellentwicklung ein Bestandteil der Ingenieurausbildung sein (VDI 2017, S. 9).

Die Irish Academy of Engineering spricht sich für Ansätze aus, Hochschulangehörige aktiv in **Start-ups** zu **involvieren**: „There is a need to provide a new strategy to encourage engineering researchers to participate in start-ups, allowing them to experience the uncertainties of an industrial adventure“ (IAE 2010, S. 11), mit der Option zur Rückkehr an die Hochschule.

Der VDMA betont, dass **Partnerschaften mit Unternehmen** mittels Praktika sowie kooperativen Abschlussarbeiten einen wertvollen Beitrag zur Praxisorientierung des Studiums leisten könnten (VDMA 2017, S. 14). In der Lehre wird auf internationaler Ebene eine **punktueller personeller Verflechtung** empfohlen: „Engineers from industry should be involved in undergraduate and postgraduate teaching and research supervision, and appointed to adjunct positions within Engineering Schools“ (IAE 2010, S. 3; vgl. acatech 2018, S. 7). Studierenden solle ein zeitweiser Wechsel in die Industrie ermöglicht werden.

In Verbindung mit **interdisziplinären Ansätzen** sollten **studentische Wahlmöglichkeiten** auf curriculärer Ebene **erhöht** werden: „Interviewees suggested that [...] a range of different learning pathways for students will be offered ‘to educate students in the profile that is more oriented to their future career.’ As one interviewee put it: ‘Beyond the fundamental core, there are so many competing topics that we could include [...] – we need to allow the students to [...] let them choose a pathway that suits their talents and interests.’“ (Graham 2018, S. 43).

Auch **rechtliche Grundlagen** werden als relevante Anforderungen an eine Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation erörtert; in einer Unternehmensbefragung nannten 31 % der Adressatinnen und Adressaten „Rechtliche Grundlagen (z. B. Datenschutz)“ als „sehr nützliche“ oder „unverzichtbare“ ergänzende Kenntnisse (Heidling et al. 2019, S. 37). Große Bedeutung wird zudem **lebenslanger Lernbereitschaft und -praxis** attestiert: „The education of the engineer should not stop after completion of the first or second cycle. Within their first cycle degree, the engineering student must learn how to learn, and that learning is for life“ (SEFI 2016, S. 3). Die bessere Verzahnung der tertiären Bildung mit Fort- und Weiterbildungsangeboten sei eine gesellschaftliche Aufgabe (Horz & Schulze-Vorberg 2017, S. 1).

Curriculumskonzepte für das digitale Zeitalter und für Industrie 4.0

Für die Ingenieurwissenschaften wird eine Notwendigkeit, systematisch **Curriculumskonzepte für das digitale Zeitalter und für Industrie 4.0** zu entwickeln und diese regelmäßig zu evaluieren, betont. In diesem Kontext befürwortet der Stifterverband eine ausgewogene **Aufteilung des zu vermittelnden Kompetenzportfolios** zwischen Bachelor- und Masterstudium: Fachliche Grundlagenkompetenzen sollten den Schwerpunkt von Bachelorstudiengängen bilden, spezialisiertes Fachwissen exemplarisch vermittelt werden. **Digitale Fachkompetenzen** sollten in Curricula neu aufgenommen werden und persönlichkeitsbildende Kompetenzen eine größere Rolle spielen (Stifterverband 2016, S. 44).

Das Diskussionspapier „Smart Germany“ des VDI diagnostiziert, dass die Digitale Transformation alle Bereiche des Ingenieurwesens in einer bisher ungekannten Intensität durchdringe. Damit die Ingenieurinnen und Ingenieure von morgen für die digitale Arbeits- und Forschungswelt gut vorbereitet seien, müsse die Digitale Transformation in den anstehenden **Weiterentwicklungen der Curricula** einen grundlegenden Niederschlag finden (Gallenkämper et al. 2018, S. 5).

Neue ingenieurwissenschaftliche Curriculumskonzepte sollten agil, das heißt wendig, flexibel und proaktiv entwickelt werden. Die Prämisse, von der **Agilität** – verstanden als Haltung und Überzeugung – ausgeht, sei, „dass die Qualität eines Ergebnisses (in unserem Fall des Produkts Studiengang) von der Qualität des Prozesses (in unserem Fall des Prozesses der Studiengangsentwicklung) abhängt“ (Seidl & Vohnhof 2017, S. 30).

acatech betrachtet als zentrales Ziel der **Kompetenzentwicklung für Industrie 4.0**, eine doppelte digitale Kluft zu vermeiden: Wichtige Stellschrauben seien dabei die Rahmenbedingungen der Aus- und Weiterbildung in Hochschulen, die Unterstützung von Unternehmen bei der Gestaltung des Wandels sowie die Anpassung der Inhalte und Methoden der Lehre. Es bedürfe einer **kontinuierlichen Überprüfung und Weiterentwicklung der Gestaltungsansätze** (acatech 2016, S. 4). Ein erster Schritt könne der Entwurf eines **Curriculums für Industrie 4.0** sein, in dem zentrale Inhalte für Industrie 4.0 definiert würden und der als Referenz für die Anpassung der Studienpläne dienen könne (ebd., S. 32).

Im Kontext einer Curriculumentwicklung für Industrie 4.0 sollten zudem bestehende Angebote im

Bereich **neuer Lehr- und Lernformate** inhaltlich und quantitativ ausgeweitet werden. Disziplinübergreifende Labs, Lehr-/Lernfabriken und weitere Formen der Kooperation von Hochschulen und Unternehmen im Lehrbereich böten geeignete **Kontexte für die Einübung des Umgangs mit digitalen Anwendungen** und die Lösung von Entwicklungsaufgaben bezüglich Industrie 4.0 (Heidling et al. 2019, S. 86).

1.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Meta-Analyse der Literatur zur Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation zeigen deutlich, dass der Diskurs um die Weiterentwicklung der Ingenieurausbildung im deutschsprachigen und internationalen Raum in erheblicher Breite und Differenzierung geführt wird. Angesichts der punktuellen Konvergenz von Studienbereichen wie Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik in typischen beruflichen Tätigkeitsfeldern von Ingenieurinnen und Ingenieuren treten zu Diskursen um interdisziplinäre Ansätze und Soft Skills als Teil des ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzprofils und um die Bedeutung des Praxisanteils der Lehre oder

Partnerschaften mit Unternehmen neue Fragestellungen der Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Curricula hinzu. Diese betreffen insbesondere

- das Schaffen geeigneter Voraussetzungen bzw. Anpassen von Abstimmungs- und Entscheidungsprozessen für eine agile Curriculumentwicklung für Industrie 4.0,
- eine Aufnahme informatischer oder datenanalytischer Bildungsinhalte,
- die integrale Vermittlung digitaler Fachkompetenzen für Studierende sowie
- eine Ausweitung der digitalen Handlungskompetenzen von Lehrenden.

Lehr- und Lerninhalte aus dem Bereich der Digitalen Transformation dürften vor dem Hintergrund der Potenziale neuer digitaler Forschungsansätze und der vielfältigen Herausforderungen einer digitalen Arbeitswelt zunehmend Niederschlag in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen finden. Das angemessene Verhältnis, in das domänenspezifische und neue digitale Studieninhalte dabei gebracht werden sollten, dürfte an vielen Fakultäten und Fachbereichen künftig näher auszuloten und auszuhandeln sein.

2 Hochschulbefragung zur Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation

Die Digitale Transformation insbesondere der Ingenieurausbildung gehört zu den zentralen hochschulischen Herausforderungen; sind es doch die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure, die diese maßgeblich gestalten werden.

2.1 Erhebungsprogramm und Befragungsdesign

Erhebungsprogramm der Studie

Die Digitale Transformation in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an Hochschulen in Deutschland wurde über drei wesentliche Bereiche (Abb. 2.1) erhoben: zunächst die „Strategien und Organisationsformen“ der Hochschulen zur Umsetzung der Digitalen Transformation, hierzu gehören die strategischen Ziele der Hochschulen, die für die Digitale Transformation zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie Kommunikationsstrukturen und Kooperationsformen der Hochschulen zum Thema. Im Erhebungsbereich „Kompetenzen für eine digitalisierte Arbeitswelt“ werden auf Ebene der Studiengänge einerseits inhaltliche Kompetenzen in den Blick genommen, andererseits die Implementierung digitaler Fachinhalte in den Modulen. Im Bereich „Einschätzungen zur Digitalen Transformation der Hochschulen“ wird der derzeitige Stand der Digitalen Transformation der Hochschulen sowie die Innovationsfähigkeit und -bereitschaft erfragt.

Befragungsdesign

Als Befragungsdesign wurde folgendes Vorgehen gewählt: An allen Hochschulen in Deutschland mit Studiengängen der Ingenieurwissenschaften wurden die Hochschulleitungen auf verschiedenen Ebenen kontaktiert: Die Vizepräsidentinnen und Vizepräsidenten bzw. Prorektorinnen und Prorektoren für Lehre und Studium, die jeweiligen Dekanate mit dem fachlichen Bezug zu den Ingenieurwissenschaften sowie die für die grundständigen Studiengänge (Bachelorstudiengänge) verantwortlichen Studiengangkoordinatorinnen bzw. -koordinatoren (Abb. 2.2.). Für die Auswahl der Hochschulen wurde die Definition der Amtlichen Statistik für die Ingenieurwissenschaften angewendet sowie die der entsprechenden Studienbereiche.

Die Onlinebefragung wurde ab Mitte Dezember 2018 bis Anfang Februar 2019 durchgeführt. Insgesamt wurden 231 Hochschulen kontaktiert. Der höchste gruppenbezogene Rücklauf wurde unter den Vizepräsidentinnen und Vizepräsidenten bzw. Prorektorinnen und Prorektoren für Lehre und Studium erreicht (32 %), unter den Dekaninnen und Dekanen lag er bei 28 %. Am niedrigsten war der Rücklauf aufgrund des delegierten Verfahrens auf Ebene der Studiengänge mit 16 %. Im Rücklauf entspricht die prozentuale Verteilung zwischen Universitäten und Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW)/ Fachhochschulen in etwa der in der Grundgesamtheit vorhandenen. In den Befunden unterscheidet sich das



Abb. 2.1. Erhebungsprogramm Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation

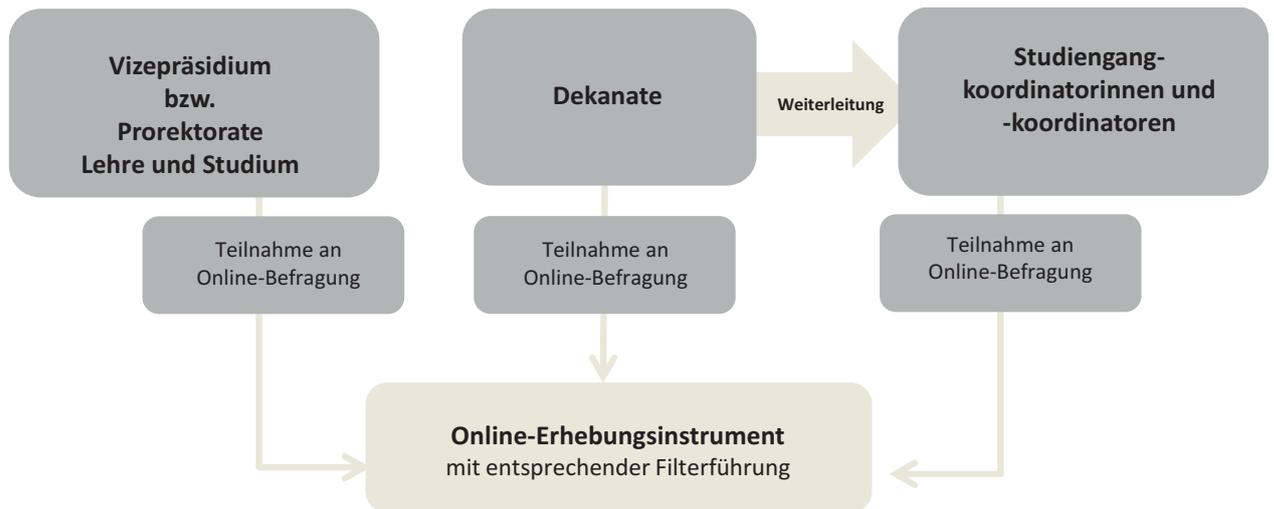


Abb. 2.2. Befragungsdesign Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation

Antwortverhalten zwischen beiden Hochschultypen in der Regel nicht; an den Stellen, an denen Unterschiede feststellbar waren, wurden diese geprüft und an den entsprechenden Stellen im Bericht genannt.

2.2 Strategien, Ressourcen und Organisationsformen im Zusammenhang der Digitalen Transformation an Hochschulen

Digitale Transformation als strategisches Ziel der Hochschulen in Grundsatzpapieren verankert

Die Hochschulen haben die Herausforderungen der Digitalen Transformation aufgenommen. Für insgesamt 78 % der befragten Hochschulen gehört die Umsetzung der Digitalen Transformation zu den expliziten strategischen Zielen der Hochschule. 67 % aller befragten Hochschulvertreterinnen und -vertreter geben an, dass die Digitale Transformation als strategisches Ziel Eingang in den Grundsatzpapiere (z. B. Leitbild der Hochschule) gefunden hat, 60 % erklären, dass die Lehre zur Digitalen Transformation als strategisches Ziel explizit im Bereich Studium und Lehre verankert ist.

Die Hochschulen messen mehrheitlich der Digitalen Transformation einen hohen Stellenwert bei. Im Vergleich mit weiteren großen Herausforderungen für die Hochschulen wie Chancengleichheit und Internationalisierung wird der Digitalen Transformation auf Ebene der Hochschule, auf Ebene der Fakultät wie auch auf Ebene des Studiengangs ein vergleichbar hoher Stellenwert eingeräumt.

Ressourcenausstattung für digitale Transformationsprozesse

Als (eher) gut ausgestattet für die Implementierung von digitalen Transformationsprozessen sehen sich die Hochschulen mit Mitteln für Weiterbildungsangebote, gefolgt von den eingeschätzten Ressourcen für die technische Ausstattung und die Infrastruktur. Problematisch stellen sich dagegen die Ausstattung mit Räumen wie auch die entsprechenden Mittel für Personal dar. Beinahe ein Drittel der befragten Hochschulvertreterinnen und -vertreter schätzt die Mittel für Personal als schlecht ein, ein Viertel die für die räumliche Ausstattung (Abb. 2.3), die befragten Dekaninnen und Dekane bzw. Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren schätzen beide Aspekte schlechter ein als die Hochschulleitungen. Die Mittel für Personal werden zudem an HAW/Fachhochschulen eher schlechter eingeschätzt als an Universitäten. Diese Befunde sind insofern aufschlussreich, als zugleich weit über die Hälfte der befragten Hochschulvertreterinnen und -vertreter gerade Mittel für Personal als erstrangig relevant für die Implementierung digitaler Transformationsprozesse ansieht, an zweiter Stelle Mittel für die technische Ausstattung und Infrastruktur, weniger häufig als relevant benannt werden Mittel für Weiterbildungsangebote.

Hemmende und befördernde Faktoren digitaler Transformationsprozesse wurden auch offen erhoben; die gegebenen Antworten bestätigen die dargestellten Befunde: Zentrales Hemmnis sind hier der Ressourcen- und insbesondere der Personalmangel. Als befördernder Faktor wird ebenfalls das Personal genannt, aber darüber hinaus auch vielfach beispielsweise die Motivation, Zielvereinbarungen und Leistungsanreize.

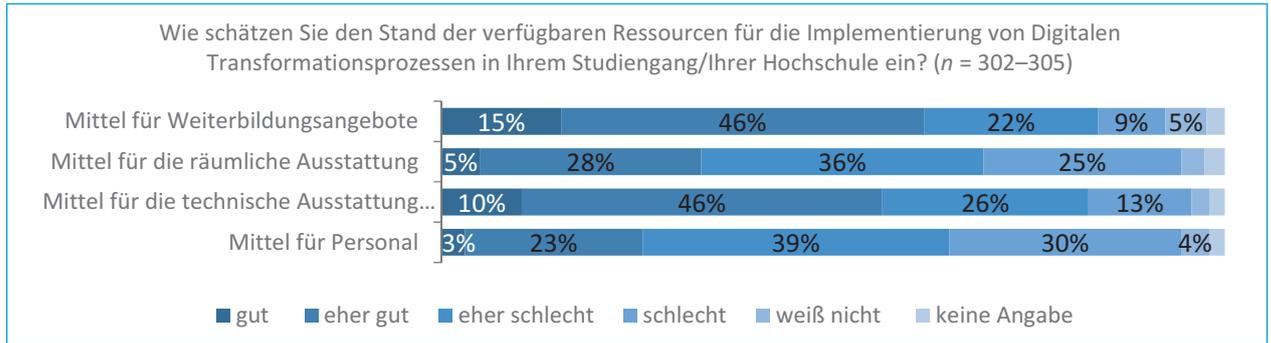


Abb. 2.3. Hochschulische Ressourcen für digitale Transformationsprozesse, Befragtengruppe insgesamt

Die befragten Hochschulvertreterinnen und -vertreter geben an, Mittel für die genannten Bereiche vorrangig intern einzuwerben: Besonders hoch ist der Anteil intern eingeworbener Mittel für die räumliche Ausstattung und für Weiterbildungsangebote. Im Bereich Mitteleinwerbung für Personal halten sich die Angaben die Waage zwischen der vorrangigen internen und externen Einwerbung (Abb. 2.4). Universitäten und HAW/Fachhochschulen unterscheiden sich in Bezug auf die Mitteleinwerbung für die Implementierung digitaler Transformationsprozesse im Bereich Personal und Weiterbildung: an HAW/Fachhochschulen findet sich für beide Bereiche in höherem Umfang jeweils die interne Einwerbung.

Mit welchen organisatorischen Maßnahmen kann die Digitale Transformation befördert werden?

In den Hochschulen haben sich inzwischen verschiedene Anreizsysteme zur Förderung von digitalen Transformationsprozessen etabliert. Am weitesten verbreitet sind nach Auskunft der befragten Hochschulvertreterinnen und -vertreter Lehrpreise für gelungene Praxisbeispiele (45 %) sowie an zweiter Stelle Förderprogramme zur Implementierung von digitalen Fachinhalten (42 %), gefolgt von Zielvereinbarungen zur Implementierung digitalisierter Lehre (31 %). Rund

ein Viertel der Hochschulvertreterinnen und -vertreter kennt keine Anreizsysteme in diesem Bereich.

Welche Kooperationsformen dominieren mit thematischem Bezug zu Digitaler Transformation?

An den Hochschulen dominieren zwei Typen von Kooperationen mit Bezug zur Digitalen Transformation: hochschulinterne Kooperationen (z. B. als interdisziplinärer Austausch zwischen Fakultäten) (28 %) wie auch Kooperationen mit außeruniversitären Partnern (z. B. mit Unternehmen) (26 %). Hochschulübergreifende Kooperationen (z. B. im Rahmen von UAS7, TU 9, HAWtech) finden sich dagegen noch vergleichsweise selten, ebenso regionale Kooperationen oder Verbünde (beide 14 %).

2.3 Innovative Kompetenzen für eine digitalisierte Arbeitswelt

Welchen Stellenwert haben digitale Fachinhalte in den Studiengängen zum jetzigen Zeitpunkt und wie wird es in fünf Jahren aussehen?

Folgende Definition digitaler Fachinhalte wurde in der Befragung zugrunde gelegt: „Zu den klassischen In-

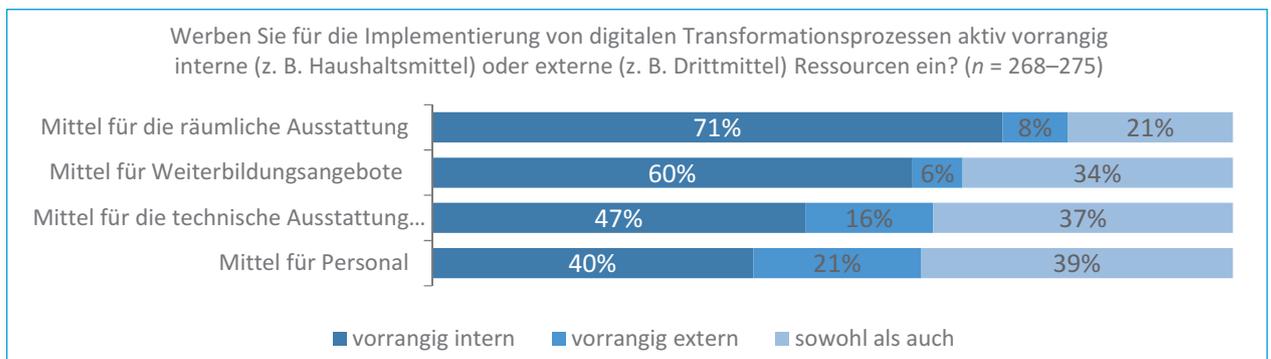


Abb. 2.4. Mitteleinwerbung für digitale Transformationsprozesse, Befragtengruppe insgesamt

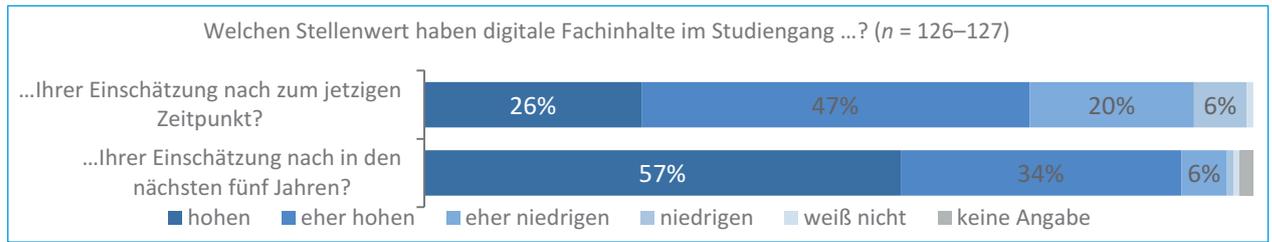


Abb. 2.5. Stellenwert digitaler Fachinhalte aktuell und in fünf Jahren, Befragtengruppe Studiengangebene

halten des Ingenieurstudiums treten Kompetenzen in einem Querschnittsbereich hinzu, der sich als digitale Fachinhalte umschreiben lässt. Diesem Bereich sind neben IT-bezogenen Inhalten im Engeren weitergehende Aspekte wie das Verständnis von neuen, digital induzierten Geschäftsmodellen, von Datensicherheit und -schutz sowie von gesellschaftlichen Implikationen (z. B. Technikfolgenabschätzung) zuzuordnen.“

Ein Viertel der befragten Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren sieht aktuell einen hohen Stellenwert digitaler Fachinhalte im Studiengang, für die kommenden fünf Jahre schätzt dann schon mehr als jede bzw. jeder Zweite einen hohen Stellenwert ein (Abb. 2.5).

Welcher Anteil an Modulen mit digitalen Fachinhalten wurde bereits in den Studiengängen implementiert und wie wird es in fünf Jahren aussehen?

Die „Landschaft der Studiengänge“ mit Blick auf die Implementierung digitaler Fachinhalte ist gegenwärtig als sehr vielfältig zu beschreiben: So wird bezogen auf die Gesamtzahl aller Studiengangmodule der Anteil der Module mit bereits aufgenommenen digitalen Fachinhalten zum jetzigen Zeitpunkt von der größten Gruppe der befragten Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren auf 20 bis 29 % geschätzt. Es gibt jedoch auch Studiengänge mit weitaus niedrigeren Anteilen an Modulen mit digitalen Fachinhalten, ebenso auch solche, in denen bis zu 100 % der Module des Studiengangs umgestellt sind (5 %).

In der vergleichenden Einschätzung des heutigen Stands mit dem angenommenen in fünf Jahren wird deutlich, dass sich der prozentuale Anteil der Module mit digitalen Fachinhalten in den Kategorien ab 50 % zum heutigen Stand nahezu jeweils verdoppelt, z. B. in der Kategorie bis zu 100 % Implementation digitaler Fachinhalte in den Modulen (5 % heute, 12 % in fünf Jahren) (Abb. 2.6).

In einer offenen Frage wurden die derzeitigen wie die künftigen zentralen digitalen Fachinhalte erfragt (Abb. 2.7 und 2.8).

In welcher Weise werden digitale Fachinhalte in Modulen der Studiengänge umgesetzt?

In den befragten ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen wurden bisher vorrangig bestehende Module weiterentwickelt und damit an die Erfordernisse der Digitalen Transformation angepasst. Ebenso gibt es das Modell, dass vollständig neu konzipierte Module im Studiengang implementiert werden, dies betrifft aber vergleichsweise nur einen niedrigeren Anteil der Studiengänge. An dritter Stelle genannt wird die

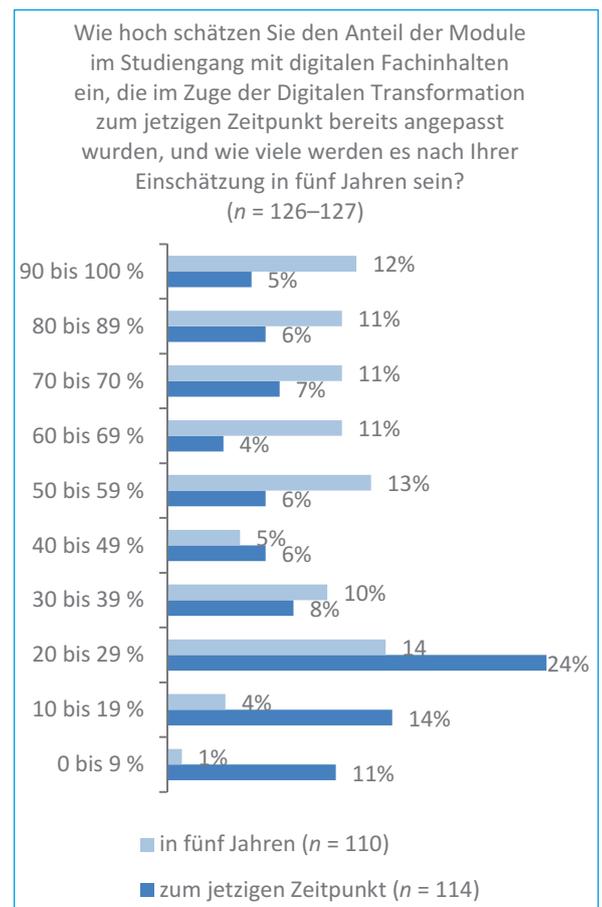


Abb. 2.6. Anteil implementierter digitaler Fachinhalte aktuell und in fünf Jahren, Befragtengruppe Studiengangebene

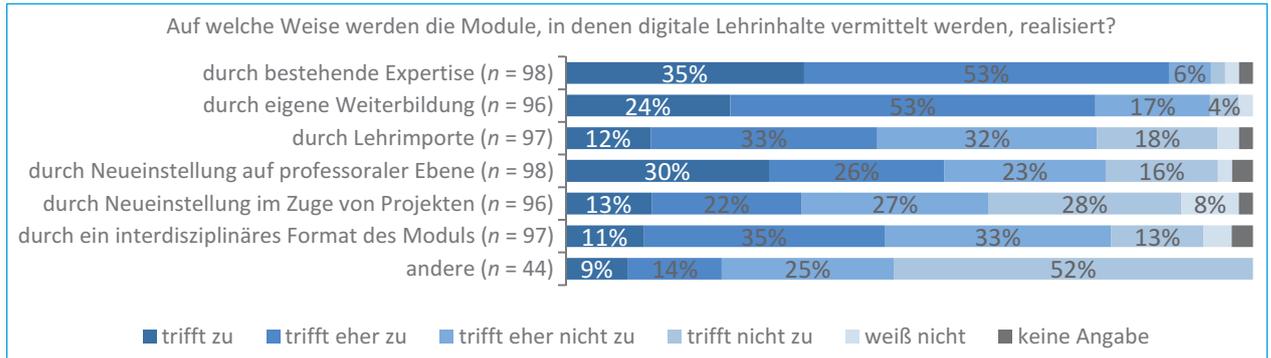


Abb. 2.10. Personale Realisierungsformen von Modulen mit digitalen Lehrinhalten, Befragte Gruppe Studiengangebene

besondere an den HAW/Fachhochschulen. Weniger relevant scheinen derzeit prozentual für die Realisierung von Modulen mit digitalen Lehrinhalten Neueinstellungen im Zuge von Projekten (etwas stärker an Universitäten als an Fachhochschulen), Lehrimporte oder auch interdisziplinäre Formate eines Moduls zu sein (Abb. 2.10).

Welche digitalen Fachkompetenzen werden vermittelt?

In der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung sowie auf dem digitalisierten Arbeitsmarkt spielen die folgenden Fachkompetenzen eine wesentliche Rolle (siehe Kreulich 2018, Kreulich et al. 2016):

- Informatik (z. B. IT-Landschaften, Informations- und Datenmanagement)
- Technik (z. B. Einsatz von Tools)

- Wirtschaft (z. B. Gestaltung von Arbeitsprozessen und Geschäftsmodellen)
- Recht (z. B. Urheberrecht, Datenschutz/-sicherheit)
- Soziales (z. B. Ethik, Technikfolgenabschätzung)

Nach Ansicht der befragten Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren liegen die Schwerpunkte der im Zusammenhang mit der Digitalen Transformation im Studiengang vermittelten Fachkompetenzen im Bereich „Technik“ (91 % geben an, dies trifft (eher) zu) und „Informatik“ (87 % geben an, dies trifft (eher) zu) (Abb. 2.11). Für jede Zweite und jeden Zweiten spielen Kompetenzen im Bereich „Wirtschaft“ eine zentrale Rolle, diese Kompetenz wird in höherem Maße an HAW/Fachhochschulen herausgestellt. Aspekte des Sozialen, wie Ethik und auch Technikfolgenabschätzung, sind für rund ein Drittel Schwerpunkt der im Zusammenhang mit der Digitalen Transformation im Studiengang vermittelten Fachkompetenzen.

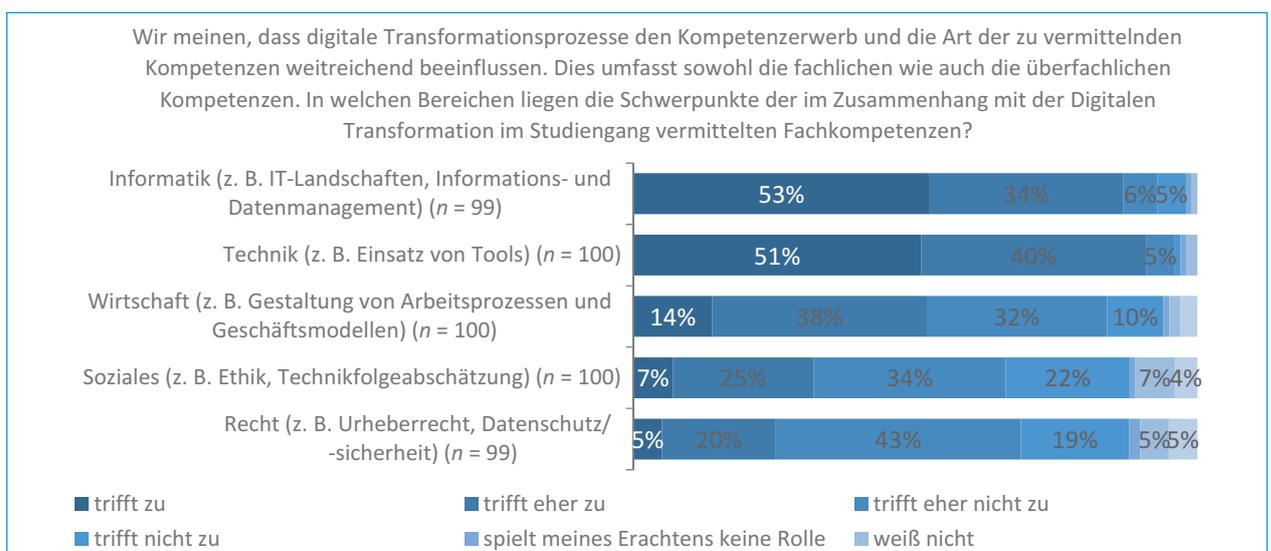


Abb. 2.11. Schwerpunkte vermittelter Fachkompetenzen im Zusammenhang Digitaler Transformation, Befragte Gruppe Studiengangebene

zen. Als weniger zentral erachtet wird derzeit nach Einschätzung der befragten Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren der Bereich „Recht“ (z. B. Urheberrecht, Datenschutz und -sicherheit).

Welche überfachlichen Kompetenzen werden vermittelt?

Analysefähigkeiten, Problemlösekompetenz, (Selbst-)Lernkompetenz sowie Entscheidungskompetenz sind die als wichtig erachteten überfachlichen Kompetenzen eines ingenieurwissenschaftlichen Hochschulstudiums (zu den Kompetenzbereichen vgl. Kreulich et al. 2016, Orth 1999). Werden die überfachlichen Kompetenzen in eine Rangordnung nach den Anteilen der Nennungen durch die Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren gebracht, zeigt sich, dass die entscheidenden und klassischen Kompetenzen die Rangliste anführen: Analysefähigkeit (85 %), Problemlösekompetenz (82 %), (Selbst-)Lernkompetenz (60 %). In einem mittleren Bereich liegt die Bewertung von Simulationsergebnissen (46 %). Als vergleichsweise wenig wichtig für einen digitalisierten Arbeitsmarkt werden dagegen z. B. ethisches Verhalten (28 %), aber auch Aspekte interkultureller Zusammenarbeit (17 %), die Vermittlung von Führungskompetenz (17 %) sowie Data Literacy (15 %) angesehen.

2.4 Innovationsbereitschaft und -fähigkeit zur Digitalen Transformation sowie deren Organisation

Die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung für den digitalisierten Arbeitsmarkt im Zuge der Digitalen Transformation benötigt die Innovationsbereitschaft und -fähigkeit der Hochschulen, Fakultäten und Studiengänge.

Erhoben wurde diese mithilfe eines bereits etablierten Erhebungsinstruments, das für ProfQuest II, die Professorenbefragung des Bayerischen Instituts für Hochschulforschung IHF, entwickelt wurde (Hofmann 2018).

Innovationsbereitschaft und -fähigkeit auf Hochschul-, Fakultäts-, und Studiengangebene

Die Frage zur Innovationsbereitschaft und -fähigkeit wurde für die Ebenen Hochschule, Fakultät und Studiengang an die jeweilig involvierten Befragten-Gruppen gestellt. In der Analyse geben diese Fragen Aufschluss über das jeweils eingeschätzte Ausmaß an Innovationsbereitschaft und schließlich auch eingeschätzter Fähigkeit, die erforderlichen Prozesse der Digitalen Transformation in Angriff zu nehmen. Auf Ebene der Hochschule wird die Bereitschaft höher eingeschätzt als die Fähigkeit (Bereitschaft: 18 % „sehr hoch“, Fähigkeit: 10 % „sehr hoch“). Zudem zeigt sich, dass sich der größte Anteil befragter Hochschulvertreterinnen und -vertreter mit ihrer Einschätzung im unentschiedenen mittleren Bereich befinden, ein verschwindend kleiner Anteil sieht sowohl die Bereitschaft zur Innovation wie auch die Fähigkeit dazu als „sehr gering“ an (2 % bzw. 1 %, Abb. 2.12).

Auf Ebene der Fakultät und des Studiengangs ergibt sich ein ähnliches Bild. Wie auf Ebene der Hochschule wird jeweils die Bereitschaft zur Innovation in Bezug auf die Digitale Transformation höher eingeschätzt als die Fähigkeit dazu (Bereitschaft: 20 % „sehr hoch“, Fähigkeit: 14 % bzw. 15 % „sehr hoch“). Auch hier gibt es einen relativ großen „Mittelbereich“ und einen sehr geringen Anteil, der die Innovationsbereitschaft wie auch die -fähigkeit der Fakultät bzw. des Studiengangs als „sehr gering“ einschätzt.

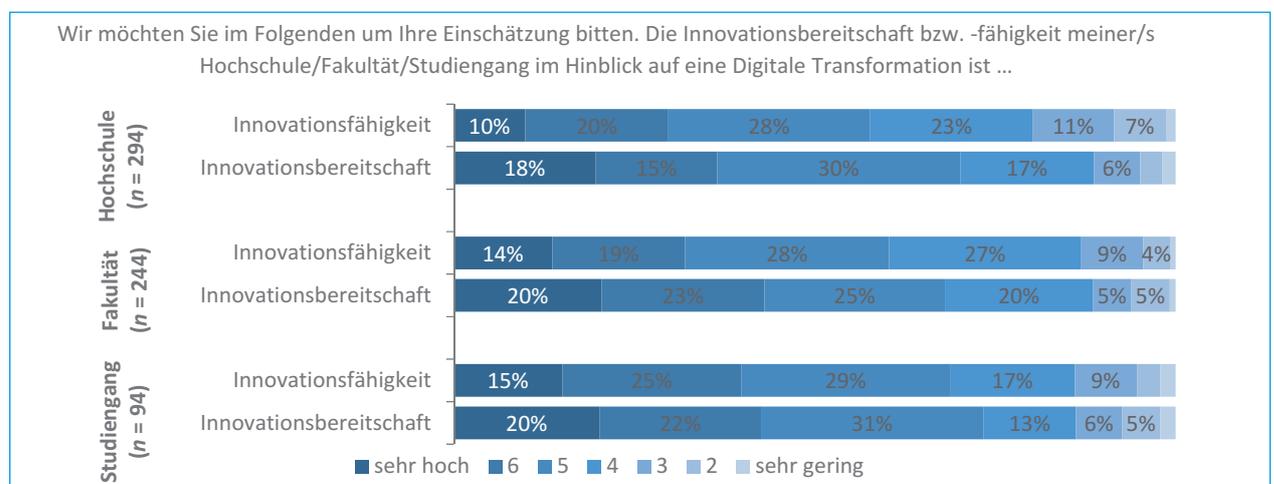


Abb. 2.12. Gesamteinschätzung zur Innovationsbereitschaft und -fähigkeit auf Hochschul-, Fakultäts- und Studiengangebene, Befragtengruppe insgesamt bzw. Studiengangebene (Skala Hofmann 2018)

Innovationsfähigkeit und -bereitschaft in Studiengängen (Selbsteinschätzung und Einschätzung des Kollegiums)

Auf Ebene des Studiengangs findet sich bei den Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren ein vergleichsweise hohes Maß an Eigeninitiative in Bezug auf digitale Transformationsprozesse: eine

hohe Bereitschaft, sich mit Kolleginnen und Kollegen hinsichtlich der Kompetenzziele im Studiengang abzustimmen, sowie die Bereitschaft, die eigenen Lehrveranstaltungen zu überarbeiten. Werden die Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren gebeten, ihr Kollegium hinsichtlich Innovationsbereitschaft und -fähigkeit einzuschätzen, fallen die Beurteilungen weniger positiv aus (Abb. 2.13 und 2.14).

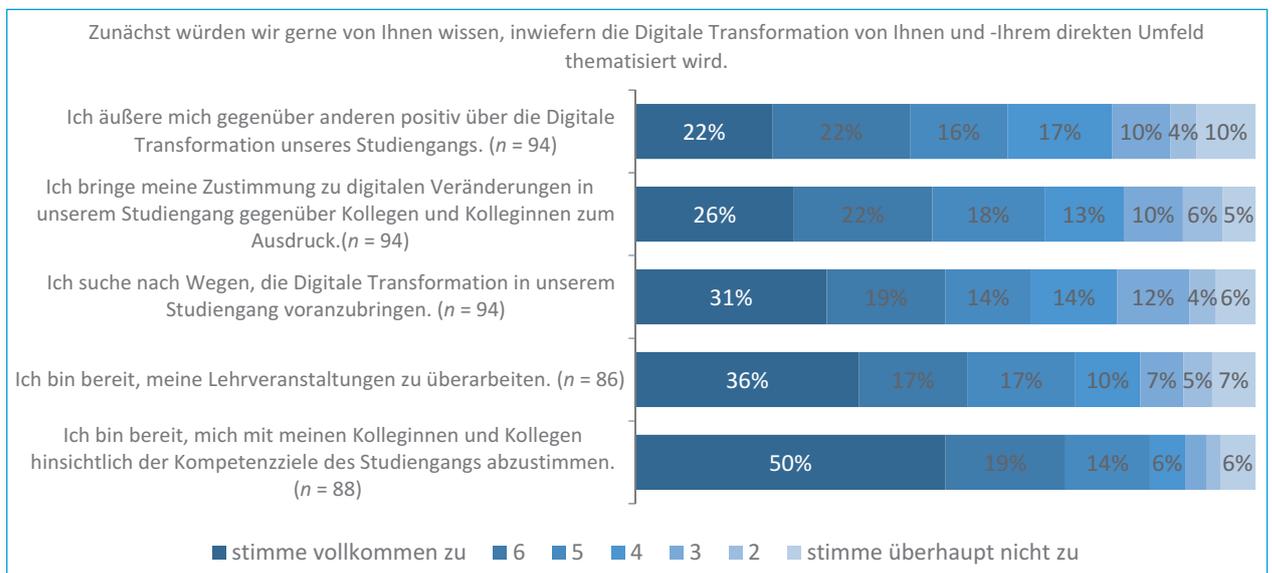


Abb. 2.13. Selbsteinschätzung der Studiengangkoordinatorinnen und -koordinatoren zur Digitalen Transformation, Befragtengruppe Studiengangebene (Adaption Skala Hofmann 2018)

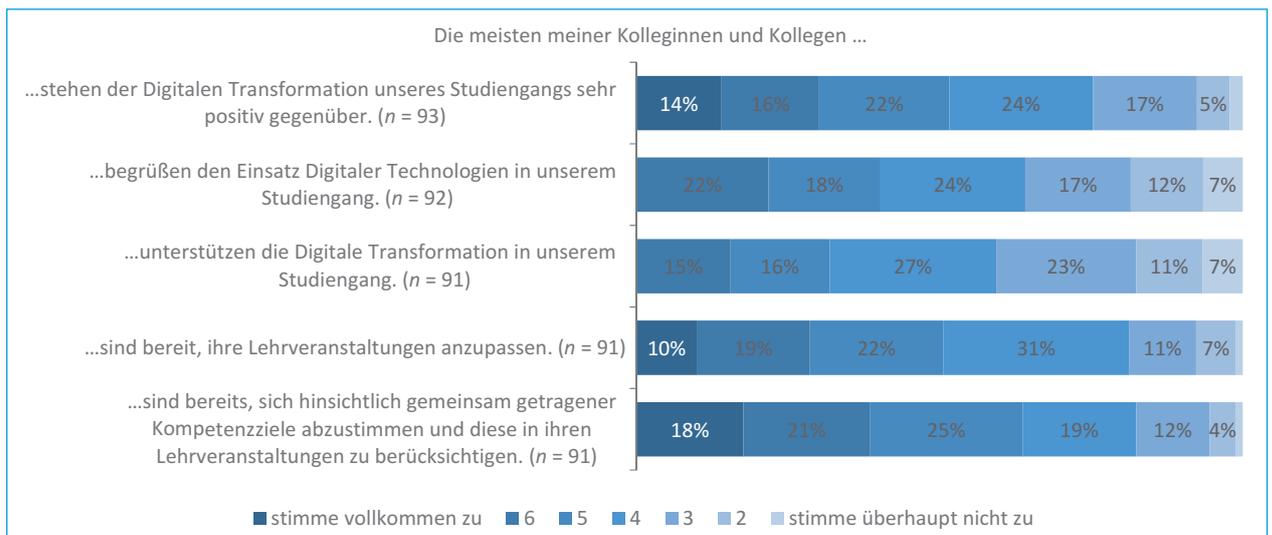


Abb. 2.14. Einschätzung zur Digitalen Transformation im Kollegenkreis auf Ebene des Studiengangs, Befragtengruppe Studiengangebene (Adaption Skala Hofmann 2018)

3 Befragung der Studierenden sowie Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger des VDI

3.1 Erhebungsprogramm und Befragungsdesign

Der VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. hat rund 150.000 freiwillige persönliche Mitglieder. Davon gehören dem Netzwerk „Studenten und Jungingenieure“ (SuJ) in etwa 28.000 Mitglieder an. Jungingenieurinnen und Jungingenieure sind all jene, die sich nach dem Studium in den ersten fünf Berufsjahren befinden und im Weiteren als Berufseinsteigerinnen und -einsteiger bezeichnet werden. Beide Gruppen wurden mit für ihre Zielgruppe angepassten, teilweise identischen Fragebögen per E-Mail über die VDI-Hauptgeschäftsstelle angeschrieben. Die wesentlichen Erhebungsbereiche der Befragung finden sich in Tabelle 3.1.

Die Online-Befragung ist vom 22.01. bis zum 05.02.2019 durchgeführt worden. Als zusätzlicher Anreiz für die Teilnahme sind fünf 50-Euro-Gutscheine verlost worden. Von etwa 12.000 Studierenden haben

933 (8 %) teilgenommen, bei den Berufseinsteigerinnen und -einsteigern sind es von etwa 16.000 mit 652 Teilnehmenden 4 %. Beide Gruppen haben den Bogen zu gut 70 % vollständig abgeschlossen.

3.2 Studierende

Die Erhebung bei den Studierenden konzentriert sich vor allem auf die aktuell an den Hochschulen vermittelten Lehrinhalte sowie auf die Frage nach Treibern und Hemmnissen im Zusammenhang mit der Einbindung digitaler Fachinhalte.

Zusammensetzung der Befragten

20 % der Befragten sind weiblich. 52 % studieren im Bachelor, 41 % im Master, dabei sind 46 % an einer staatlichen Universität und 49 % an einer staatlichen HAW eingeschrieben. Durchschnittlich sind die Studierenden etwa 24–25 Jahre alt und studieren im 8. Semester.

Tabelle 3.1. Erhebungsbereiche

Studierende	Berufseinsteigerinnen und -einsteiger
digitale Fachinhalte im Studiengang	digitale Fachinhalte im Studium
erwartete Vorbereitung auf spätere Tätigkeit	benötigte digitale Fachinhalte im Beruf
Formate bei der Vermittlung digitaler Fachinhalte	
organisatorische Einbindung Studierender	
Stellenwert der Digitalen Transformation im Umfeld	Stellenwert der Digitalen Transformation im Umfeld
Treiber und Hemmnisse der Curriculumentwicklung	

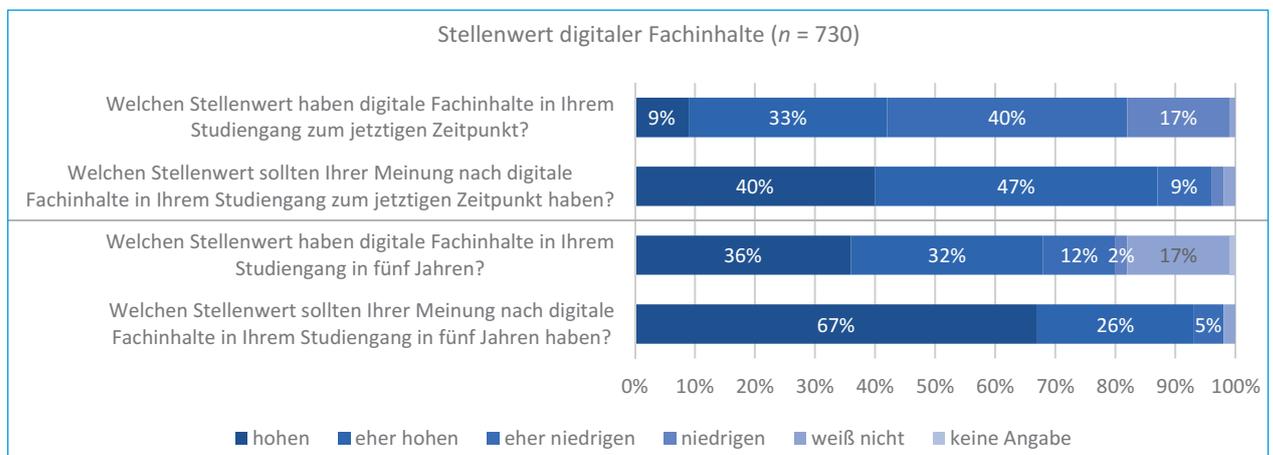


Abb. 3.1. Stellenwert digitaler Fachinhalte

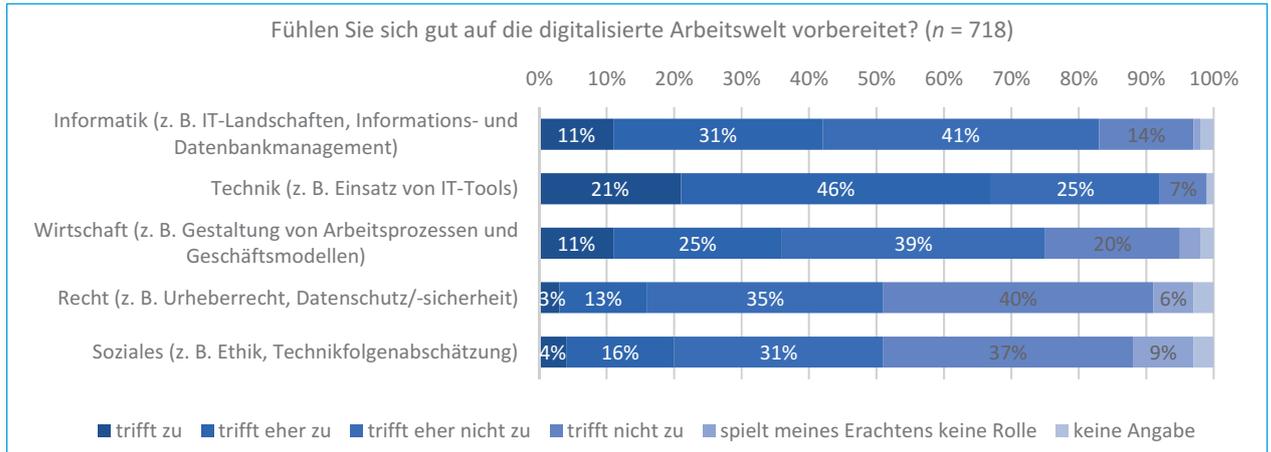


Abb. 3.5. Vorbereitung auf die digitalisierte Arbeitswelt

Die Wortwolken bereits implementierter und noch zu implementierender digitaler Fachinhalte (Abb. 3.3 und 3.4) zeigen, dass sich die als besonders wichtig erachteten Inhalte von den vermittelten deutlich unterscheiden.

Erwartete Vorbereitung auf spätere Tätigkeit

Gefragt wurde weiter nach der von den Studierenden erwarteten Angemessenheit der Vorbereitung auf die digitale Arbeitswelt (Abb. 3.5).

Formate bei der Vermittlung digitaler Fachinhalte

Nach Angabe der Studierenden werden vornehmlich disziplinäre Formate bei der Vermittlung digitaler Fachinhalte verwendet (58 % trifft (eher) zu) gefolgt von interdisziplinären Formaten (49 %) weit vor transdisziplinären Formaten (17 %). Für besonders geeignet halten sie interdisziplinäre Formate. Auch wenn transdisziplinäre Formate in Summe als am wenigsten geeignet eingeschätzt werden, erachten deutlich mehr Studierende solche Formate als gewinnbringend, als sie es aktuell in der Anwendung erleben.

Organisatorische Einbindung Studierender

Während 68 % der Befragten „trifft zu“ und 27 % „trifft eher zu“ angeben, dass die Einbindung Studierender bei der Weiterentwicklung der Studiengänge als sehr wichtig erachtet wird, bestätigen nur 9 % mit „trifft zu“ und 30 % mit „trifft eher zu“ eine tatsächliche Einbindung der Studierenden (n = 659).

Stellenwert der Digitalen Transformation im Umfeld

Analog zur Befragung bei den Professorinnen und Professoren sind die Studierenden um eine Einschätzung der Rolle der Digitalen Transformation in ihrem Umfeld gebeten worden. Wie bei den Lehrenden wurde mit einer persönlichen Einschätzung begonnen. Besonders auffällig sind die sehr hohe Bereitschaft, die eigenen Studienschwerpunkte anzupassen, und die hohe Zustimmung in Bezug auf die Digitale Transformation im Studiengang.

Da teilweise bei der Einschätzung Dritter viele Studierende „keine Angabe“ wählten, sind diese in den Prozentzahlen ausgenommen (n = 464–628).

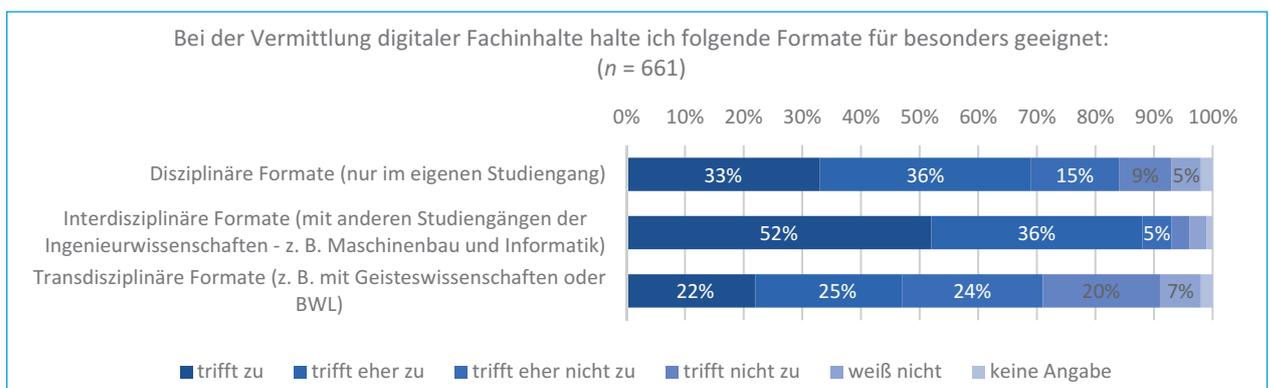


Abb. 3.6. Formate für die Vermittlung digitaler Fachinhalte

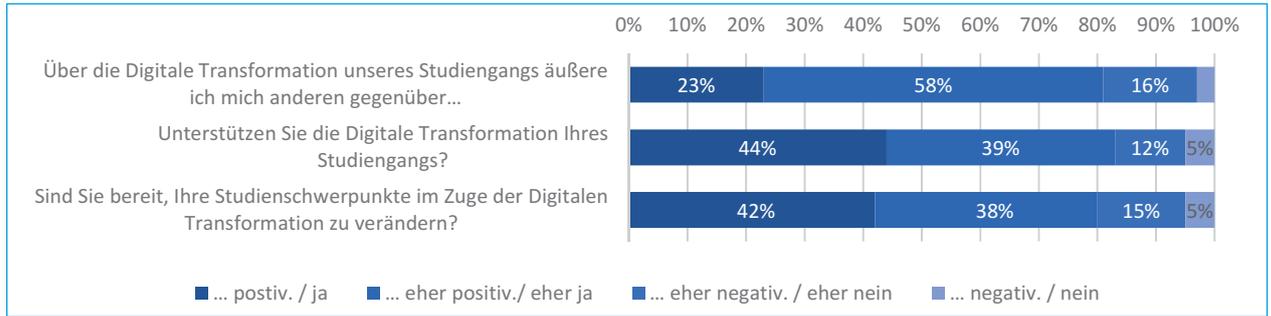


Abb. 3.7. Haltung gegenüber dem digitalen Wandel

Zurückhaltender werden die Mitstudierenden und Lehrenden eingeschätzt. Besonders interessant ist die Einschätzung der Bereitschaft zum Wandel. Die Antworten auf die Frage, ob die meisten der jeweiligen Gruppe dazu bereit seien, ihren Studienschwerpunkt bzw. ihre Lehre im Zuge der Digitalen Transformation anzupassen, finden sich in Abb. 3.8.

Treiber und Hemmnisse der Curriculumentwicklung

Abschließend sind Treiber und Hemmnisse als offene Fragen abgefragt worden. Die Antworten wurden in Clustern gebündelt. Eine Antwort mit mehreren Gründen wird mehreren Clustern zugeordnet.

Als Hemmnis nehmen die Studierenden vor allem konservativ eingestellte oder neuen Inhalten ablehnend gegenüberstehende Professorinnen und Professoren wahr (in 56 % der Antworten, $n = 394$). 19 % der Antworten beziehen sich auf finanzielle Rahmenbedingungen und mangelnde Ausstattung an den Hochschulen. Jeweils 14 % entfallen auf zu bürokratische Prozesse sowie den zu stehenden Aufwand bzw. Umfang für eine Curriculumentwicklung. Mangelnde Kenntnisse bei den Lehrenden oder die mangelnde Möglichkeit, neue Lehrpersonen einzustellen, geben 11 % an als größtes Hemmnis an.

Als größten Treiber (20 % der Antworten, $n = 355$) sehen Studierende die Kooperationen mit Unternehmen oder Personen aus der Wirtschaft – weitere 11 % die Bedarfe und Anforderungen des Arbeitsmarkts. Aktive Professorinnen und Professoren geben 14 % als wichtigste Treiber an. 10 % sehen finanzielle Anreize

als beste Unterstützung für die Curriculumentwicklung. Die Aktualität und auch das damit verbundene Image für eine Hochschule geben 10 % als besonders große Anreize an.

Unterschiede zwischen Universitäts- und HAW-Studierenden

Es treten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Antworten HAW-Studierender und denen an Universitäten auf – in allen nachfolgend beschriebenen Fällen wurden die HAW besser bewertet als die Universitäten. Diese machen sich in dem Bereich des Stellwerts der Digitalen Transformation sowie der Einbindung digitaler Fachinhalte bemerkbar – insbesondere bezüglich der Themen Informatik, Technik und Wirtschaft. Bei der erwarteten Vorbereitung auf die digitalisierte Arbeitswelt gilt dies für die Bereiche Wirtschaft und Recht, wobei sich an beiden Hochschulformen verstärkt Inhalte gewünscht werden.

Besonders deutlich wird der Unterschied bei der wahrgenommenen Bereitschaft der Professorinnen und Professoren, ihre Lehre im Zuge der Digitalen Transformation anzupassen (gesamt: Abb. 3.8, getrennt: Abb. 3.9).

3.3 Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger

Die Erhebung bei den Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteigern konzentriert sich vor allem auf den Bedarf digitaler Fachinhalte in der aktuellen Tätigkeit und die Vorbereitung darauf.

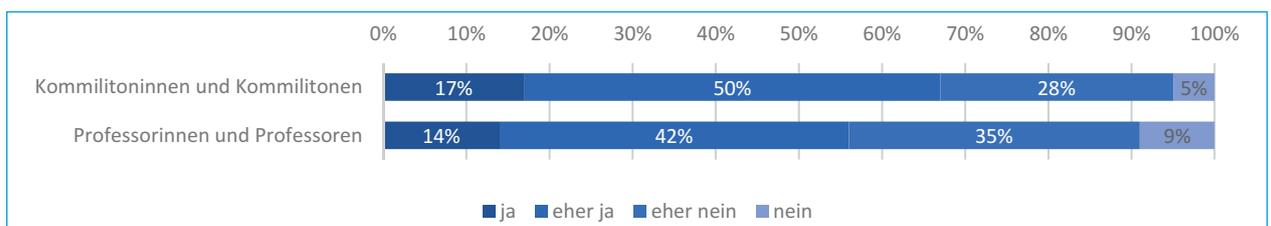


Abb. 3.8. Wahrgenommene Haltung Dritter gegenüber dem digitalen Wandel

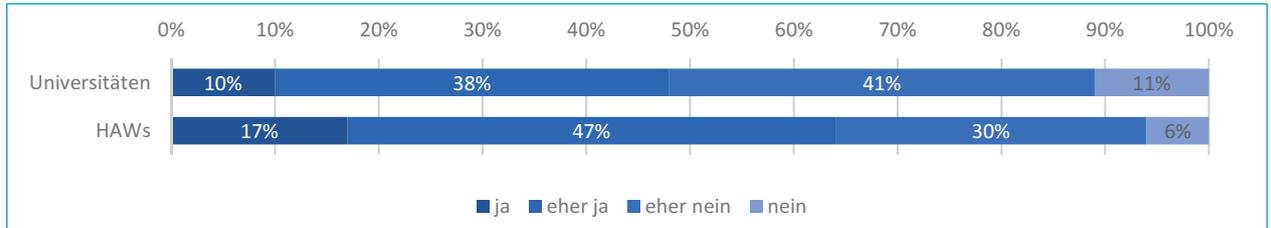


Abb. 3.9. Bereitschaft, Lehre anzupassen (Vergleich Universitäten und HAW)

Zusammensetzung der Befragten

15 % der 652 Befragten sind weiblich, das Durchschnittsalter liegt bei etwa 28–29 Jahren. Als höchsten Abschluss haben 31 % einen Bachelor, 57 % einen Master, und 7 % ein Diplom. 4 % sind promoviert. 42 % haben ihren Abschluss an einer staatlichen Universität und 50 % an einer staatlichen HAW erlangt.

Am häufigsten vertreten sind Absolvierende des Maschinenbaus (36 %) gefolgt vom Wirtschaftsingenieurwesen (13 %), der Elektrotechnik und dem Bauingenieurwesen (je 7 %). Andere Studiengänge machen insgesamt 37 % aus.

Obwohl die Antworten von Absolvierenden aus dem Maschinenbau stark in der Mehrzahl sind, hat ein Vergleich ein nur leicht abweichendes Antwortverhalten im Vergleich zu den anderen Studiengängen ergeben. Weiter wurde nach dem Zeitpunkt des Abschlusses gefragt (Abb. 3.10).

Äußerst homogen sind die Befragten in internationalen Fragen. Über 97 % der Befragten haben ihren Abschluss in Deutschland erlangt, bei mehr als 93 % handelt es sich um einen Abschluss in einem nicht hauptsächlich englischsprachigen Studiengang.

23 % der Befragten sind in Forschung und Entwicklung in Unternehmen tätig, 17 % im Management, 13 % in F&E an Hochschulen, Forschungszentren etc., 12 % im Konstruktionsbereich sowie 11 % im Produk-

tionsbereich und 9 % üben Beratertätigkeiten aus. Mit über 93 % arbeitet der größte Anteil als Angestellter. Circa 70 % sind Fachmitarbeitende, 11 % arbeiten im Lower-Level-Management (z. B. Gruppenleitung) und 5 % im Middle-Level-Management (z. B. Abteilungsleitung). 11 % sind beschäftigt in Betrieben mit weniger als 20, 12 % mit weniger als 50, 22 % mit weniger als 500 und 50 % mit mindestens 500 Mitarbeitenden.

Digitale Fachinhalte im Studium

Auch wenn das Studium und vor allem die letzte Curriculumentwicklung bei den Befragten schon teilweise länger zurückliegen, wurde nach digitalen Fachinhalten im Studium gefragt. Verglichen nach Abschlussjahren vor 3 bis 4 Jahren mit den jüngeren Jahrgängen zeigt sich ein signifikanter Rückgang der Antwortkategorie 7. Dieser verteilt sich allerdings hauptsächlich auf die Kategorien 6 und 5 (Abb. 3.11).

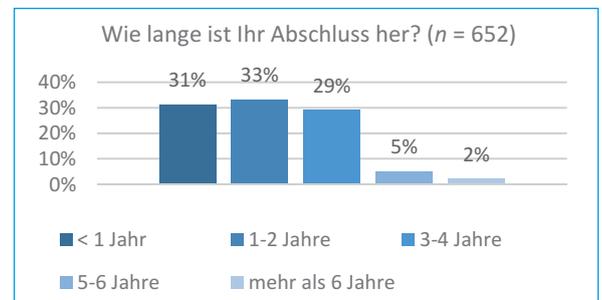


Abb. 3.10. Zeitpunkt des Abschlusses

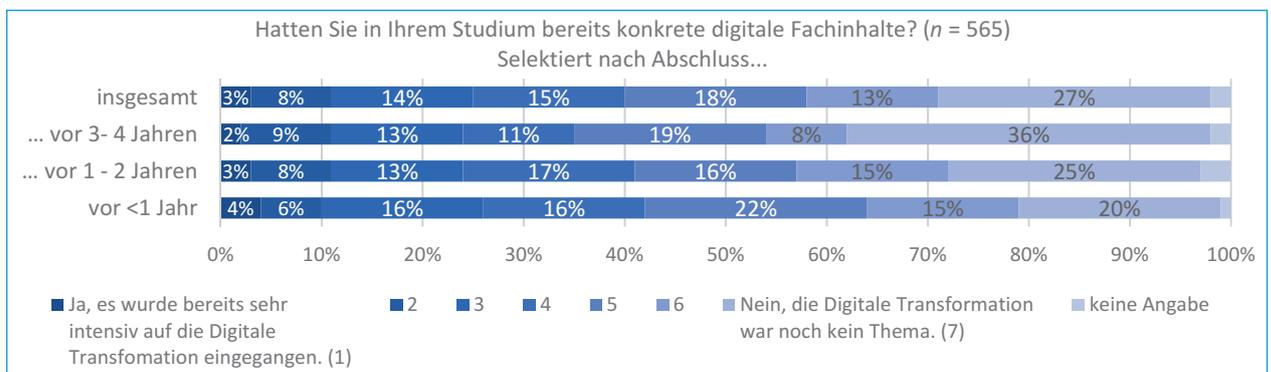


Abb. 3.11. Im Studium vermittelte digitale Fachinhalte

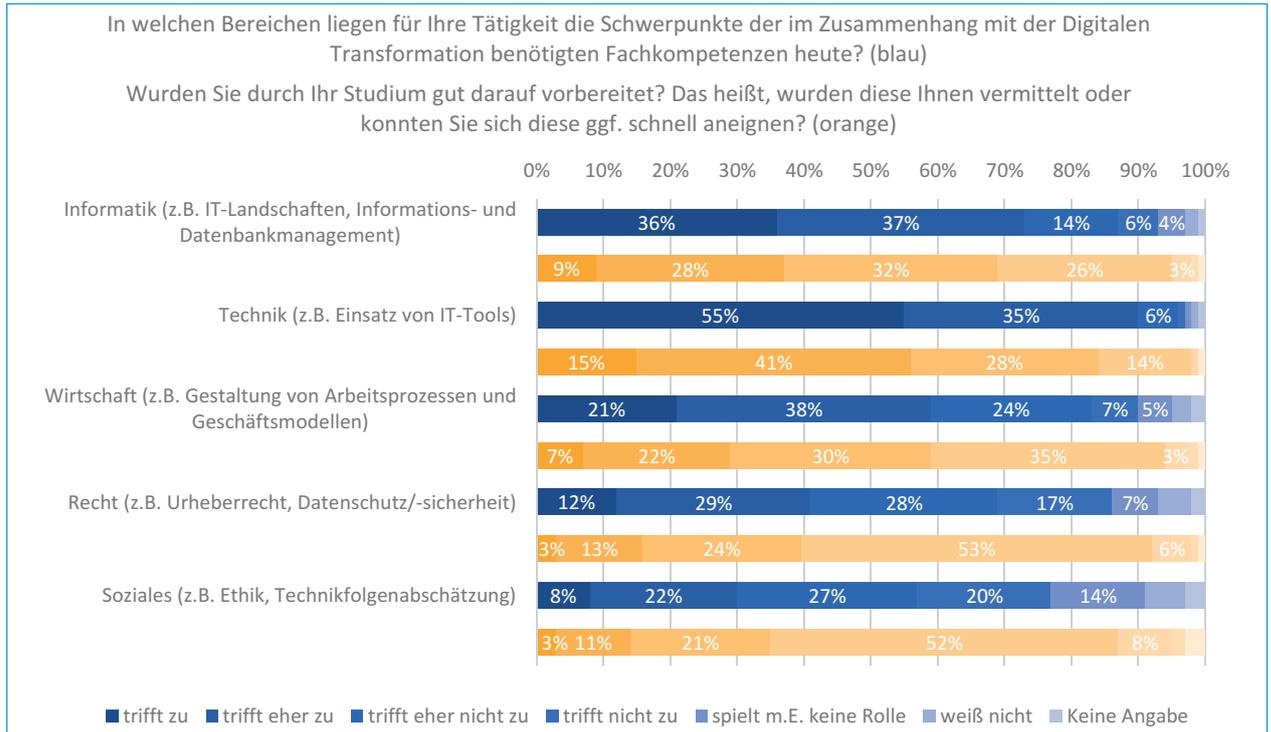


Abb. 3.12. Vergleich benötigter digitaler Fachinhalte und Vorbereitung auf diese

Benötigte digitale Fachinhalte im Beruf und Vorbereitung auf diese

Zunächst wurde erhoben, in welchen Bereichen die Schwerpunkte der benötigten Fachinhalte im Zusammenhang mit der Digitalen Transformation für die eigene Tätigkeit heute liegen (blau, n = 506). Anschließend wurde gefragt, ob die Befragten durch

ihr Studium gut auf die jeweiligen Inhalte vorbereitet wurden? Das heißt, wurden diese Ihnen vermittelt oder konnten sie sich diese gegebenenfalls schnell aneignen? (orange, n = 505, Abb. 3.12).

Die Wortwolken (Abb. 3.13 und 3.14) vergleichen bereits im Studium implementierte Inhalte und

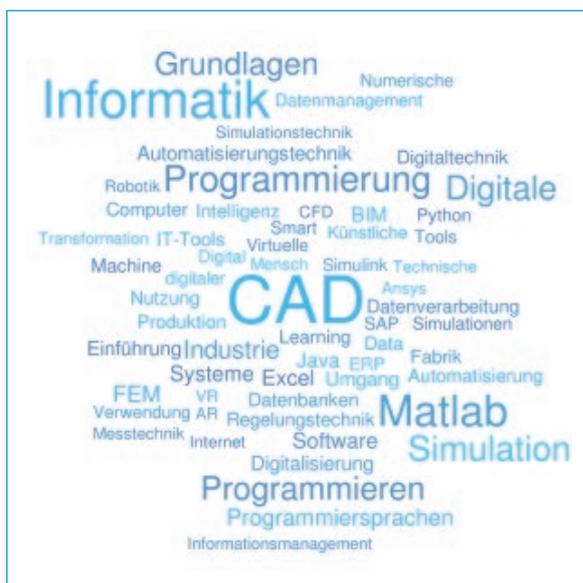


Abb. 3.13. Implementierte Fachinhalte



Abb. 3.14. Zu implementierende Fachinhalte

zukünftig zu implementierende digitale Fachinhalte aus Sicht der Berufseinsteigerinnen und -einsteiger.

Darüber hinaus wurde die erwartete Bedeutung der digitalen Fachkompetenzen in fünf Jahren erhoben (Abb. 3.15).

Die Ergebnisse der Einschätzung zur gesamtgesellschaftlichen Relevanz der in Abb. 3.15 genannten Fachkompetenzen zeigt, dass die Berufseinsteigerinnen und -einsteiger „Informatik“ und „Wirtschaft“ etwas höher und „Technik“ etwas niedriger bewerten. Eine hohe Diskrepanz gibt es bei „Recht“ (44 % „trifft zu“, 30 % „trifft eher zu“) und „Soziales“ (41 % „trifft zu“, 29 % „trifft eher zu“).

Stellenwert der Digitalen Transformation im Umfeld

Da viele Berufseinsteigende teilweise bei der Einschätzung Dritter „keine Angabe“ gewählt haben, werden diese in den Prozentzahlen ausgenommen ($n = 402-462$). Selbst geben sich die Berufseinsteigerinnen und -einsteiger gegenüber der Digitalen Transformation als sehr positiv eingestellt an.

Die Haltung Dritter schätzen sie zurückhaltender ein, insbesondere die Haltung der Kolleginnen und Kollegen (Fachebene), die Führungskräfte bewerten sie etwas besser. Besonders deutlich wird dies bei der wahrgenommenen Bereitschaft, das Tätigkeitsfeld im Zuge der Digitalen Transformation zu verändern (Abb. 3.17).

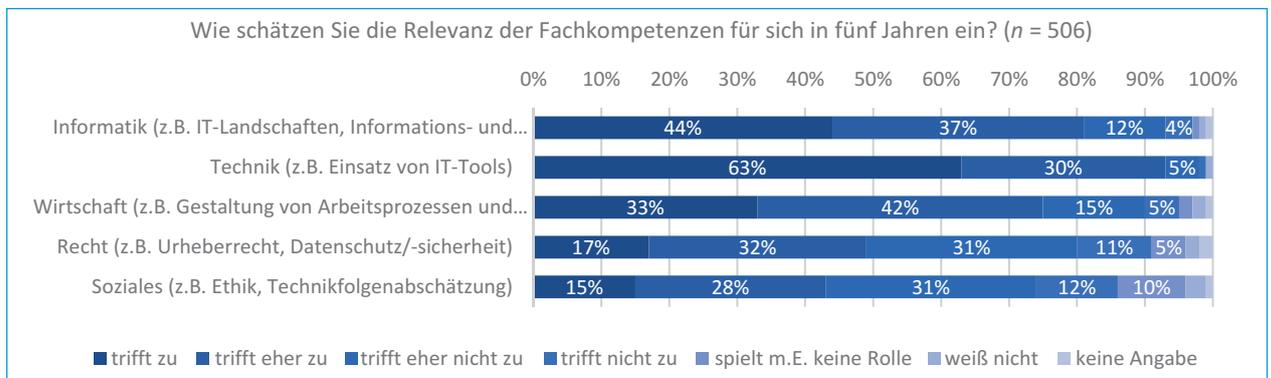


Abb. 3.15. Relevanz digitaler Fachkompetenzen in fünf Jahren

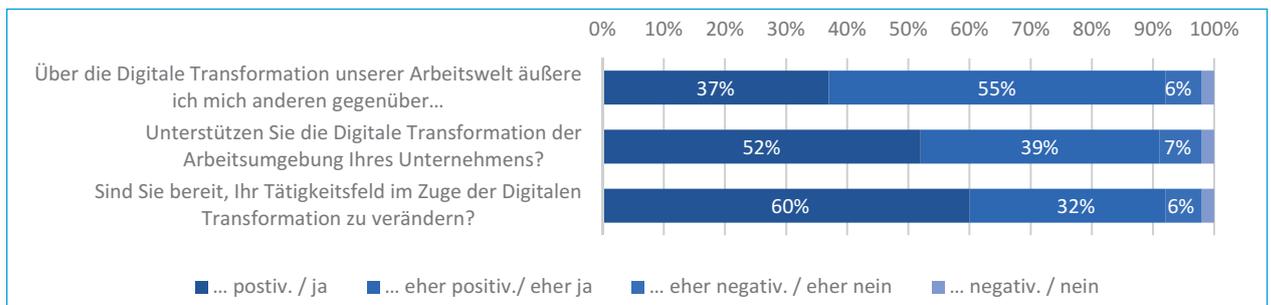


Abb. 3.16. Haltung gegenüber dem digitalen Wandel

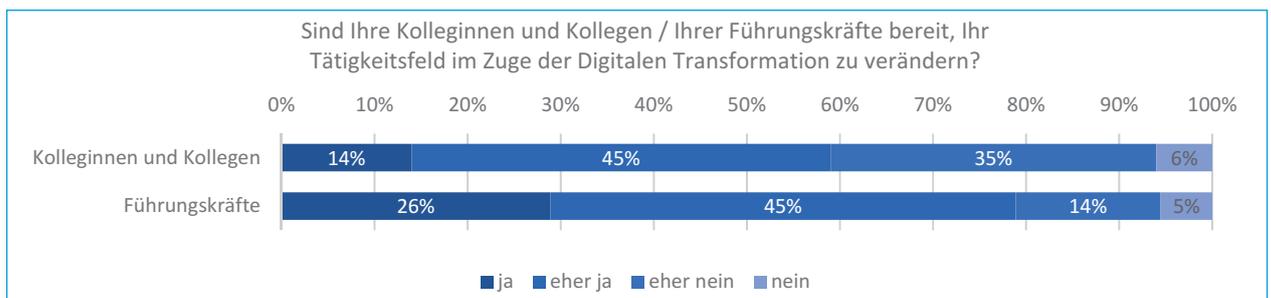


Abb. 3.17. Bereitschaft Dritter, das eigene Tätigkeitsfeld anzupassen

4 Handlungsfelder und Empfehlungen

Deutschlands heutige Stellung als ein im internationalen Vergleich führender Technologie- und Produktionsstandort resultiert u. a. aus der Innovationskraft des Ingenieurwesens in den vergangenen Jahrzehnten. Damit diese exzellente Position auch künftig erhalten bleibt, muss das Studium die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure für die Digitale Transformation ausbilden und auf die digitalisierte Arbeitswelt vorbereiten.

Der **Prozesszyklus** (Abb. 4.1) betrifft alle Ebenen der Hochschulbildung – von der Bildungspolitik über die Rektorats- und Fakultätsebene bis zur Studiengangebene. Er identifiziert verschiedene Handlungsfelder an den Hochschulen und in der Hochschulpolitik allgemein. Für jedes dieser Handlungsfelder werden nachfolgend **Empfehlungen** formuliert, die es für die Curriculumentwicklung in der Digitalen Transformation an den Hochschulen in den Blick zu nehmen gilt.

4.1 Umfeldanalyse: Digitale Transformation

Die Digitale Transformation wirkt aktuell auf alle Bereiche des Ingenieurwesens mit einer **starken Dynamik**. Die große Mehrheit der Befragten aller Gruppen ist der Meinung, dass die **Bedeutung digitaler Fachinhalte in den nächsten fünf Jahren weiter deutlich zunehmen wird** (Abb. 2.5, 3.1 und 3.15).

Die Befragung der VDI-Berufseinsteigerinnen und -einsteiger (mit bis zu vier Jahren Berufserfahrung)

zeigt, dass diese digitale Fachinhalte in ihrer täglichen Arbeit benötigen, sie sich jedoch durch die Inhalte ihres zurückliegenden Studiums **nicht ausreichend vorbereitet** fühlen (Abb. 3.12). Dabei ergibt ein Gruppenvergleich nach Abschlussjahren, dass keine intensive Zunahme der Vermittlung digitaler Fachinhalte in den letzten Jahren erfolgte (Abb. 3.11).

VDI-Empfehlung:
Eine **Überarbeitung der Curricula ist geboten** und muss schnellstmöglich umgesetzt werden. Aktuelle Inhalte der letzten Jahre müssen hinterfragt und bewertet werden und neue Inhalte sind hinzuzufügen.

4.2 Handlungsfeld: Strategische Ziele setzen

Die Notwendigkeit zur **Verankerung der Digitalen Transformation in jeder Hochschulstrategie** (bspw. durch Hochschulentwicklungspläne) sowie die Etablierung einer hochschulweiten digitalen Kultur werden von der Mehrheit getragen. Während im jüngsten EFI-Gutachten konstatiert wird, dass nur 14 % der Hochschulen dies „schriftlich“ implementiert haben (EFI 2019, S. 94; Gilch et al. 2019, S. 65 f. und S. 109), geben im Gegensatz dazu die Befragten der Hochschulen an, dass eine „Verankerung“ schon zu 60 % im Bereich Studium und Lehre geschehen sei.

Die Befragungen beleuchten einen für den Standort Deutschland zentralen Change-Prozess, der in dieser

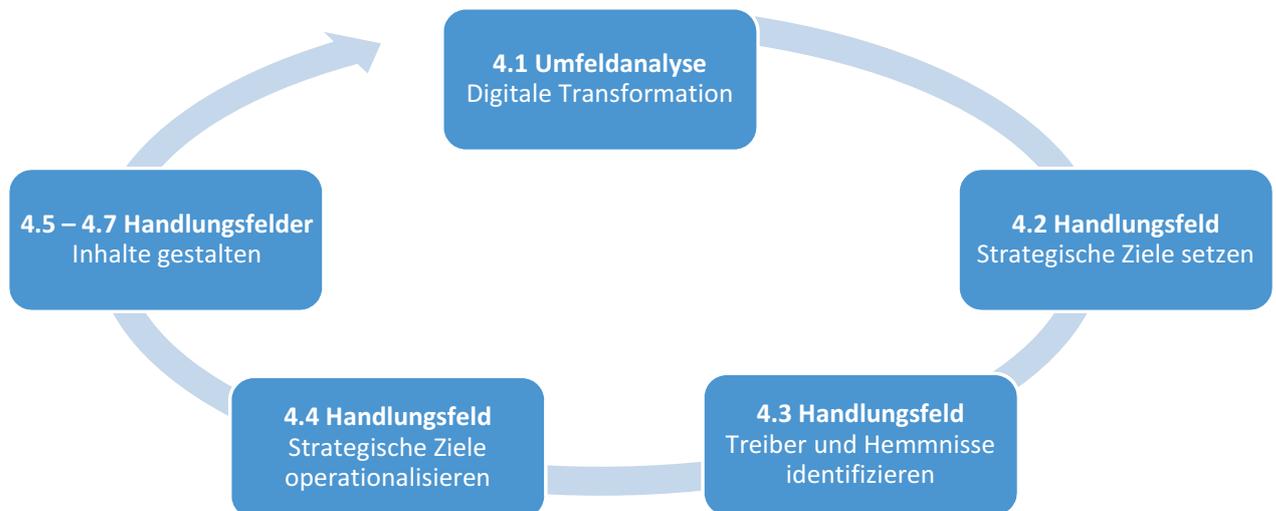


Abb. 4.1. Prozesszyklus und Handlungsfelder

Form im Rahmen der Qualitätsmanagementsysteme der Hochschulen nicht durchgängig explizit evaluiert wird (vgl. Seidl & Vonhoff 2017, S. 30). Jeder **Change-Prozess** sollte innerhalb des Systems **kritisch begleitet und evaluiert werden** und muss bei allen Stakeholdern in seinen Elementen sichtbar sein.

VDI-Empfehlung an Hochschulen:

Die Digitale Transformation muss sich prominent in den **Grundsatzpapieren der Hochschulen** niederschlagen. Nur so sind **gemeinsam verstandene Ziele entwickel- und umsetzbar**.

VDI-Empfehlung an die Politik:

Ein **Digitalpakt für Hochschulen** ähnlich dem für die Schulen ist zu diskutieren.

4.3 Handlungsfeld: Treiber und Hemmnisse identifizieren

Digitale Transformationsprozesse können an Hochschulen befördert und gehemmt werden. Die verschiedenen Befragungsergebnisse sowie der Fachdiskurs im VDI werden im Folgenden zusammengefasst und bewertet. Daraus resultierende Empfehlungen werden im Abschnitt 4.4 formuliert.

Treiber

Die Fachdiskussionen und die Befragung der Lehrenden zeigen, dass bislang **einzelne, motivierte Professorinnen und Professoren** als fördernde Kräfte der Digitalen Transformation agieren. Auch VDI-Studierende sehen aktive Lehrende als Treiber (14 %), benennen jedoch deutlich häufiger **Kooperationen mit Unternehmen** und **Anforderungen des Arbeitsmarkts** als fördernde Faktoren (31 %).

An den Hochschulen wird durchgängig die **Bereitschaft zur Umsetzung digitaler Transformationsprozesse** höher eingeschätzt als die Fähigkeit dazu (Abb. 2.12). Ebenso zeigen Studierende eine **sehr hohe Bereitschaft**, ihre **Studienschwerpunkte zu verändern** (Abb. 3.7).

Hemmnisse

Deutlich unterschiedlich bewerten Lehrende und Studierende den **Stellenwert digitaler Fachinhalte** im Studium (Abb. 2.5 und 3.1). 40 % der Studierenden geben sogar an, dass digitale Fachinhalte im Wesent-

lichen (eher) nicht Teil ihres Studiums sind, was auf eine **unterschiedliche Erwartung** hindeutet.

Das wird weiter deutlich daran, dass Studierende als Hauptthema **konservativ eingestellte Lehrende** wahrnehmen (56 %). Lehrende nennen dagegen hauptsächlich **Zeit- und Ressourcenmangel** als Hemmnis bei der Umsetzung digitaler Fachinhalte (vgl. auch Abb. 2.3).

Die **Dynamik zur Innovation** an Hochschulen wird von den Befragten als **eingeschränkt empfunden**. Mehrheitlich herrscht das Gefühl vor, dass sich die anderen Beteiligten weniger dynamisch bewegen als sie selbst (Abb. 2.13, 2.14, 3.7 und 3.8). Diese Stimmung dürfte die Mehrheit als innovationshemmend empfinden. Etwa ein Fünftel der Professorinnen und Professoren steht der Anpassung der eigenen Lehrveranstaltungen (eher) ablehnend gegenüber (Abb. 2.13).

Auf organisationaler Ebene werden **innovationsfeindliche Strukturen im Hochschulsystem** identifiziert, so z. B. im Bereich der auf Semesterwochenstunden skalierten Lehrdeputatsverordnungen, der KMK-Strukturvorgaben oder der Fachqualifikationsrahmen, deren Überarbeitungen durch die Stakeholder eher in Dekadenzyklen als in Zyklen weniger Jahre stattfindet.

Die Beurteilungen der Berufseinsteigerinnen und -einsteiger zu den digitalen Fachinhalten im eigenen Studium bis zu den Erwartungen bezüglich der Entwicklung in den nächsten fünf Jahren beziehen sich auf einen **langen Zeitraum**. Er erstreckt sich von Studiengängen, die vor mehr als einer Dekade entwickelt wurden – teilweise in einer Zeit noch vor dem Smartphone – bis hin zu Studiengängen der Zukunft, die Entwicklungen Rechnung tragen müssen, die heute noch nicht absehbar sind. Die Einschätzungen der Befragten zeigen, dass die **Lehre im Hochschulsystem eine rasche Adaptionsfähigkeit benötigt**, um der enormen Dynamik der Entwicklungen zu folgen.

Der tatsächliche Austausch von Pflichtinhalten eines Studiengangs geht häufig mit der **Reduzierung der ECTS-Punkte** bei Veranstaltungen der aktuell verantwortlichen Professorinnen und Professoren einher, was aufgrund der **damit verbundenen finanziellen Mittel** die Innovationskraft an den Hochschulen nicht fördern dürfte.

Auch die noch **wenig ausgebauten Anreizsysteme für didaktisch hochwertige Lehre** und auch die – im Vergleich zur Forschung – geringere Auseinandersetzung mit der individuellen Lehrperformance, sowohl was Inhalte als auch Formate betrifft, hat hohes Potenzial, hemmend zu wirken.

Trotz des inter- bis transdisziplinären Wesens der Digitalen Transformation werden **interdisziplinäre Formate verhältnismäßig wenig genutzt** (Abb. 2.10), von den Studierenden aber favorisiert (Abb. 3.6). Weitere Hemmnisse könnten sich aus **engen Fakultätszuschnitten** ergeben, sofern sich die Entwicklung der angestrebten Kompetenzprofile vor allem innerhalb dieser bewegt.

4.4 Handlungsfeld: Strategische Ziele operationalisieren

Agile Curriculumentwicklung fördern

Lehrinhalte müssen ergebnisoffen laufend hinterfragt werden (Kap. 1), Pflicht- und Wahlbereiche kontinuierlich adjustiert werden. Dass vorwiegend innerhalb der Module der jeweiligen Technikdisziplinen die Inhalte angepasst werden, weist daraufhin, dass die **Hemmung der Innovation eher im Gesamtschnitt der Angebote traditioneller Studiengänge** liegt und sich im modulübergreifenden Gesamtaufbau abspielt. Daher muss der **fakultätsinterne und -übergreifende Diskurs** über curriculare Zuschnitte angestoßen werden, gegebenenfalls verbunden mit Zielvorgaben. Die Hindernisse aus den aktuell vielfach noch vorliegenden „Silostrukturen“ der Fakultäten und Fachbereiche sollten dabei identifiziert und abgebaut werden.

Partner einbinden

20 % der Studierenden identifizieren die **Kooperation mit Unternehmen** oder Personen aus der Wirtschaft als **größten Treiber für die Digitale Transformation** der Ingenieurausbildung (Kap. 3.2) und scheinen einer intensivierten Kooperation positiv gegenüberzustehen. Dagegen wird in den Studiengängen **noch wenig mit außerhochschulischen Partnern** wie Unternehmen (Kap. 2.2) kooperiert. Hier schneiden im Urteil der Studierenden die HAW vergleichsweise besser ab als Universitäten, genau wie im Hinblick auf den Stellenwert der Digitalen Transformation, die Einbindung digitaler Fachinhalte sowie die wahrgenommene Bereitschaft von Lehrenden, ihre Lehre im Zuge der Digitalen Transformation anzupassen (Kap. 3.2).

Die Studierenden fordern eine deutlich stärkere Einbindung ihrer Perspektive in die Weiterentwicklung der Studiengänge. Die **Einbindung von Studierenden** und damit die Bezugnahme auf veränderte Dispositionen, Kompetenzen und Interessen der jungen Generation sollte eine **Selbstverständlichkeit** sein.

Inter- und transdisziplinäre Formate stärken

Die Befragungsergebnisse zeigen, dass bei der Umsetzung der Digitalen Transformation an den Hochschulen vielfach in den **Fachdisziplinen gedacht** wird und **interdisziplinäre Formate noch nicht in weitem Umfang eingesetzt** werden. Studierende befürworten jedoch diese Formate (Abb. 3.6). In Anbetracht der weitreichenden gesellschaftlichen Folgen der Digitalen Transformation wäre es darüber hinaus sinnvoll, gemeinsam mit Geistes- und Sozialwissenschaften **transdisziplinär** in neuen Strukturen zu denken. Bei der Erstellung von Fachqualifikationsrahmen sollte hier ein Perspektivwechsel stattfinden, um dem gesamtgesellschaftlichen digitalen Transformationsprozess Rechnung zu tragen.

Auffallend ist, dass **transdisziplinäre Formate**, die auf eine Kooperation mit nicht ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ausgerichtet sind, trotz der geringen Erfahrungen mit ihnen, von etwa der Hälfte der Studierenden als besonders geeignete Formate angesehen werden (Abb. 3.6).

Tatsache der Nichtvorhersehbarkeit neuer Entwicklungen Rechnung tragen

Die Entwicklungen zeigen, dass eine inhaltlich konkrete Detaillierung von Kompetenzprofilen der Zukunft kaum möglich ist. Im Umgang damit gibt es unterschiedliche Wege, wie

- **agile, individualisierte und leicht anpassbare Studiengänge und -formate**, die es ermöglichen, neue Themen rasch in bestehende Kompetenzprofile zu integrieren,
- **spezifische Studiengänge, die neue Zukunftsfelder in ihr Zentrum stellen mit Schnittstellen zu bestehenden Profilen**,
- **neue Pflicht- oder Wahlangebote in bestehenden Studiengängen**.

Deutliches Potenzial zur Förderung der **individuellen Adaptivität** an neue Inhalte bieten **Blended-Learning-Formate**, diese sollten daher intensiver genutzt werden. Fachqualifikationsrahmen der derzeitigen Form werden mit der Entwicklung sicher nicht Schritt halten können.

Motivationssysteme etablieren

Stakeholder müssen für Veränderungsprozesse motiviert werden. Dies erfordert eine **Anerkennungskultur** und ein angemessenes **Incentivierungssystem für gute Lehre, gute Curriculumentwicklungsprozesse und Weiterbildungssysteme** sowie auch Raum für das Experiment.

Das Gefühl, dass das „System“ **weniger Engagement** zeigt und geringe Spielräume bietet, behindert Veränderungsprozesse und **lähmt individuelles Engagement**. Neue, sich aus der Digitalisierung ergebende Optionen ermöglichen neue Lehrformate, die es zu testen und entwickeln gilt. Dies muss über Weiterbildung und die Kommunikation von Good Practices flankiert werden.

Zwar existieren durchaus bereits **Anreizsysteme** an den Hochschulen zur Förderung digitaler Transformationsprozesse in der Lehre, z. B. Lehrpreise (Kap. 2.2). Diese haben jedoch eher symbolischen Charakter und befördern die notwendigen strukturellen Innovationen in der Lehre nicht in ausreichendem Maße.

VDI-Empfehlungen an die Hochschulen:

- Digitale Lehrinhalte sollten in den **Pflichtbereich** der Curricula aufgenommen werden.
- Zuschnitte von Kompetenzprofilen und die zugehörigen curricularen Elemente müssen **laufend weiterentwickelt** werden. Neue Inhalte sind einzubinden, obsolet gewordene bzw. in ihrer Bedeutung zurückgedrängte Inhalte zu modifizieren oder gänzlich zu ersetzen.
- Lehre sollte nicht nur nach den aktuell verwendeten Verteilungsschlüsseln bei der **Ressourcenzuweisung** bewertet werden, sondern der Innovationsgrad der Lehre muss berücksichtigt werden.
- **Leistungszuschläge** für Professorinnen und Professoren sollten die Bewertung von Lehrtätigkeiten zwingend einbeziehen.
- Bei **Berufungen** ist auf die Bereitschaft zu achten, die Implikationen der Digitalen Transformation des Fachgebiets zu durchdringen und digitale Fachinhalte zu vermitteln.
- **Inter- und Transdisziplinarität** werden durch die aktuell häufig noch vorliegenden „Silostrukturen“ der Fakultäten und Fachbereiche erschwert bis konterkariert. Themen wie die Digitale Transformation müssen quer zu den Disziplinen eingebunden werden.
- Auch sollten möglichst häufig Optionen zur **Kooperation** insbesondere mit jenen **Unternehmen** in der Lehre genutzt werden, die Veränderungen aus der Digitalen Transformation erfolgreich in Change-Prozessen gestaltet und

in Geschäftsmodellen oder Produkten umgesetzt haben.

- **Aktive Studierende** müssen als **wertvolle Ressource und wichtige Stakeholder** eingebunden werden.
- **Hochschulübergreifende Initiativen** und **zentrale Dienste der Hochschule** können die Weiterentwicklung der Lehre unterstützen, da so Synergien erzeugt werden können.

VDI-Empfehlung an die Politik:

Die Einbindung **digitaler Formate darf durch Lehrdeputatsverordnungen nicht behindert** werden. Diese müssen neuen Lehrformaten besser Rechnung tragen und sind anzupassen. **KMK-Strukturvorgaben sind zu überprüfen.**

4.5 Handlungsfeld: Kompetenzprofile weiterentwickeln

Die Weiterentwicklung von Kompetenzprofilen wird aktuell vor dem Hintergrund höchster ingenieurwissenschaftlicher Qualitätsstandards und Innovationskompetenz (Fuchs 2013, S. 12) diskutiert. Fokussiert werden die **neuen Herausforderungen durch die Digitale Transformation** wie z. B. die Stärkung der Digitalkompetenzen von Lehrenden, die Aufnahme digitaler Fachkompetenzen und interdisziplinärer Elemente aus Informatik und Data Science in Curricula und eine ausgewogene Mischung bewährter und jüngerer Studieninhalte, die es im Kontext einer wachsenden Komplexität auszuhandeln gilt (Kap. 1.2).

Digitale Transformation benötigt überfachliche Kompetenzen

In der Auseinandersetzung um die Weiterentwicklung der Ingenieurausbildung werden insbesondere **überfachliche Kompetenzen** genannt: Qualifikationen wie kreative Problemlösefähigkeit, Denken in Systemen, Organisations-, Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit, interkulturelle Kompetenz, Ethik- und Nachhaltigkeitskompetenz und wirtschaftliche Kenntnisse.

Nach wie vor halten die Befragten an Hochschulen eher die „klassischen“ überfachlichen Kompetenzen für zentral. Für eine digitalisierte Arbeitswelt wird es jedoch wesentlich sein, **weitere überfachliche Kompetenzen**, z. B. **ethisches Verhalten, Technikfolgenabschätzung, Medienkompetenz** und nicht zuletzt **Data Literacy** im Zusammenspiel mit digitalen fachlichen Kompetenzen zu sehen und diese verstärkt in die Curricula aufzunehmen, um adäquat für

die digitalisierte Arbeitswelt zu qualifizieren (Kap. 1.2 und 2.3).

Gerade um die **Kooperationskompetenz** auch für den beruflichen Alltag zu stärken, eignen sich **interdisziplinäre Formate** für die Vermittlung digitaler Fachinhalte. Dafür sprechen sich Studierende eindeutig aus (Abb. 3.6).

Digitale Fachkompetenzen vermitteln

Der **Vermittlung digitaler Fachkompetenzen** wird zentrale Bedeutung zukommen (Kap 1.2). Notwendig erscheinen eine Definition erforderlicher Kompetenzen, die Entwicklung entsprechender Qualifizierungsstrategien und die Berücksichtigung digitaler Fachkompetenzen.

Die Befragung der **Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteiger** zeigt, dass diese bereits heute **massiv digitale Fachkompetenzen benötigen**. An den Hochschulen wird allen voran der Einsatz der Technik (z. B. IT-Tools) genannt, aber auch informatische Kompetenzen (z. B. IT-Landschaften oder Informations- und Datenmanagement) und wirtschaftliche Aspekte (z. B. Geschäftsmodelle) (Abb. 2.11, 3.2, 3.12). Auch wenn die Berufseinsteigerinnen und -einsteiger in diesen Kompetenzen laut eigener Aussage eher noch vorbereitet wurden, ist die Zustimmung zu der Aussage, man habe sich die für den Beruf nötigen Kompetenzen schnell aneignen können oder sogar im Studium gelernt, mit 7 % bis 15 % sehr gering. Das macht deutlich, dass die bisherigen vermeintlich abstrakteren Inhalte des Studiums nicht auf die digitalisierte Arbeitswelt vorbereiten.

Neue Lehr- und Lernformate wagen

Der Einsatz **neuer Lehrformate hat hohe Relevanz**. Diskutiert werden größere Praxisanteile in der Lehre in Form von Praktika und kooperativen Abschlussarbeiten gemeinsam mit Unternehmen sowie disziplinübergreifende Labs und Lehr-/Lernfabriken. Im Hinblick auf **digitalisierte Lehr-/Lernformate** werden u. a. hybride Lernsettings im Sinne von Blended Classroom sowie Inverted Classroom oder MOOCs angeführt.

Im Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Lehre ist eine Notwendigkeit erkennbar, die didaktischen und digitalen Handlungskompetenzen von Lehrkräften auszuweiten und ein Rollenverständnis von Lehrenden im Sinne des „**Shift from Teaching to Learning**“

und einer studierendenzentrierten Lehre zu etablieren. Eine verstärkte Nutzung hybrider Lehr- und Lernformate korrespondiert häufig mit konstruktivistischen Lernansätzen. Sie tragen zur Verlagerung der Rolle des Lehrenden vom „Instrukteur zum Moderator zwischen Lernstoff und Studierenden“ (Wannemacher et al. 2016, S. 66) bei.

VDI-Empfehlungen:

- Technische Transformationen stellen stets auch soziale Transformationen dar; daher ist in der Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Curricula mehr denn je ein ausgewogenes **Zusammenspiel fachlicher und überfachlicher Kompetenzen anzustreben**.
- Nicht alle Lehrenden müssen Digitalisierungsexperten sein, wenngleich es zum Selbstverständnis gehören sollte, aktuelle Entwicklungen in die Lehre einzubinden und sich gegebenenfalls um **Partnerschaften mit dem einschlägigen Know-how** zu bemühen.

4.6 Handlungsfeld: Zu ethisch verantwortlichem Handeln befähigen

Die Digitale Transformation wandelt die Rollen und Verantwortlichkeiten von Ingenieurinnen und Ingenieuren: Nicht mehr allein produkt- und produktionsorientierte Anforderungen gilt es umzusetzen, sondern auch **die gesamtgesellschaftlichen Wirkungen und Effekte der eigenen Arbeit** kontinuierlich einzuschätzen und zu bewerten. Ingenieurinnen und Ingenieure müssen sich ihrer Rolle bei der Lösung zentraler Probleme der Menschheit und der **Umsetzung der UN-„Ziele für nachhaltige Entwicklung“** bewusst werden: „Engineering must be carried out responsibly and ethically, use available resources efficiently, be economic, safeguard health and safety, be environmentally sound and sustainable“ (International Engineering Alliance 2009, vgl. Graham 2018, S. 43).

Eine solche **ganzheitliche Perspektive auf die digitalisierungsrelevanten Bereiche des Berufsfelds** ist bei den Befragten **noch wenig verbreitet**. Übereinstimmend wird der Stellenwert der für die Digitale Transformation benötigten Fachkompetenzen in den Bereichen Informatik, Technik und Wirtschaft deutlicher höher eingeschätzt, als der Stellenwert der Bereiche Recht und Soziales (Ethik, Technikfolgenabschätzung). Insbesondere letztere erlangen jedoch für eine verantwortungsvolle Gestaltung der digitalen Transformationsprozesse hohe Bedeutung.

VDI-Empfehlungen:

- Etablierung von Studienformaten, die Aspekte **Technikfolgenbewertung** und technologieinduzierte gesellschaftliche Transformationsprozesse explizit adressieren.
- Die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure bereits im Studium auf ihre **Rolle in einer digitalisierten Arbeitswelt** vorbereiten.
- Digitale Fachkompetenzen in den Bereichen **Recht und insbesondere Soziales systematisch in Studium und Weiterbildung** vermitteln.
- Im Studium für die Übernahme **gesellschaftlicher Verantwortung** sensibilisieren sowie zu ethisch verantwortlichem Handeln befähigen.

4.7 Handlungsfeld: Akademische Weiterbildung systematisch etablieren

Die Dynamik der Digitalen Transformation fordert von Ingenieurinnen und Ingenieuren ein hohes Maß an Initiative, sich weiterzubilden. Die Umfrage zeigt, dass sich alle Beteiligten der dynamischen Weiterentwicklung der Bedarfe in hohem Maße bewusst sind. Während **Weiterbildungsangebote für die Hochschul-**

lehrenden ressourciell **günstig** einzuschätzen sind (Abb. 2.3 und 2.4), wird eine akademisch orientierte **Weiterbildung der bereits im Beruf in Unternehmen und Hochschulen stehenden Ingenieurinnen und Ingenieure** noch **vernachlässigt** (Kap. 1.2).

Eine akademische Weiterbildung, in der die **Hochschulen gemeinsam mit** digital innovativ agierenden **Unternehmen** die neuen Elemente der ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzprofile für die digitalisierte Arbeitswelt identifizieren und **entsprechende Angebote entwickeln**, ermöglicht nicht nur den Erwerb neuester digitaler Fachkompetenzen für die berufstätigen Ingenieurinnen und Ingenieure. Vielmehr kann an der Schnittstelle der akademischen Weiterbildung der enge Kontakt zwischen Hochschule und digitalisierter Arbeitswelt hergestellt und befördert werden.

VDI-Empfehlungen:

- (Akademische) **Weiterbildung als integraler Baustein** einer jeden ingenieurwissenschaftlichen Berufstätigkeit verstehen.
- **Kooperation und Austausch** von Hochschulen und Akteuren der digitalisierten Arbeitswelt im Rahmen der akademischen Weiterbildung stärken.

Bibliografie (Auswahl)

- acatech** – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2018): Berufungen in den Technikwissenschaften. Empfehlungen zur Stärkung von Forschung und Innovation (acatech POSITION). München: Herbert Utz
- acatech** – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2016): Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze (acatech POSITION). München: Herbert Utz
- Bauernhansl**, Thomas & Nestler, Britta (2015): Expertenkommission Ingenieurwissenschaften@BW2025. Abschlussbericht. Stuttgart: Ohne Verlag
- BDA** Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (2017): Bildung 2030 im Blick. Die bildungspolitische Position der Arbeitgeber. Berlin: BDA
- Büddicker**, Hanna (2015): Fit für Industrie 4.0 – Welche Qualifikationen brauchen Ingenieure? Beitragsreihe zur Digitalisierung der Arbeit. Düsseldorf: VDI-Blog. <https://blog.vdi.de/2015/10/fit-fuer-industrie-4-0-welche-qualifikationen-brauchen-ingenieure-kuenftig/>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie** (Hrsg.) (2016): Digitale Bildung. Der Schlüssel zu einer Welt im Wandel. Frankfurt: Druck- und Verlags-haus Zarbock
- Crawley**, Edward F., Malmqvist; Johan Lucas; William A. & Brodeur, Doris R. (2011): The CDIO Syllabus v2.0. An Updated Statement of Goals for Engineering Education. In: Proceedings of the 7th International CDIO Conference, Technical University of Denmark, Copenhagen, June 20–23, 2011. http://www.cdio.org/files/project/file/cdio_syllabus_v2.pdf
- Demian**, Peter & Morrice, James (2012): The use of virtual learning environments and their impact on academic performance, *Engineering Education*, Jg. 7, Nr. 1, S. 11–19, DOI: 10.11120/ened.2012.070100117
- Dreher**, Ralph (2015): In: ICL Conference (Ed.): ICL 2015 Conference Proceeding. P. 713–715. Firenze
- EFI** – Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2018): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2018. Berlin: EFI
- EFI** – Expertenkommission Forschung und Innovation (2019): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2019. Berlin: EFI
- Fuchs**, Willi (2013): Verantwortung in der Ingenieurausbildung. 4. VDI-Qualitätsdialog – Ingenieurausbildung „Innovative Studiengangsphase und Erfolgsfaktoren für eine zukunftsfähige Ingenieurausbildung“. Rede am 10. September 2013 in Hannover [Ungedrucktes Manuskript].
- Gallenkämper**, Jonas; Eckert, Natascha; Heiß, Hans-Ulrich; Kreulich, Klaus; Mooraj, Margrit; Müller, Carolin; Müller, Gerhard; Schumann, Christian-Andreas; Sowa, Thomas & Spiegelberg, Gernot (2018): Smart Germany. Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation. Diskussionspapier zum VDI-Qualitätsdialog. VDI-Thesen und Handlungsfelder. März 2018. Düsseldorf: VDI
- Gallenkämper**, Jonas; Richert, Vera (2015): „Das „nullte“ Semester in Aachen – Orientierung erleben“. *Zeitschrift Qualität in der Wissenschaft*, Ausgabe 3+4/2015, S. 118–123
- Gilch**, Harald; Beise, Anna Sophie; Krempkow, René; Müller, Marko; Stratmann, Friedrich & Wannemacher, Klaus (2019): Digitalisierung der Hochschulen. Ergebnisse einer Schwerpunktstudie für die Expertenkommission Forschung und Innovation. Berlin: EFI
- Graham**, Ruth (2018): The global state of the art in engineering education. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Hauschildt**, Kristina & Jaeger, Michael (2013): Kompetenzförderung von Ingenieur Nachwuchs im Rahmen von FuE-Projekten, in: ZFHE: Zeitschrift für Hochschulentwicklung, Jg. 8, Nr. 1, S. 88–101
- Heidling**, Eckhard; Meil, Pamela; Neumer, Judith; Porschen-Hueck, Stephanie; Schmierl, Klaus; Sopp, Peter; Wagner, Alexandra (2019): Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0. Frankfurt: Impuls-Stiftung
- Heublein**, Ulrich; Besuch, Georg; Hutzsch, Christopher; Schreiber, Jochen & Sommer, Dieter (2009): Zwischen Studiererwartungen und Studienwirklichkeit – Gründe für den Studienabbruch. Frankfurt: Impuls-Stiftung
- Heublein**, Ulrich; Hauschildt, Kristina; In der Smitten, Susanne; Mergner, Julia & Isleib, Sören (2013): Maschinenhaus – Campus für Ingenieure. Zusammenfassender Bericht zur Qualitätssicherung. Frankfurt am Main: VDMA
- Hofmann**, Yvette (2018): ProfQuest II, Professorenbefragung des Bayerischen Instituts für Hochschulforschung IHF. München
- Horz**, Holger & Schulze-Vorberg, Lukas (2017): Digitalisierung in der Hochschullehre. Analysen & Argumente, Nr. 283. https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=51d9958b-ae68-e2f4-d98b-7508d9bf4123&groupId=252038

- International Engineering Alliance** (Hrsg.) (2009): Graduate Attributes and Professional Competencies. O.O: Ohne Verlag.
- The Irish Academy of Engineering** (2010): Engineering Research in Irish Economic Development. Dublin: The Irish Academy of Engineering
- Klocke, Martina; Richert, Vera; Sube, Maike** (2018): Vier Jahre „Guter Studienstart im Ingenieurbereich“: Entwicklung und Perspektiven des „Nullten Semesters“. Zeitschrift für Beratung und Studium, 1/2018, S. 17–22
- Kreulich, Klaus** (2018): Digitale Kompetenzen. Impulse für strategisches Handeln. VDI-Qualitätsdialog 2018. VDI-Qualitätsdialog. Hochschule für angewandte Wissenschaften München; German Universities of Applied Sciences. Berlin, 01.03.2018
- Kreulich, Klaus; Dellmann, Frank; Schutz, Thomas; Harth, Thilo & Zwingmann, Katja** (2016): Digitalisierung. Strategische Entwicklung einer kompetenzorientierten Lehre für die digitale Gesellschaft und Arbeitswelt – Die Position der UAS7-Hochschulen für angewandte Wissenschaften. Berlin: UAS7
- Locatelli, Rita** (2018): Education as a public and common good: Reframing the governance of education in a changing context. Education Research and Foresight Working Papers Series, No. 22. Paris: UNESCO. <https://en.unesco.org/node/268820>
- Nagl, Manfred** (Hrsg.) (2009): Zukunft Ingenieurwissenschaften – Zukunft Deutschland. Berlin/Heidelberg: Springer
- OECD** (Hrsg.) (2018): Bildung auf einen Blick 2018. OECD-Indikatoren. Bielefeld: W. Bertelsmann
- OECD** (Hrsg.) (2019): Trends Shaping Education 2019. Paris: OECD Publications. http://doi.org/10-1787/trends_edu-2019-en
- Orth, Helen** (1999): Schlüsselqualifikationen an deutschen Hochschulen. Konzepte, Standpunkte und Perspektiven. Neuwied/Kriftel/Berlin: Luchterhand
- SEFI – Europäische Gesellschaft für Ingenieur-Ausbildung** (2017): Engineering Education and the Bologna Process. A joint communication of SEFI and BEST in view of the 8th Ministerial Conference in Bucharest, 26–27 April 2012. <http://sefibenvwh.cluster023.hosting.ovh.net/wp-content/uploads/2017/08/SEFI-Position-Paper-Bologna-20123.pdf>
- SEFI – Europäische Gesellschaft für Ingenieur-Ausbildung** (2016): Position Paper on Engineering Skills – Developing Graduate Engineering Skills <http://sefibenvwh.cluster023.hosting.ovh.net/wp-content/uploads/2017/07/Position-Paper-on-Engineering-Skills.pdf>
- Seidl, Tobias & Vonhof, Cornelia** (2017): Agile Prinzipien – was kann die Studiengangsentwicklung davon lernen? In: Synergie. Fachmagazin für Digitalisierung in der Lehre, Nr. 3, S. 28–31
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz** (2016): Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ – Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016. Berlin: KMK Berlin
- Sonntag, Ralph** (2018): Ingenieurausbildung: Erfolgsfaktor Weiterentwicklung an Hochschulen. <https://hochschulforumdigitalisierung.de/de/blog/ingenieurausbildung-erfolgsfaktor-weiterentwicklung-hochschulen>
- Staudt, Erich** (Hrsg.) (1998): Strukturwandel und Karriereplanung: Herausforderungen für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Berlin; Heidelberg: Springer
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V** (2016): Hochschulbildung für die Arbeitswelt 4.0. Hochschul-Bildungs-Report 2020. Jahresbericht 2016. Essen: Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V.
- Themengruppe Change Management & Organisationsentwicklung** (2016): Zur nachhaltigen Implementierung von Lehrinnovationen mit digitalen Medien. Arbeitspapier Nr. 16. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.** (Hrsg.) (2002): Ethische Grundsätze des Ingenieurberufs. Düsseldorf: VDI. <https://www.vdi.de/fileadmin/media/content/hg/16.pdf>
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.** (Hrsg.) (2016): VDI-Statusreport Arbeitswelt Industrie 4.0. <https://www.vdi.de/index.php?id=58492&pubid=50>
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.** (Hrsg.) (2017): Smart Germany. Arbeit in der Digitalen Transformation. VDI-Standpunkte. Mai 2017. Düsseldorf: VDI
- VDMA** (Hrsg.) (2015): Toolbox-Die richtigen Werkzeuge für ein erfolgreiches Studium. Frankfurt am Main: VDMA
- VDMA** (Hrsg.) (2017): Maschinenhaus – Campus für Ingenieurinnen und Ingenieure. Praxisorientierung von Ingenieurabsolventen. Ergebnisse einer Kurzumfrage in Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt am Main: VDMA
- Völker, Norbert; Röger, Stefan & Weise, Claudia** (2015): Maschinenhaus 2015 – Campus für Ingenieurinnen und Ingenieure. Bilanz 2015. Frankfurt am Main: VDMA
- Wannemacher, Klaus; Jungermann, Imke; Scholz, Julia; Tercanli, Hacer & Villiez, Anna von** (2016): Digitale Lernszenarien im Hochschulbereich. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung (Arbeitspapier 15)

Bildnachweis

Die Abbildungen 2.7, 2.8, 3.3, 3.4, 3.13 und 3.14 wurden mithilfe der Webseite worditout.com generiert und unterliegen der creative commons-Lizenz CC BY-NC-ND 2.0 UK.

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Die Faszination für Technik treibt uns voran: Seit 160 Jahren gibt der VDI Verein Deutscher Ingenieure wichtige Impulse für neue Technologien und technische Lösungen für mehr Lebensqualität, eine bessere Umwelt und mehr Wohlstand. Mit rund 150.000 persönlichen Mitgliedern ist der VDI der größte technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Als Sprecher der Ingenieure und der Technik gestalten wir die Zukunft aktiv mit. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Als drittgrößter technischer Regelsetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Technik und Gesellschaft
Dr. Jonas Wernz (geb. Gallenkämper)
Tel. +49 211 6214-513
wernz@vdi.de
www.vdi.de

DZHW
Deutsches Zentrum für
Hochschul- und Wissenschaftsforschung ■

HISHE
Institut für
Hochschulentwicklung