

Impulse zur Bildung und Qualifikation der Zukunft



**Technik-
Talente
sichern**

**Ergebnisse des VDI-Zukunftsdialogs
Qualifikation**

Zusammenfassung

Der Fachkräftemangel und die zunehmend beschleunigten Transformationsprozesse aufgrund von technologischen, ökologischen und ökonomischen Entwicklungen setzen den Innovations- und Technologiestandort Deutschland zunehmend unter Druck und verdeutlichen den Bedarf an gut ausgebildeten Fachkräften.

Demgegenüber werden für das deutsche Bildungssystem seit längerem die immer gleichen Probleme konstatiert, wie fehlende Integration von benachteiligten Zielgruppen, hohe Schul- und Studienabbruchquoten, geringe Quoten von Mädchen und Frauen in den MINT-Fächern, ein wenig flexibles und wenig durchlässiges Bildungssystem, der Lehrkräftemangel und die fehlende (technologische) Ausstattung an Bildungseinrichtungen. Lösungsansätze sind vorhanden, aber es gelingt nicht, diese in der Breite des Bildungssystems in die Umsetzung zu bringen.

Dieses VDI-Impulspapier „Qualifikation für den Innovationsstandort Deutschland“ beschäftigt sich vor diesem Hintergrund mit der Frage, wie die Zukunftsfähigkeit der MINT-Bildung sowie der Ingenieuraus- und -weiterbildung gesichert werden kann. Dafür werden entlang der gesamten Bildungskette – von Kita und Schule über die Hochschule bis zur Weiterbildung und der Perspektive auf lebenslanges Lernen – Herausforderungen in der MINT- und Ingenieurbildung beschrieben und Ansatzpunkte zu dessen Auflösung vorgestellt. In insgesamt 28 nationalen und internationalen Good-Practice-Beispielen werden konkrete Initiativen und Projekte aufgezeigt, die als Lösungsansätze impulsgebend sein können, aber bisher in vielen Fällen auf der Ebene von Einzelinitiativen oder Pilotprojekten bleiben.

Ziel dieses Impulspapiers ist es, die verschiedenen Akteure im Bildungssystem anzusprechen – Politik, Entscheidungsträger in Schulen, Hochschulen und der beruflichen Bildung ebenso wie außerschulische Vereine, Verbände und Kammern – und konkrete Ansatzpunkte für Veränderungen in die Diskussion einzubringen. Das Impulspapier zielt darauf, eine Grundlage für den

Austausch zu schaffen und zur Entwicklung eines übergreifenden Problembewusstseins beizutragen, sodass die vielen einzelnen guten Ansätze und Initiativen (von denen im Impulspapier nur eine kleine Auswahl vorgestellt ist) in ein Zusammenspiel gebracht werden und strukturell verankert werden können.

Als Bezugsrahmen für die Handlungsempfehlungen werden folgende Handlungsfelder für eine zukunftsfähige Bildung analysiert:

- Kompetenzentwicklung (im Bereich KI sowie Future Skills)
- technologiebasiertes Lernen
- Fachkräfteentwicklung
- Durchlässigkeit und Flexibilisierung

Diese wurden auf Grundlage einer Literaturanalyse zu zukunftsorientierten Lehr-/Lernsettings sowie zu Transformationsbedarfen des Bildungssystems formuliert und in Diskussionen mit Expertinnen und Experten im Bereich der MINT- und Ingenieurbildung angereichert und validiert. Ergänzend wurden Daten aus aktuellen Studien herangezogen.

Im Ergebnis werden u. a. folgende zentrale Handlungsempfehlungen formuliert:

- **Förderung der Entwicklung von KI-Kompetenzen auf allen Ebenen des Bildungssystems. Dazu bedarf es der Integration KI-bezogener Lerninhalte in den schulischen Unterricht, in die Curricula von Studiengängen sowie in Fortbildungsangebote für pädagogisches bzw. Lehrpersonal.**
- **Aufnahme von Informatik und Technik in Bildungs- und Lehrpläne als eigenes Fach oder als interdisziplinäres, praxisorientiertes Fach in Kombination beider Aspekte. Auch nicht schulische Expertinnen und Experten sollten diese Fächer unterrichten können.**

- **Förderung eines umfassenden Re-Skilling-Programms für Beschäftigte im Ingenieurbereich zu Qualifizierung im Bereich hochinnovativer Technologien und KI**

Außerdem werden für die gesamte Bildungskette weitere Empfehlungen ausgesprochen, zu denen u. a. gehören:

- für den Bereich frühkindliche Bildung und Schule, um Technikinteresse bei Kindern zu wecken:
 - Umsetzung von Maßnahmen, um die Zahl der Schülerinnen und Schüler zu senken, die die Schule ohne Abschluss verlassen: Entsprechende Maßnahmen müssen bereits in der Kita und Grundschule ansetzen, denn Versäumnisse in diesen frühen Phasen lassen sich später nur mühsam ausgleichen
 - Stärkung der Zusammenarbeit von Akteuren der frühkindlichen, schulischen und außerschulischen technischen Bildung: Dies ist insbesondere im Zuge der Einführung der offenen Ganztagschule ein wichtiger Punkt.
- für den Bereich Hochschule, um mehr ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchs zu gewinnen:
 - Stärkung und öffentliche Förderung von Mentoring-Programmen, Netzwerkarbeit oder Formaten zur Vorstellung von Role Models für angehende bzw. junge Ingenieurinnen, auch in Zusammenarbeit mit Unternehmen
 - Stärkung und öffentliche Förderung von Unterstützungsangeboten zum Berufseinstieg für internationale Studierende oder Fachkräfte aus dem Ausland
- für den Bereich Weiterbildung und lebenslanges Lernen, um den Fachkräftemangel und dem hohen Transformations- und damit Qualifizierungsdruck zu begegnen:

- Förderung lebenslangen Lernens für unterschiedliche Zielgruppen, u. a. für ältere Beschäftigte,
- Initiativen zur Stärkung von Microcredentials sowie zum Aufbau akademischer weiterbildender Zertifikatsangebote,
- Maßnahmen zur Verbesserung von Anrechnungsmöglichkeiten zwischen beruflicher Aus- und Weiterbildung und Hochschulen,
- Maßnahmen, die die Transparenz und Orientierungsmöglichkeiten im Weiterbildungsbereich verbessern.

Für alle Bildungsbereiche:

- Aufbau von Beratungsangeboten für Bildungsorganisationen zur daten- und rechtssicheren Nutzung von KI-basierten digitalen Tools,
- Stärkung des Einsatzes adaptiver Lernsysteme bzw. intelligenter tutorieller Systeme, um Lernenden individuelle Lernpfade und personalisiertes Lernen zu ermöglichen.
- eine verpflichtende methodische und didaktische Aus- und Weiterbildung für pädagogisches Personal, um innovative Lehrmethoden im Kontext neuer Technologien gezielt und sinnvoll einsetzen zu können.
- Stärkung des Einsatzes anwendungsorientierter Ansätze wie Problem-Based Learning
- Im Sinne der anzustrebenden Durchlässigkeit des Bildungssystems sollten die Bildungswege und -übergänge möglichst umfassend flexibilisiert werden, um Abbrecherquoten an Schulen und Hochschulen zu senken.

Mit dem Impulspapier und seinen Handlungsempfehlungen möchte der VDI „Baustellen“ im Bereich einer zukunftsfähigen MINT- und Ingenieurbildung aufzeigen, einen Impuls für mehr Vernetzung und koordiniertes Handeln geben sowie den Weg der Veränderung angehen. Das Papier stellt einen Startpunkt für weitere gezielte Aktionen und Maßnahmen des VDI dar.

Talente sichern für Deutschlands Innovations- und Zukunftsfähigkeit

Sehr geehrte Damen und Herren,

Qualifikation ist einer der kritischen Erfolgsfaktoren, um die Zukunftsfähigkeit des Innovations- und Technologiestandorts Deutschland zu gewährleisten. Daher haben wir dieses Thema im Rahmen der VDI-Initiative „Zukunft Deutschland 2050“ in den Fokus gestellt.

Die übergeordnete Frage, die wir als VDI hier adressieren, lautet: Wie kann kurz-, mittel- und langfristig die Verfügbarkeit von ausreichend Menschen mit den notwendigen Qualifikationen und Kompetenzen auf dem Arbeitsmarkt in Deutschland gewährleistet werden? Hier mag 2050 als Ankerpunkt der Initiative weit entfernt scheinen. Tatsache ist aber, dass wir für eine langfristige Zielperspektive für unser Land frühzeitig die Weichen im Bildungs- und Ausbildungssystem neu stellen müssen!

Das Themenspektrum, mit dem wir uns beschäftigen müssen, ist dabei immens. Frühkindliche Bildung und technische Bildung in Kitas und Schulen spielen bei der Kompetenzentwicklung, beim Wecken von Technikbegeisterung und beim Erreichen von Technikmündigkeit eine zentrale Rolle. Die Ingenieurausbildung an den Hochschulen muss sich den sich verändernden Kompetenzanforderungen im fachlichen und außerfachlichen Bereich anpassen. Lebenslanges Lernen ist in allen Lebensphasen verankert, findet aber im sich schnell verändernden

Technologiesektor gerade in der Weiterbildung in entscheidendem Maße ihren Niederschlag.

Die Megatrends von heute – Dekarbonisierung, Digitalisierung und demografischer Wandel – wirken sich unverkennbar auf alle Aspekte unserer Lebenswelt aus, auch auf die Arbeitswelt. Der ohnehin hohe Bedarf an technischem Fachpersonal wird hierdurch ebenso verstärkt wie durch die Umsetzung der im März 2025 beschlossenen Investitionspakete in den Bereichen Infrastruktur und Sicherheit.

Wir als VDI verstehen uns als Ideengeber, Treiber und Gestalter, der mit dem geballten Sachverstand der Ingenieurinnen und Ingenieure in Deutschland Lösungsansätze entwickelt. Diese schlagen sich beispielsweise in den konkreten Handlungsempfehlungen nieder, die Sie in diesem Impulspapier finden. Dabei bilden diese Empfehlungen lediglich den Anfangspunkt eines Prozesses, den wir als VDI gemeinsam mit unseren Partnern aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft erarbeiten und umsetzen wollen, um Deutschland fit für das Jahr 2050 zu machen.

Allen Expertinnen und Experten, die uns in der Arbeitsgruppe „Qualifikation“ und bei der Erstellung dieses Impulspapieres tatkräftig unterstützt haben, danke ich ganz herzlich!

Auf die gemeinsame Gestaltung der Zukunft mit Ihnen freue ich mich!

Düsseldorf im Mai 2025



Dipl.-Ing. Adrian Willig
Direktor und geschäftsführendes Mitglied des Präsidiums

Inhalt

Zusammenfassung	1
Talente sichern für Deutschlands Innovations- und Zukunftsfähigkeit	3
1 Einleitung	6
2 Ausgangslage	8
2.1 Wandel der Arbeitswelt von Ingenieurinnen und Ingenieuren	8
2.2 Aktuelle Herausforderungen im Bildungssystem in Deutschland	12
2.3 Gestaltungsbedarfe für zukunftsfähige Bildungskonzepte zur Aus- und Weiterbildung im Ingenieurbereich	18
3 Frühkindliche und schulische Bildung	21
3.1 Zukunftsfähiges Bild für MINT-Bildung	21
3.2 Herausforderungen und Ansatzpunkte für die Erreichung dieses Zukunftsbilds	23
3.2.1 Herausforderung: Bildungssystem und systemische Barrieren	23
3.2.2 Herausforderung: Interesse und Berufsorientierung	27
3.2.3 Herausforderung: Ungleichheiten und Barrieren für unterrepräsentierte Gruppen	29
3.2.4 Herausforderung: Rückläufige Kompetenzen und fehlende Zukunftsorientierung	30
3.3 Fazit	32
4 Ingenieurausbildung	33
4.1 Zukunftsfähiges Bild der Ingenieurausbildung	33
4.2 Herausforderungen und Ansatzpunkte für die Erreichung dieses Zukunftsbilds	34
4.2.1 Herausforderung: Hürden bei der Gestaltung bzw. Überarbeitung von Studiengängen	34
4.2.2 Herausforderungen bei der Implementierung anwendungsorientierter Lehr-/Lern-Methoden	36
4.2.3 Herausforderung: Fehlende Durchlässigkeit, mangelnde zielgruppengerechte Beratungsangebote und hohe Abbruchquoten	39
4.2.4 Herausforderungen durch Entwicklungen im Bereich KI	42
4.3 Fazit	43
5 Weiterbildung und lebenslanges Lernen	44
5.1 Zukunftsbild des lebenslangen Lernens und der Weiterbildung im Ingenieurbereich	44
5.2 Herausforderungen und Ansatzpunkte für die Erreichung dieses Zukunftsbilds	46
5.2.1 Herausforderung: Fehlende Transparenz und Orientierung auf dem Weiterbildungsmarkt	46

5.2.2 Herausforderung: Freiräume für Weiterbildung fehlen und bedarfsgerechte Weiterbildungsangebote sind nicht verfügbar	47
5.2.3 Herausforderung: Gewinnung von Fachkräften	49
5.3 Fazit	51
6 Handlungsempfehlungen	52
Liste der Expertinnen und Experten	56
Autorinnenteam	57
Schrifttum	58

1 Einleitung

Deutschlands Herausforderungen sind groß. Die Wirtschaft stagniert. Die Wettbewerbsfähigkeit nimmt im internationalen Vergleich ab – insbesondere im Bereich der digitalen Schlüssel- und Hochtechnologien. Es sind viele Transformationen parallel anzugehen, wie etwa die digitale Transformation, Energie- und Mobilitätswende; auch die geopolitische Situation versetzt Deutschland und Europa hinsichtlich der Souveränität vor Herausforderungen.

Um die richtigen Weichen für einen zukunftsfähigen Standort zu stellen, werden eine Vision und eine Strategie benötigt, die langfristig ausgerichtet ist. Was sind die Zukunftsfelder, -branchen und -technologien, die nachhaltig Wertschöpfung in Deutschland halten und Wohlstand sichern? Welche Investitionen müssen heute getätigt werden, um das Potenzial zu heben? Und welche Ressourcen, Infrastruktur, Qualifikation und regulativen Rahmenbedingungen brauchen wir dazu?

Diese Fragestellungen greift der VDI mit seiner Initiative Zukunft Deutschland 2050 auf. Ziel der Initiative ist es, ein langfristiges, positives Zielbild für Deutschland in einem starken Europa aufzuzeigen und Wege, im Sinne von Szenarien, zur Zielerreichung. Der VDI möchte damit einen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit Deutschlands leisten. In der Umsetzung geht es darum,

- einen strategischen und langfristigen Blick auf die Entwicklung von Schlüsselbranchen und -technologien zu legen,
- Debatten über Technologien zu versachlichen,
- verschiedene Perspektiven aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft in die Zielbildentwicklung einzubinden und
- Lösungsansätze gemeinsam im Dialog zu entwickeln.

Deutsche Ingenieurskunst ist ein Standortvorteil, der in den letzten Jahrzehnten für Wohlstand in Deutschland gesorgt hat – sie wird auch eine Stärke sein, die für die Zukunft entscheidend ist.

Daher ist die technische Bildung der Kinder und Jugendlichen zentral, ebenso wie die technische Aus- und Weiterbildung sowie die Ausbildung von Ingenieuren und Ingenieurinnen, wenn es um die Zukunftsfähigkeit des Standorts geht.

Die „Qualifikation“ – im Sinne der frühkindlichen technischen Bildung, technischen Ausbildung, Ingenieurausbildung und Weiterbildung – wird im Rahmen der Initiative Zukunft Deutschland 2050 als eine Grundvoraussetzung für einen starken Wirtschafts- und Technologiestandort betrachtet. Vor diesem Hintergrund wurde zum Start der Initiative die Fragestellung aufgegriffen:

Wie können wir sicherstellen, dass für einen starken Wirtschafts- und Technologiestandort Deutschland, ausreichend Menschen mit den notwendigen Qualifikationen und Kompetenzen auf dem Arbeitsmarkt sind?

Die Frage wird auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet und bearbeitet (vgl. Bild 1):

- Im Rahmen der verschiedenen Schwerpunktthemen der Initiative wie der Transformation der Energiesysteme, den Zukunftsbranchen Gesundheit (Medizintechnik) und Mobilität sowie der Diskussion um Schlüsseltechnologien, z. B. künstliche Intelligenz, Energie- und Klimatechnologien. Aus der Betrachtung der Schlüsselbranchen und -technologien ergeben sich Anforderungen an die technische Bildung von Kindern und Schülern sowie die Aus- und Weiterbildung von Studierenden und Fachkräften.
- Mit Blick auf den Status quo des Bildungssystems in Deutschland und die Betrachtung der verschiedenen Phasen im Lebenszyklus einer zu qualifizierenden Person. Hierbei werden Anforderungen an die frühkindliche Bildung und an die technische Bildung in Schulen fokussiert sowie notwendige Veränderungen in der Ingenieurausbildung und Weiterbildung.

Das vorliegende Impulspapier setzt im ersten Schritt auf dieser Ebene an.

Zukunftsanalyse der Schlüsselbranchen



technische
Bildung



Ingenieur-
ausbildung



Weiter-
bildung

Aktivitäten auf nationaler und regionaler Ebene

Bild 1. „Qualifikation neu denken“ – Betrachtungsrahmen der VDI-Initiative Zukunft Deutschland 2050

- Durch konkrete Aktivitäten des VDI, um strukturelle Veränderungen auf nationaler bildungspolitischer Ebene anzuregen, auch auf regionaler Ebene. Letztere schließt die landespolitische Arbeit der 15 Landesverbände des VDI ein sowie die konkreten Aktivitäten der 45 VDI-Bezirksvereine, die beispielsweise mit Schulen im Bereich der technischen Bildung kooperieren, mit Hochschulen sowie mit Unternehmen, um Fachkräfte zu sichern.

Ziel dieses Impulspapiers ist es, Änderungsbedarfe im Bereich der technischen Bildung und Qualifikation aufzuzeigen und anhand von Best-Practices-Beispielen Optionen aufzuzeigen, wie das Themenfeld anders gedacht und angegangen werden kann. Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen geben Impulse und sind der Ausgangspunkt für den VDI, um weitere Aktivitäten zu forcieren, Veränderungen anzustoßen und Umsetzungen von Maßnahmen zu begleiten.

Die Inhalte dieses Impulspapiers basieren auf ausführlichen Diskussionen mit einer Expertengruppe, die aus ca. 30 Vertretern aus Wirtschaft, Hochschulen und Bildungseinrichtungen sowie NGOs (Stiftungen) bestand. Die Experten und Expertinnen vertreten mit ihrer Kompetenz die drei Lebenszyklen – technischen Bildung, Ingenieurausbildung sowie Weiterbildung.



Quelle: VDI

2 Ausgangslage

2.1 Wandel der Arbeitswelt von Ingenieurinnen und Ingenieuren

Bedingt durch technologische und gesellschaftliche Veränderungen erleben wir aktuell einen beschleunigten Wandel in vielen gesellschaftlichen Bereichen. Immer schnellere Innovations- und Transformationsprozesse sowie immer komplexere gesellschaftliche Probleme sind Herausforderungen für die zukünftige Arbeitswelt von Ingenieurinnen und Ingenieuren. Während einst eine hohe technische Kompetenz zum Lösen der Probleme im Vordergrund stand und Prozesse linear und relativ planbar waren, werden die Anforderungen an das Berufsfeld deutlich vielfältiger.

Vor diesem Hintergrund spricht man von einer Industrie 5.0 als Vision einer Industrie der Zukunft, die nicht nur technologische Innovationen, sondern auch ökologische und soziale Herausforderungen in den Fokus nimmt und von Kollaboration sowie Inter- und Transdisziplinarität geprägt ist. Damit verbunden ist auch eine Transformation der Aus- und Weiterbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren. Entsprechende Ansätze werden unter den Begriffen „engineering education 5.0“ und „disruptive engineering education“ zusammengefasst.

Die zunehmende Ressourcenknappheit einerseits und Nachhaltigkeitsfragen andererseits führen dazu, dass ein Schwerpunkt der Industrie 5.0 auf ressourcenschonender und nachhaltiger Fertigung (sustainable manufacturing) liegt. Es ist davon auszugehen, dass der Aspekt der Nachhaltigkeit in allen Bereichen industrieller Wertschöpfung von Ressourcennutzung, über effiziente Fertigungsverfahren bis zur Wiederverwendung von Produkten und Materialien in den nächsten Jahrzehnten zunehmend eine wichtige Rolle spielen wird.

Mit wachsender Bedeutung von Klima- und Umweltzielen werden Expertinnen und Experten im Bereich Umwelt- und Energietechnik, insbesondere im Bereich der erneuerbaren Energien stark nachgefragt werden. Ingenieurinnen und Ingenieure benötigen verstärkt Expertise für grüne Technologien, die sie befähigen,

klimafreundliche Lösungen zu erarbeiten (World Economic Forum 2025).

Auch die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung führt zu einem Wandel des Berufsbilds und zu veränderten Kompetenzanforderungen. Durch Automatisierung, Robotik und künstliche Intelligenz (KI) werden technologiebasierte Arbeitsprozesse integraler Bestandteil vieler Ingenieurberufe sein, was eine Neuorientierung in Bezug auf Fähigkeiten und eine stärkere Zusammenarbeit mit künstlich intelligenten Systemen erfordern wird. Automatisierung führt dabei nicht zu weniger, aber zu anderen Arbeitsaufgaben für Fachkräfte: Routine-Aufgaben nehmen deutlich ab, Nicht-Routine-Aufgaben (analytische und interpersonelle) werden immer wichtiger in der Arbeitswelt.

Dies zeigt auch eine empirische Studie des VDI, die die Auswirkungen generativer KI auf den Ingenieurberuf untersucht. Dabei wurden Potenziale der generativen KI aus Sicht verschiedener Ingenieurberufe bzw. Anwendungskontexte analysiert, wie Mess- und Automatisierungstechnik, Bauen und Gebäudetechnik, Produktion und Logistik sowie Verfahrenstechnik und Chemie. Übergreifend wird deutlich, wie sich Arbeitsprozesse, Entscheidungsfindung und die Entwicklung technischer Lösungen durch KI-gestützte Werkzeuge zunehmend effizienter und kreativer gestalten lassen können. Die generative KI wird dabei „Sparringspartner“ des Ingenieurs bzw. der Ingenieurin, was veränderte Kompetenzanforderungen mit sich zieht. (vgl. VDI-KI-Studie 2025).

„Die Digitalisierung und Dekarbonisierung der Wirtschaft führen zu massiven Verschiebungen in den nachgefragten Kompetenzen, sodass selbst qualifizierte Fachkräfte nicht zwangsläufig auch für neu gestaltete Arbeitsplätze qualifiziert sind“.
(VDI e.V. 2024, S. 33)

Ausgeprägte Soft Skills und transformative Kompetenzen, sogenannte Future Skills, wer-

den unverzichtbar. Daher wird eine einseitig technische und digitale Expertise nicht ausreichen, um den Herausforderungen einer sich schnell verändernden Arbeitswelt gerecht zu werden. Für die Arbeit in interdisziplinären Teams werden kommunikative und kollaborative Fähigkeiten benötigt. Für globale Projekte sind interkulturelle Kompetenzen und Führungs- und Managementkompetenzen, wozu auch Skills im Bereich von Entrepreneurship- und Innovationsaufgaben gehören, gefragt. Der Umgang mit Unsicherheit, die Fähigkeit, kreativ an der Lösung von Problemen zu arbeiten, ein verantwortungsvoller Umgang mit ethischen und auf Nachhaltigkeit bezogenen Fragestellungen, die Fähigkeit zur Entscheidungsfindung, zu kritischem Denken oder zu selbstorganisiertem Lernen und eine flexible Anpassung von Kompetenzen an neue Herausforderungen werden in diesem Kontext immer wichtiger.

Neue Technologien machen aber auch Spezialkenntnisse erforderlich. Arbeitskräfte mit entsprechenden Kompetenzen werden in allen Branchen benötigt und eine knappe Ressource auf dem Arbeitsmarkt sein. Unter anderem werden Ingenieurinnen und Ingenieure verstärkt Fähigkeiten im Umgang mit Zukunftstechnologien benötigen. Die EU hat in diesem Zusammenhang folgende „key enabling technologies“ (vgl. Europäisches Parlament 2022) definiert, die als wissensintensive Technologien mit hoher Forschungs- und Entwicklungsintensität, schnellen Innovationszyklen, hohen Kapitalaufwendungen und hochqualifizierten Arbeitsplätzen verbunden sind:

- Advanced Manufacturing
- Advanced (nano)materials
- Life-science technologies
- Micro/nano-electronics and photonics
- Artificial Intelligence
- Security and connectivity technologies

Dabei steht Europa vor großen Herausforderungen in der Bemühung darum, in wichtigen Schlüsseltechnologien mit Ländern wie den USA und China mithalten; u. a. im Bereich KI, Halbleiter und Chips sowie Cloud- und Edge-

Computing wird ein großer Handlungsbedarf gesehen (World Economic Forum, McKinsey 2025).

Zudem werden Kompetenzen im Bereich Netzwerksicherheit und Cybersecurity stark an Bedeutung gewinnen, da digitale Infrastrukturen zunehmend komplexer und angreifbarer werden (World Economic Forum 2025). Somit wird sich der bereits jetzt zu beobachtende Engpass insbesondere im Bereich der spezifischen technischen Kompetenzen insgesamt noch verstärken.

Ansätze zu Zukunftskompetenzen, wie sie z. B. im Lernkompass 2030 der OECD (OECD 2020) und im Future-Skills-Framework des Stifterverbands dargestellt werden, verbinden fachliche und überfachliche Kompetenzen.

In zahlreichen Berufsfeldern, insbesondere im Ingenieurwesen, wird es somit zu erheblichen Kompetenzverschiebungen kommen. Technische Fähigkeiten und Kenntnisse (z. B. im Bereich von Kontrolle und Steuerung von Prozessen), die bislang als essenziell galten, könnten in der Zukunft aufgrund der Automatisierung an Bedeutung verlieren. Im Gegenzug werden Kompetenzen im Umgang mit neuen Technologien und im Umgang mit Daten, überfachliche Kompetenzen wie inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit und kreatives sowie kritisches Denken zunehmend wichtiger. Diese Verschiebung erfordert nicht nur eine Anpassung der Ausbildungs- und Weiterbildungsangebote. Für Ingenieurinnen und Ingenieure der Zukunft heißt das, dass sie ihre fachlichen Kompetenzen regelmäßig auf den aktuellen technologischen Stand bringen müssen (vgl. Vieira 2024). Sie werden ständig neue Fähigkeiten erwerben und ihr Wissen aktualisieren müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Unternehmen und öffentliche Einrichtungen setzen daher zunehmend auf Programme zum Up- und Re-Skilling im Bereich der technischen Kompetenzen, um den Bedarf an neuen Fähigkeiten zu decken.

Zudem wird die Bereitschaft zur Neugier und Offenheit für Neues als ein weiterer Aspekt lebenslangen Lernens weiter an Bedeutung gewinnen. Dabei scheint in Deutschland in vielen Bereichen eher eine Kultur zu bestehen, die durch Angst vor Fehlern geprägt ist, was oft einem konstruktiven Umgang mit Veränderungsprozessen entgegensteht. Kernkompetenzen im

Spezialisten für den Umgang mit transformativen Technologien werden in allen Branchen benötigt und sind eine knappe Ressource am Arbeitsmarkt

Neue Arbeitsformen erfordern ein **verändertes Set an digitalen und nicht digitalen Schlüsselkompetenzen** bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern

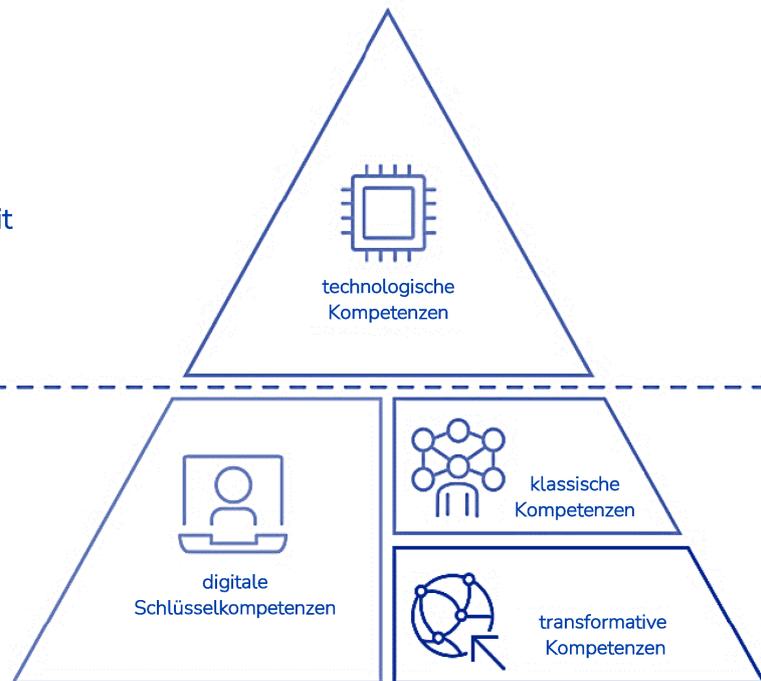


Bild 2. Future Skills Framework, Quelle: Stifterverband (2021)

Umgang mit Veränderungen und Unsicherheit müssen in Bildung und Berufsleben von Ingenieuren und Ingenieurinnen gestärkt werden, um die laufende Anpassungsfähigkeit an technologische Veränderungen herzustellen (van den Broek et al. 2022).

Parallel dazu hat sich der Fachkräftemangel in den MINT-Berufen allgemein und insbesondere in den Ingenieurberufen manifestiert und wird durch die demografische Entwicklung und die fortschreitende technologische Transformation – aufgrund fehlender oder zumindest mangelhafter Kompetenzen für diese neuen Technologien – weiter verschärft. Die Generation der Babyboomer wird in den kommenden Jahren den Arbeitsmarkt verlassen, ohne dass die nachrückenden Generationen zahlenmäßig ausreichen, um diese Lücke zu füllen. So waren im Jahr 2024 im Baugewerbe und Informatikbereich jeweils knapp 40.000 Stellen unbesetzt, in der Energie- und Elektrotechnik blieben immerhin knapp 19.000 Positionen offen (VDI e.V. 2025), siehe Bild 3.

Die für Deutschland geplanten Investitionen in Infrastruktur und militärische Ausstattung lassen im Ingenieurbereich einen steigenden Bedarf an Fachkräften in den nächsten Jahren erwarten.

In dieser Situation ist es daher besonders problematisch, dass es bislang nicht in ausreichendem Maße gelingt, im Ingenieurbereich bisher unterrepräsentierte Zielgruppen für technische Berufe zu gewinnen.

Obwohl Diversität, insbesondere in den Führungspositionen, die Profitabilität von Unternehmen nachweislich steigern kann, sind Frauen in der Geschäftsführung und bis zu drei Ebenen darunter in Unternehmen, die in Deutschland ansässig sind, weiterhin unterrepräsentiert (McKinsey 2024). Dies trifft insbesondere auf



Bild 3. Offene Positionen im Ingenieurbereich im 3. Quartal 2024, Quelle: VDI e.V. (2025)

den Ingenieurbereich zu, und schon im Studium zeigen sich dort deutliche Unterschiede: Besonders in den Fachrichtungen „Transport“, „Elektronik und Automation“, „Informations- und Kommunikationstechnologien“ sowie „Ingenieurwesen, Verarbeitendes Gewerbe, Baugewerbe“ ist der Frauenanteil immer noch sehr gering (Eurostat 2022), siehe Bild 4.

In der technischen Forschung und Entwicklung wiederum ist der Frauenanteil zwischen 2013 und 2023 von 11 % auf 18 % gestiegen (Destatis 2024a). Mit Blick auf Ausbildungsberufe zeigt sich: Die bei männlichen Auszubildenden beliebtesten Berufe im Ingenieurbereich werden von Frauen sogar noch seltener ausgewählt (Mechatronik (0,5 %), Informatik (0,7 %), Elektronik (0,2 %), Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik (0,1 %) (Destatis, 2021). Die Unterrepräsentation ist umso brisanter, da Frauen insgesamt in Deutschland einen deutlichen Bildungsvorsprung haben, das heißt höhere Bildungsabschlüsse erreichen (Destatis 2024b). Zudem erzielen vielfältige Führungsteams bessere Ergebnisse bei der Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien sowie im Bereich der Personalpolitik (McKinsey 2024).

Auch gelingt es bisher nicht, Menschen mit Migrationshintergrund und ausländische Fachkräfte in hinreichendem Maße in Ingenieurberufe einzubinden. Um die Zuwanderung qualifizierter Arbeitskräfte zu erleichtern, wurde 2024 das Fachkräfteeinwanderungsgesetz erneuert. Da-

mit wird es u. a. ermöglicht, auch ohne feste Stelle nach Deutschland einzureisen und sich erst vor Ort auf geeignete Stellen zu bewerben (Bundesregierung 2024). Gleichzeitig bleibt das Problem bestehen, dass es für Unternehmen schwierig ist, einzuordnen und abzuschätzen, welches Ausbildungsniveau unterschiedliche ausländische Abschlüsse nachweisen, was die Einstellung erschwert. Die geringe Einbindung ausländischer Fachkräfte ist umso bedenklicher vor dem Hintergrund, dass diese die Innovationsfähigkeit in Deutschland maßgeblich fördern. So stieg der Prozentsatz an Patentanmeldungen von ausländischen Erfinderinnen und Erfindern in Deutschland zwischen 2010 und 2020 von siebeneinhalb auf 13 (Anger et al. 2024, S. 14).

Seit 2013/14 ist der Anteil ausländischer, insbesondere aus Indien stammender Studierender an deutschen Hochschulen in ingenieurwissenschaftlichen Fächern (vor allem in den Studiengängen Bergbau, Hüttenwesen (56,8 %), Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (45,3 %) sowie Elektrotechnik und Informationstechnik (39,0 %) um knapp 11 Prozentpunkte von 14,7 % auf 25,6 % gestiegen (Federkeil et al., 2024, S. 7, 15f.). Insbesondere in der Informatik übersteigt der Anteil an ausländischen Studentinnen (31 %) den der deutschen Studentinnen (19,8 %) deutlich (ebd., S. 9). Dies ist eine positive Entwicklung. Doch ohne die langfristige Bindung ausländischer Absolventinnen und Absolventen in den deutschen Arbeitsmarkt kann die

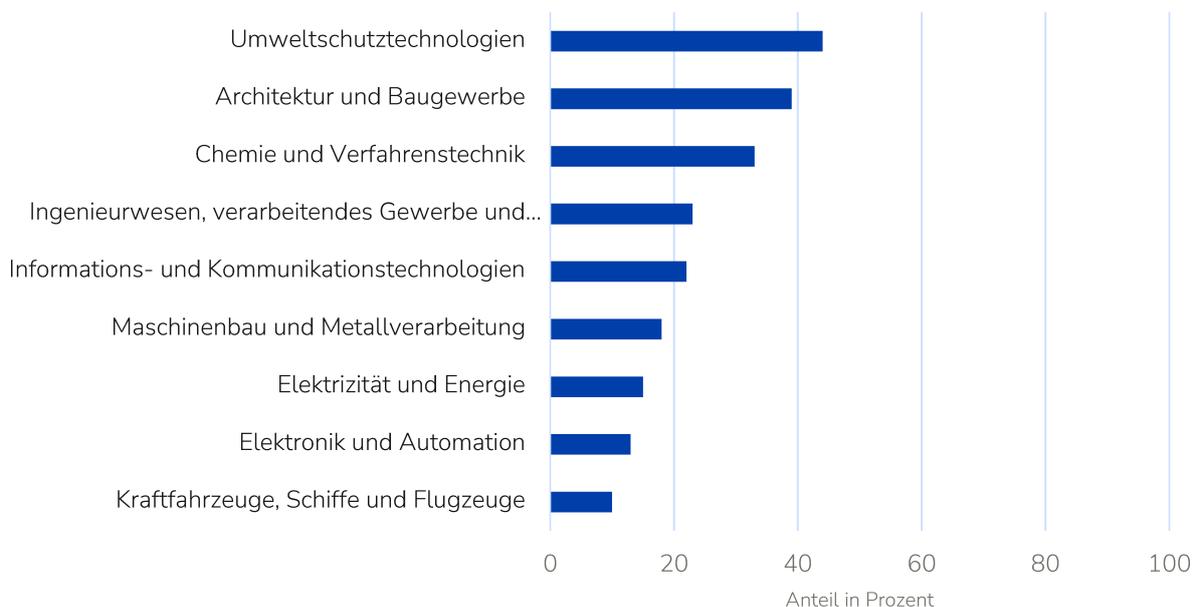


Bild 4. Frauenanteil entlang ingenieurwissenschaftlicher Studienfächer im Jahr 2022, Quelle: Eurostat (2022)

Fachkräftelücke nicht geschlossen werden. Diese Bindung muss schon während des Studiums durch Maßnahmen im Bereich kultureller Integration und Sprachunterricht angegangen werden.

Um ausländische Fachkräfte für den deutschen Arbeitsmarkt zu gewinnen, werden zudem im Ingenieurbereich, neben dem Gesundheitssektor, inzwischen vermehrt ausländische Abschlüsse in Deutschland anerkannt, insbesondere aus der EU sowie Asien (Philippinen) (Die Techniker 2024). Dies könnte den deutschen Arbeitsmarkt stärken, da sich die Anzahl ausländischer Ingenieurinnen und Ingenieure zwischen 2012 (46.489) und 2023 (114.648) mehr als verdoppelt hat (VDI e.V., Institut der Deutschen Wirtschaft e.V. 2024, S. 19).

Gleichzeitig sind die Studierendenzahlen in vielen Ingenieurdisziplinen rückläufig. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in der Skepsis junger Menschen in Deutschland gegenüber technischen Berufen und der Wahrnehmung von bestimmten Technologien, die als eingeschränkt vertrauenswürdig und zukunftsfähig gelten. Eine Überblickstudie im Auftrag des VDI aus dem Jahr 2024 hat ergeben, dass die Vorstellungen junger Menschen von Ingenieurstudiengängen und Ingenieurberufen oft nicht der Realität entsprechen. Beide werden mit traditionellen Tätigkeiten, die wenig Gestaltungsspielraum bieten, in Verbindung gebracht (VDI Young Engineers 2025). Ein weiteres Problem sind hohe und weiter steigende Studienabbruchraten (vgl. Abschnitt 4).

Vor dem Hintergrund des Fachkräftemangels und der Kompetenzverschiebungen ist die geringe Flexibilität des deutschen Bildungs- und Qualifizierungssystems besonders bedrohlich. So sind Möglichkeiten der pauschalen Anerkennung zwischen beruflichem und akademischem Bildungsweg bisher kaum gegeben und entsprechende Wege sind kompliziert und aufwendig gestaltet. Gleichzeitig wird bei der Auswahl von Bewerberinnen und Bewerbern (insbesondere beim Berufseinstieg) viel Wert auf einen formalen Berufsabschluss gelegt, während z. B. ein Nachweis vorhandener Kompetenzen auf der Grundlage bereits ausgeübter Tätigkeiten weniger anerkannt wird. Beruflich oder informell erworbene Kenntnisse und Fähigkeiten oder im Ausland erworbene Kompetenzen lassen sich

schwer in das deutsche System der Berufs- und Studienabschlüsse einordnen. Quereinstiege und die Integration von Migrantinnen und Migranten auf dem Arbeitsmarkt sind somit erschwert. Auch die Zertifizierung von non-formalem und informellem Lernen, das außerhalb des Systems der formalen, geregelten Aus- und Weiterbildung erfolgt, bleibt eine Herausforderung.

Die beschriebenen Entwicklungen lassen sich zu vier Themenbereichen (Bild 5) zusammenfassen, die das Berufsbild von Ingenieurinnen und Ingenieuren in der Zukunft prägen und sich durch die folgenden Abschnitte des Impulspapiers ziehen.



Bild 5. Prägende Themenfelder für die Arbeitswelt der Zukunft, Quelle: Eigene Darstellung

Alle vier Themenbereiche weisen Schnittstellen und Wechselwirkungen zueinander auf. Technologische Entwicklungen sind dabei in enger Wechselwirkung mit den zuvor beschriebenen weltweiten und gesellschaftlichen Herausforderungen wie Klimawandel, Ressourcenknappheit, globalen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu sehen. Kompetenzverschiebungen betreffen sowohl technische Kompetenzen als auch Schlüsselkompetenzen wie die Future Skills. Der Fachkräftemangel wird es erforderlich machen, viel Aufwand für eine erfolgreiche Fachkräftegewinnung zu betreiben, unterschiedliche Zielgruppen zu erreichen und Maßnahmen des Up- und Re-Skilling systematisch anzugehen. Die Steigerung der Durchlässigkeit und Flexibilität von Karriere- und Bildungswegen ist gerade im Zusammenhang mit Maßnahmen gegen den Fachkräftemangel ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt.

2.2 Aktuelle Herausforderungen im Bildungssystem in Deutschland

Eine zentrale Rolle für die Sicherung von Fachkräften und den Aufbau von Kompetenzen für die Arbeitswelt von morgen spielt die Bildung.

Dabei interessieren im Kontext der Ingenieurausbildung vor allem die Kompetenzen in den Bereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT). Im Zusammenhang mit den großen Transformationsherausforderungen der heutigen Zeit – von der Digitalisierung über die Dekarbonisierung bis zu demografischen Entwicklungen und sich verändernden globalen Verhältnissen – präsentiert das Institut der deutschen Wirtschaft die anhaltende Diskrepanz zwischen der hohen Nachfrage nach MINT-Kompetenzen auf dem deutschen Arbeitsmarkt und der Entwicklung entsprechender Kompetenzen im deutschen Bildungssystem. Der Mangel an MINT-Fachkräften wird dabei als größtes Innovationshemmnis eingestuft (Anger et al. 2024, S. 4).

Das deutsche Bildungssystem ist mit Blick auf den Erwerb und die Förderung von Kompetenzen, die für technische Berufe relevant sind, sehr heterogen aufgestellt. Daher werden im Folgenden die zentralen Herausforderungen entlang der Bildungskette – MINT-Bildung in Kita und Schule, Ingenieurausbildung sowie Weiterbildung und lebenslanges Lernen – vorgestellt.

MINT-Bildung in Kita und Schule

Zunehmend wird erkannt, wie wichtig es ist, Kindern schon im Vorschulalter eine positive Einstellung zu MINT-Themen zu vermitteln und ihnen dort forschend-entdeckendes Lernen zu ermöglichen (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2018). In diesem Alter sind sowohl Jungen als auch Mädchen zwar von sich aus ohnehin noch sehr neugierig und erforschen gerne ihre Umwelt sowie naturwissenschaftliche Phänomene. Sie werden aber bereits in diesen frühen Lebensjahren durch Geschlechterstereotypen, kulturell bzw. patriarchal geprägte Vorstellungen von Naturwissenschaften und Technik, mangelnde Vorbilder, ihre Eltern sowie durch die von ihnen besuchten Betreuungseinrichtungen in Bezug auf ihre Interessen geprägt (Master et al. 2021).

Kitas sind nicht nur Betreuungs- und Erziehungsort, sondern haben einen Bildungsauftrag (SGB III, § 22), der sich in bundeslandspezifischen Bildungsplänen widerspiegelt. Darin wird MINT – meist getrennt nach Mathematik und einem Kanon aus Umwelt, Natur und Technik –

als wichtiger Bildungsbereich dargestellt, im Alltag besteht MINT-Förderung in Kitas aber meist aus nicht mehr als Spaziergängen in der Natur, dem Stapeln von Bausteinen oder dem Lauschen von Musik aus alten CD-Playern (Friedrichs-Liesenkötter 2019). Auffällig ist, dass informatische Vorstufen, in der frühkindlichen Bildung insbesondere auf digitale Medien bezogen, in den meisten Bildungsplänen aktuell nicht präsent sind oder lediglich als integriert in beispielsweise den Bildungsbereich Sprache vermittelt werden sollen (Textor 2024). Trotz entsprechender Forderungen in der Medienpädagogik (Eder et al. 2017) und einer grundsätzlich positiven Haltung von Erzieherinnen und Erziehern gegenüber digitalen Medien besteht im Elementarbereich weiterhin die Herausforderung, entsprechende Medienerfahrungen pädagogisch zu begleiten. Dazu tragen nicht zuletzt die geringe Ausstattung mit modernen Technologien sowie der Mangel an pädagogischem Personal bei (Stiftung Haus der kleinen Forscher 2017). Das Erleben von neuen Technologien passiert daher meist im privaten und damit pädagogisch wenig gerahmten Umfeld. Dies ist umso misslicher, denn die Kita stellt die Grundlage für das spätere schulische und berufliche Lernen im MINT-Bereich dar.

Mit Blick auf die Schule zeigt sich, dass die sogenannten MINT-Fächer aufgrund des föderalen Systems sehr unterschiedlich intensiv unterrichtet werden. Während Mathematik ein Hauptfach ist und die naturwissenschaftlichen Fächer – in der Grundschule in Form von Sachunterricht, in der weiterführenden Schule, insbesondere an Gymnasien sogar als Pflichtfächer bis zum Ende der Sekundarstufe I, in Form von Biologie, Chemie und Physik – einen mehr oder weniger sicheren Platz in deutschen Lehrplänen haben, sind die Fächer Informatik und Technik in deutschen Klassenzimmern sehr wenig vertreten. Aber auch hier gibt es bundesweit große Unterschiede.

Während im Westen und Süden Deutschlands Informatik als eigenes Fach – meist ab der Sekundarstufe I (7. bzw. 8. Klasse) – unterrichtet wird, integrieren Schulen im Norden und Osten Informatik eher in bestehende (MINT-)Fächer. Die Lerninhalte des Fachs Informatik variieren dabei ebenso sehr – von der Förderung eines Verständnisses von Algorithmen und der kriti-

schen Auseinandersetzung mit technischen Entwicklungen über die Programmierung eigener und Anwendung bestehender Software (Gesellschaft für Informatik e.V. 2023).

Weniger noch als Informatik stellt Technik in den deutschen Lehrplänen ein eigenes Fach dar. Ausnahmen sind Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen und Thüringen, wo Technik in der Sekundarstufe I sogar ein Pflichtfach ist. Hier werden sowohl theoretische Kenntnisse (Werkstoffe, Konstruktion, Technologiegeschichte) vermittelt als auch die praktische Anwendung von Werkzeugen, Maschinen und Computern geübt. In welchem Umfang und wie Technik an Schulen unterrichtet wird, hängt nicht zuletzt von der Schulform ab: Während es an Haupt-, Real-, Gesamt- und auch Förderschulen mindestens als Wahlpflichtfach in die Lehrpläne integriert ist, findet sich Technikunterricht an Gymnasien lediglich als Wahlfach wieder.

Das diffuse Bild zur MINT-Bildung im deutschen Bildungssystem spiegelt sich auch in den Ergebnissen internationaler Vergleichsstudien wider. Die aktuelle TIMMS-Studie (Trends in International Mathematics and Science Study) aus dem Jahr 2023 zeigt (Schwippert et al. 2024): Zwar sind die Leistungen der deutschen Schülerinnen und Schüler in Mathematik und den Naturwissenschaften in Deutschland über die letzten Erhebungszeiträume in etwa gleichgeblieben. Deutschland bewegt sich im internationalen Vergleich im oberen Mittelfeld, während die asiatischen Länder – insbesondere Singapur – die Spitzenpositionen besetzen.

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen der 4. und 8. Klassen zeigt aber, dass mit der Komplexität der Lehrinhalte die Kompetenzen der deutschen Schülerinnen und Schüler im MINT-Bereich sinken. Dies wird unter anderem auf die unterschiedlichen Lehransätze zurückgeführt. Während beispielsweise in Singapur und Südkorea konstruktivistische Lernmethoden (Fokus auf Praxisorientierung, Problemlösung) genutzt werden, hinkt Deutschland methodisch hinterher. Obwohl Mädchen insgesamt etwas schlechter abschneiden als ihre Mitschüler, fällt die Differenz zwischen den Geschlechtern in der 8. Klasse geringer aus als in der 4. Dies könnte

auf eine gewisse Effektivität der Fördermaßnahmen für Mädchen im Bereich MINT hindeuten.

Die letzten PISA-Studienergebnisse von 2022 zeichnen ein etwas kritischeres Bild: Seit 2012 sind die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in Mathematik und den Naturwissenschaften gesunken (OECD 2023). Dieser Trend ist nicht auf Deutschland beschränkt, sondern zeigt sich auch in anderen EU-Ländern. In der EU verfehlen im Durchschnitt 30 % der Schülerinnen und Schüler die grundlegende Kompetenzstufe in Mathematik, während 24 % die Mindestanforderungen in den Naturwissenschaften nicht erreichen (Europäische Kommission 2025).

Einfluss auf die Art und Intensivität von Informatik- und Technikunterricht an deutschen Schulen hat neben der Ausstattung mit digitalen Medien oder Werkstätten auch der Mangel an Lehrkräften. Dieser betrifft neben den beiden Fächern Informatik und Technik besonders stark die bereits im Pflichtbereich etablierten MINT-Fächer wie Mathematik und Naturwissenschaften (Anger et al. 2023).

Bezüglich der technischen Ausstattung kommen im bundesweiten Durchschnitt auf einen PC/Laptop/Tablet in Deutschland rund 13 Schülerinnen/Schüler, über eine leistungsfähige Internetverbindung verfügen etwa zwei Drittel der Schulen (Anger et al. 2021, Lorenz et al. 2021). Auch hier bestehen starke Unterschiede zwischen den Bundesländern, wobei mit dem DigitalPakt Schule die digitale Infrastruktur bundesweit verbessert werden soll. Erste Zwischenberichte zum Digitalpakt 1.0 (Laufzeit 2019 bis 2025) deuten darauf hin, dass durch das Programm die Ausstattung mit digitalen Endgeräten und stabile WLAN-Verbindungen an knapp 30.000 Schulen bundesweit gesteigert werden konnte, es aber weiterhin an technologiegestützten Lehrkonzepten mangelt und auch die Beschaffung geeigneter Software mit bürokratischen Hürden einhergeht. Die Ergebnisse einer systematischen Evaluation der ersten Runde des Digitalpakts stehen noch aus. Ein Digitalpakt 2.0 wurde zwischen Bund und Ländern am 13.12.2024 vereinbart.

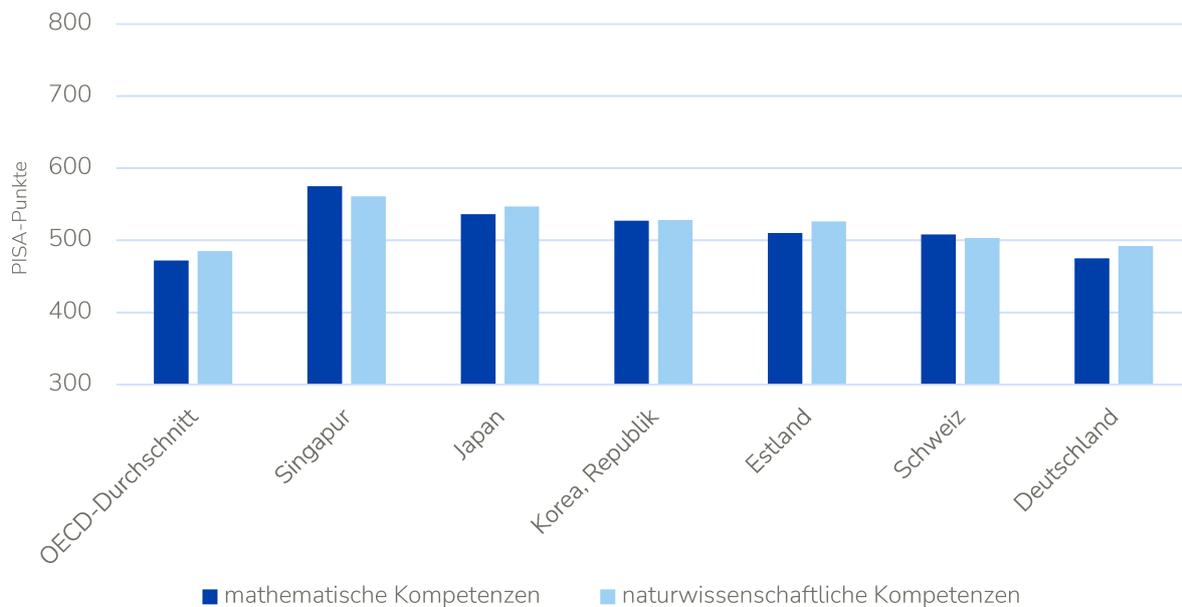


Bild 6. Mathematische und Naturwissenschaftliche Kompetenzen von 15-jährigen Schülerinnen und Schülern im Ländervergleich, Quelle: Lewalter et al. (2023)

Mit Blick auf die Lernenden zeigt sich, dass das deutsche Bildungssystem es mit einer zunehmend diverseren Schülerinnen- und Schülerschaft zu tun hat. Dabei ist in Deutschland der Zusammenhang zwischen Herkunftsfamilie und schulischem Abschlussniveau deutlich stärker ausgeprägt als in den meisten anderen europäischen Ländern. Es gelingt in Deutschland somit im europäischen Vergleich schlecht, in der Schule sozialer Ungleichheit entgegenzuwirken. Nicht zuletzt ist die Schulabbruchquote ein anhaltend prägender Faktor. So haben im Jahr 2022 rund 52.000 Schülerinnen und Schüler (6,9 %), die Schule ohne Abschluss verlassen. Im Vergleich zu 2013 sind das etwa 6.000 Schülerinnen und Schüler mehr ohne Schulabschluss. Im europäischen Vergleich hat Deutschland damit die vierthöchste Schulabbruchquote. Darunter befinden sich vermehrt Kinder bzw. Jugendliche mit Migrationshintergrund. Sie haben somit kaum eine Chance auf eine (berufliche oder schulische) Ausbildung. Ebenfalls bedenklich ist die Tatsache, dass Deutschland bei den mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen im internationalen Vergleich weiterhin hinterherhinkt (Bild 6).

Positiv wiederum ist die Entwicklung zu bewerten, dass immer mehr Schülerinnen und Schüler mindestens einen mittleren Schulabschluss erlangen und somit ihre Chance auf einen Ausbildungsplatz verbessern (Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung 2024, S.168f.).

Studium und Ausbildung in technischen Berufen

Die Ingenieurausbildung an deutschen Hochschulen ist ebenfalls sehr unterschiedlich aufgestellt. Während Universitäten meist weiterhin eine breite und theorieorientierte Ausbildung anbieten, lehren Technische Hochschulen, Fachhochschulen (FH) und Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) praxisorientiert und fördern die Zusammenarbeit mit der Industrie bereits während des Studiums.

Eine Besonderheit in Deutschland ist das Angebot der dualen Studiengänge, in denen Theorie (an der Hochschule) mit Praxis (in Unternehmen) eng verbunden sind und die internationale Anerkennung erfahren. Duale Studiengänge ermöglichen eine optimale Vorbereitung auf den Arbeitsmarkt, das nehmen auch Studierende in nicht dualen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen wahr: Eine Befragung der VDI Young Engineers, zu denen Studierende und Berufseinsteigerinnen und -einsteiger gehören, hat ergeben, dass sich die Befragten generell mehr Praxisbezug im Studium wünschen, um besser auf die Anforderungen des Arbeitsmarkts vorbereitet zu sein. Darüber hinaus wurde der Wunsch nach stärkerer Berücksichtigung außerfachlicher Kompetenzen, z. B. Soft Skills, im Studium geäußert (VDI Young Engineers 2025).

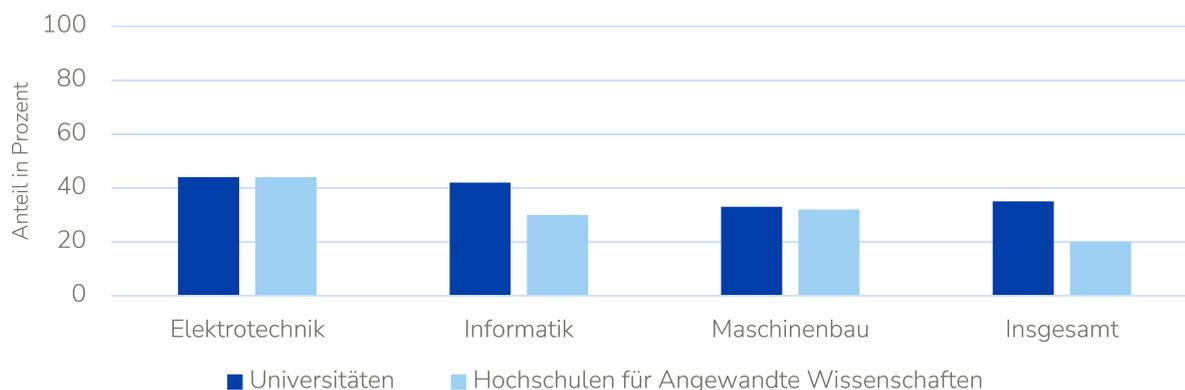


Bild 7. Studienabbruchquoten in ingenieurwissenschaftlichen Fächern an Universitäten und Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Deutschland, Quelle: Federkeil et al. (2024)

Die hohen Studienabbruchquoten (Bild 7) und die sinkenden Zahlen an Absolventinnen und Absolventen in technischen Bereichen wie Informatik, Maschinenbau und Elektrotechnik auf akademischer sowie auch auf berufsbildender Ebene stellen für den Fachkräftemangel ein zentrales Thema der Arbeitsmarktentwicklung dar.

Das Problem wird durch die nur langsamen Anpassungen auf Seiten der schulischen Bildung hinsichtlich der effektiven Vermittlung von MINT-Kompetenzen, die weiterhin bestehende Unterrepräsentation von Frauen im MINT-Bereich sowie Hürden bei der Integration internationaler Studierender und zugewanderter Fachkräfte weiter verstärkt.

Einen internationalen Vergleich im Bereich Engineering Education gibt Ruth Graham (2024). Danach hinkt Deutschland insbesondere mit Blick auf innovative und interdisziplinäre Lehr-/Lernansätze in der MINT-Bildung und speziell in der Ingenieurausbildung hinterher. Die Beispiele in der Studie von Graham zeigen, dass insbesondere die USA in Bezug auf eine innovative Ingenieurausbildung als Vorreiter angesehen werden können. Andererseits weist das amerikanische Bildungssystem aufgrund seiner Privatisierung auch massive qualitative Unterschiede auf und Studierende aus einkommensschwachen Schichten werden benachteiligt. Skandinavien und die Niederlande sind hingegen sowohl mit Blick auf den Zugang zu als auch hinsichtlich der Qualität und Innovativität der Ingenieurausbildung ein Vorbild. Hier wird weniger in einzelnen Disziplinen gedacht, sondern es wird fächerübergreifend und zunehmend in Form von Projektarbeit gelehrt (vgl. Good Practices in Abschnitt 4).

Mit Blick auf technische Ausbildungsberufe sind duale Ansätze, beispielsweise zum/zur Mechatroniker/in, Industriemechaniker/in oder Fachinformatiker/in, ebenfalls sehr beliebt. Da Betriebe für die Ausbildung in diesen Berufen meist kein Abitur, sondern einen mittleren Schulabschluss voraussetzen, bieten technische Ausbildungsberufe eine Möglichkeit, insbesondere junge Menschen ohne Studienwunsch für den Arbeitsmarkt zu qualifizieren.

Berufliche und betriebliche Weiterbildung

Im internationalen Vergleich sind das deutsche Weiterbildungssystem und seine Governance-Strukturen besonders komplex. Dies ergibt sich aus der Verortung zwischen Bildung, Arbeitsmarkt und Sozialpolitik, wobei verschiedene Akteure – von Unternehmen über Wirtschafts- und Sozialpartner, staatliche und private Bildungsanbieter sowie Akteure auf bundes- und landespolitischer Ebene – mit unterschiedlicher Verantwortlichkeit zusammenwirken. Laut OECD-Länderbericht zur Weiterbildung ist die deutsche Weiterbildungslandschaft geprägt von einer schwachen Institutionalisierung, gepaart mit einer hohen Selbstverantwortung der Individuen (OECD 2021, S. 54). Der Pluralismus des Weiterbildungssystems in Deutschland bietet einerseits den Vorteil, dass es eine Vielfalt an Angeboten für unterschiedlichste Bedarfe gibt, andererseits stellt die große Heterogenität auch eine Hürde für die Koordination und Zusammenarbeit der Akteure und für die Transparenz dar. Der Adult Education Survey von 2022 stellt in Bezug auf Transparenz fest, dass nur drei von fünf der 18- bis 64-Jährigen angeben, einen guten Überblick über die eigenen Weiterbildungsmöglichkeiten zu haben (Bundesminis-

terium für Bildung und Forschung 2024). Und nur drei von zehn Befragten gaben an, bei einer Suche nach Informationen über Weiterbildungsmöglichkeiten die gesuchten Informationen gefunden haben.

Die Herausforderung sich auf dem Weiterbildungsmarkt zu orientieren, ergibt sich auch dadurch, dass die richtigen Inhalte und die passenden Formate gefunden werden müssen. In Bezug auf berufliche und betriebliche Weiterbildungsmöglichkeiten für Ingenieurinnen und Ingenieure zeigt sich ein sehr weites Spektrum. Es reicht von berufsbegleitenden Studiengängen über unternehmensinterne Trainings (z. B. zu einzelnen Software-Tools) hin zu Zertifikatskursen (z. B. Managementthemen) und onlinebasierten Lernplattformen (z. B. zu speziellen Kenntnissen in KI oder Datenanalyse). Hochschulen bieten beispielsweise immer häufiger akkumulierbare Zertifikate – sogenannte Certificates bzw. Diplomas of Basic Studies – als akademische Weiterbildungsmöglichkeit an, die flexibel kombiniert werden können.

Bei der Nutzung digitaler Medien im Rahmen von Weiterbildung zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen formaler und non-formaler Bildung. Während sich im Bereich der formalen Bildung hier keine Veränderungen abzeichnen, steigt die Nutzung digitaler Medien im Bereich der non-formalen Weiterbildung stark an (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2024, S. 68).

Gleichzeitig werden zunehmend KI-Systeme eingesetzt, die Weiterbildungsbedarfe analysieren und bedarfsgerechte Angebote für einen gezielten Kompetenzerwerb anbieten.

Aufgrund der beschleunigten Transformation ergibt sich auch auf Ebene der Weiterbildung – im Sinne lebenslangen Lernens – ein gesteigerter Bedarf. Wie in Abschnitt 2.1 bereits dargestellt, müssen Ingenieurinnen und Ingenieure im Zuge einer Kompetenzverschiebung nicht nur in Bezug auf technologische Innovationen auf dem aktuellen Stand bleiben, sondern sich vor dem Hintergrund komplexer werdender gesellschaftlicher Fragestellungen in Bezug Future Skills, das heißt u. a. in Bezug auf interdisziplinäre Zusammenarbeit, analytische Kompetenzen und interpersonelle und agile Arbeitsweisen weiterentwickeln. Ebenso wird der Umgang

mit großen Datenmengen zunehmen, sodass Data Literacy wichtiger werden wird.

Wie der aktuelle Adult Education Survey zeigt, lag die Weiterbildungsbeteiligung in Deutschland im Jahr 2022 insgesamt bei 58 % und hat sich damit im Vergleich zum vorhergehenden Survey von 2020 nicht wesentlich verändert. Für die Beteiligung an betrieblicher Weiterbildung (als Weiterbildung, die überwiegend während der Arbeitszeit und betrieblich finanziert stattfindet) zeigt sich ein ähnlicher Trend: Hier werden konstant 48 % erreicht, während in den Jahren zuvor ein deutlicher Zuwachs zu beobachten war (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2024). Dabei wurden 40 % der Weiterbildungsaktivitäten aufgrund von zunehmender Digitalisierung im Rahmen der Arbeit besucht und 28 % zielten darauf, den Umgang mit bestimmten Technologien zu erlernen (ebd.). Abgesehen von der Phase während der Corona-Pandemie scheinen dabei insbesondere kleine und mittelgroße Betriebe zunehmend Weiterbildungsaktivitäten zu fördern (Kerst, Meier 2024). Die Beteiligung an betrieblicher Weiterbildung liegt dabei deutlich höher als die Beteiligung an individueller berufsbezogener Weiterbildung (8 %) (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2024). Weiter ist festzuhalten, dass die Weiterbildungsbeteiligung bei Personen mit hohem Bildungsabschluss deutlich höher liegt als bei Personen mit niedrigem Abschluss. Eine abnehmende Weiterbildungsbeteiligung lässt sich in den letzten Jahren bei Personen mit Migrationshintergrund beobachten. Dabei ist die Qualifizierung gerade dieser Personengruppen vor dem Hintergrund der sich verschärfenden Fachkräftelücke besonders wichtig.

Die praxisorientierte Ausrichtung von Weiterbildungen ermöglicht den Erwerb alltagsrelevanter beruflicher Fähigkeiten. Zudem bieten sie meist viel Flexibilität. Allerdings bestehen bei Kursen, die nicht in Form eines Studiums absolviert werden, Schwierigkeiten, den Kompetenzerwerb einheitlich zu dokumentieren, transparent zu machen oder auf Studiengänge anzurechnen. Als Ausweg bietet sich hier das Konzept der Microcredentials an. Entsprechend des Rats der Europäischen Union (2022) werden Microcredentials als „Nachweise über Lernergebnisse, die eine Lernende bzw. ein Lernender

im Rahmen einer weniger umfangreichen Lerneinheit erzielt hat, beschrieben. Lernergebnisse werden dabei anhand transparenter und eindeutig definierter Kriterien beurteilt. Lernerfahrungen, die zum Erhalt von Microcredentials führen, sind so konzipiert, dass sie den Lernenden spezifische Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen vermitteln, die dem gesellschaftlichen, persönlichen, kulturellen oder arbeitsmarktbezogenen Bedarf entsprechen. [...] Sie können eigenständig sein oder kombiniert werden, sodass sich daraus umfangreichere Qualifikationen ergeben. Sie werden durch eine Qualitätssicherung gestützt, die sich an den im jeweiligen Sektor oder Tätigkeitsbereich vereinbarten Standards orientiert.“ (Rat der Europäischen Union 2022, S. 13)

Zusammengefasst zeigt der Blick auf Befunde zum Weiterbildungssystem in Deutschland, dass zentrale Herausforderungen der Zukunft darin bestehen werden, Orientierung und Transparenz zu verbessern, um Weiterbildungsinteressierte und Unternehmen bei einer gezielten Kompetenzentwicklung zu unterstützen. Der Weiterbildungsbedarf wird angesichts technologischer und gesellschaftlicher Transformation steigen, sodass eine gezielte Förderung von Up- und Re-Skilling im Rahmen größerer Weiterbildungsstrategien sinnvoll erscheint. So sollten beispielsweise spezifische Lerninhalte zu den Themen Digital Literacy und Data Literacy verstärkt angeboten und Mitarbeitende entsprechend geschult werden.

Weiter ist die Zusammenarbeit der Akteure der Weiterbildung wichtig, um Durchlässigkeit und Flexibilität zu steigern, sodass Quereinstiege und die Integration bisher nicht gut erreichter Zielgruppen in technische Berufe verbessert werden können. Gerade für die Weiterbildung, die berufsbegleitend und daher in zeitlich begrenztem Rahmen organisiert werden muss, besitzen digitale Lernformate ein großes Potenzial, das es noch weiter auszuschöpfen gilt.

2.3 Gestaltungsbedarfe für zukunftsfähige Bildungskonzepte zur Aus- und Weiterbildung im Ingenieurbereich

Vor dem Hintergrund der beschriebenen aktuellen Herausforderungen im Bildungssystem sowie der dynamischen technologischen, ökologi-

schen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen stellt sich die Frage: Wie sollte das deutsche Bildungssystem gestaltet werden, um eine gute Grundlage für einen zukunftsfähigen Wirtschafts- und Technologiestandort zu schaffen?

Im Zuge beschleunigter technologischer Entwicklungen wird die Frage, welche Kompetenzen es in der Zukunft braucht, immer wieder neu gestellt werden müssen. Die Anpassung an veränderte Bedingungen wird daher nicht nur eine momentane Herausforderung und eine individuelle Aufgabe im Sinne des lebenslangen Lernens sein, sondern es steht zu erwarten, dass dies zu einer Daueraufgabe für die Arbeitswelt sowie für das Bildungssystem werden wird. Ein zukunftsfähiges Bildungssystem muss die Vermittlung von Zukunftskompetenzen zu einer zentralen Aufgabe machen.

Die zunehmende Bedeutung einer breiten Kompetenzentwicklung im Sinne von Future Skills (vgl. Abschnitt 2.1) für alle Bereiche des Lebens und insbesondere für das Lernen und Arbeiten macht es notwendig, auch Ansätze der technischen Bildung sowie Aus- und Weiterbildung im Ingenieurbereich neu auszurichten (Vieira 2024):

- Bildungswege müssen flexibilisiert und durchlässiger gestaltet werden, sodass ein Aufstieg durch Bildung einfacher möglich wird.
- Mit Blick auf Lerninhalte müssen Theorie und Praxis in Lernprozessen stärker integriert werden, sodass für Lernende ein Alltagsbezug erkennbar wird.
- Lehrpersonal muss dafür ausgebildet werden, bei Lernenden transformative Kompetenzen zu stärken. Damit geht auch ein verändertes Rollenverständnis einher und Aufgaben in Richtung von Coaching, Mentoring und Beratung treten in den Vordergrund.
- Auf Ebene der Lernenden muss individualisiertes und selbstorganisiertes, aber auch anwendungsorientiertes und kollaboratives Lernen gestärkt werden. Für erfolgreiches lebenslanges Lernen muss Lust auf Lernen, Neugier und ein ausprobierendes, forschendes Lernen, in dem auch Fehler erlaubt sind, schon in Kita und Schule gefördert werden

und durchgängig ein Leitmotiv für die Gestaltung pädagogischer Angebote sein.

Diese Auflistung zeigt, dass das „Was“ des Lernens (also die Fragen nach den konkreten Lerninhalten und Kompetenzen, die vermittelt werden sollen), eng mit dem „Wie“ des Lernens, also der Fragen nach didaktischen Konzepten und Lehrmethoden und nach technischen Tools, verknüpft gedacht werden muss.

Um die großen Herausforderungen zur Transformation des Bildungssystems zu bewältigen, sollte auch das Potenzial von digitaler Bildung und KI in der Bildung ausgeschöpft und weiterentwickelt werden. Durch technologiebasiertes Lernen können, wenn sinnvoll eingesetzt, der Zugang zu Bildung vereinfacht und Bildungsprozesse individuell unterstützt werden (Chiu, Li 2023).

Das Potenzial technologiebasierten Lernens lässt sich durch folgende Punkte veranschaulichen:

- Lerninhalte können unkompliziert bereitgestellt und geteilt werden, z. B. in Form von Massive Open Online Courses (MOOCs) und Plattformen mit Open Educational Resources (OER)
- Lernplattformen ermöglichen kollaboratives Arbeiten unabhängig von Ort und Zeit, z. B. durch integrierte Foren für interpersonellen Austausch und asynchrone Lernangebote.
- Durch interaktive, multimediale Lernangebote wie VR/AR-Anwendungen oder Gamification-Elemente wird eine innovative didaktische Vermittlung von Lerninhalten ermöglicht, die Lernende motivieren und Anwendungsbezug herstellen kann.
- Durch personalisierte, KI-gestützte Lernpfade wie intelligente tutorielle Systeme, können auf Basis des aktuellen Kenntnisstands eines Lernenden weitere Lernschritte geplant und komplexe Fähigkeiten gezielt entwickelt und individuell gefördert werden.

Dabei ist allerdings kritisch zu hinterfragen und zu erforschen, an welchen Punkten und unter welchen Umständen digitale Tools das Lernen gut unterstützen können und wo an anderer

Stelle persönlicher Kontakt und Austausch im Lernprozess unverzichtbar sind.

Unter Nutzung von digitalen Tools und KI in der Bildung verändern sich nicht nur Interaktionsmodelle zwischen Lernenden und Lehrenden, sondern die Technik steigt als Interaktionspartner in den Bildungsprozess ein. Dabei verändert sich auch die Rolle der Lehrenden sowie die gesamte Organisation von Bildung, sodass auch die strukturelle Ebene des Bildungssystems betroffen ist und neu gedacht werden muss.

Didaktik, Technik und die Bildungsorganisationen (das heißt konkret z. B. Kitas, Schulen oder Hochschulen und ihr jeweiliger bildungspolitischer Rahmen) stehen in einem Wechselverhältnis (Bild 8) und werden sich im Zuge der dargestellten Transformationen in der Bildung neu ausrichten müssen.

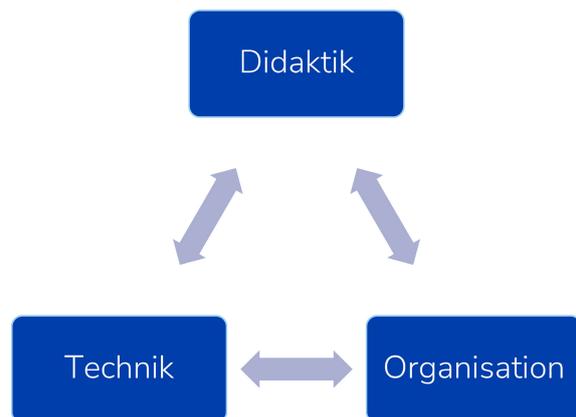


Bild 8. Innovation in der Bildung als Wechselverhältnis, Quelle: Eigene Darstellung

Im Sinne des lebenslangen Lernens sollten diese Aspekte nicht nur an klassischen Lernorten Berücksichtigung finden. Auch Arbeitsumgebungen müssen als Orte des Lernens verstanden und gestaltet werden, sodass berufliche Praxis und formale (Weiter-)Bildung integriert werden können (vgl. Ehlers 2020).

Die Frage nach Bildung von und Qualifikationsanforderungen an (angehende) Ingenieurinnen und Ingenieure stellt sich insbesondere angesichts des bereits herrschenden und sich verschärfenden Fachkräftemangels. Um diesen im Ingenieurbereich nachhaltig zu lindern, ist es erforderlich, Frauen, Menschen mit Migrationshintergrund sowie Personen aus bildungsbenachteiligten Bevölkerungsgruppen, verstärkt in ent-

sprechende Berufe zu integrieren (z. B. Anger et al. 2023). Chancengerechtigkeit und Diversität werden somit zu wichtigen Fragestellungen. Das Bildungssystem, das heißt, sowohl der organisationale Rahmen also auch didaktische Konzepte und technologische Hilfsmittel, die das Lernen unterstützen, müssen auf die Bedürfnisse sehr unterschiedlicher Zielgruppen anpassbar sein, sodass unterschiedliche Lernende individuell gefördert werden können. Dies ist eine Grundlage, um Schul- und Studienabbrüche zu verhindern und Durchlässigkeit, Flexibilität und Inklusivität im Bildungssystem zu ermöglichen.

Für ein zukunftsfähiges Bildungssystem sollten die Rahmenbedingungen des Lernens in allen Lebensphasen deutlich verbessert werden, um bestehende sowie bekannte Probleme (z. B. frühe Selektion, fehlendes pädagogisches Personal, fehlende Kompetenzen und Ausstattung zur Umsetzung pädagogisch sinnvoller digitaler Bildung, föderale Strukturen, Integration von Migrantinnen und Migranten) anzugehen. Gleichzeitig geht es darum, neue Wege einzu-

schlagen, die ein besseres Ineinandergreifen der Bildungsbereiche und mehr Chancengerechtigkeit im Bildungssystem hervorbringen. In einem zukunftsfähigen Bildungs- und Arbeitssystem ist Lernen mit einer größeren Selbstverständlichkeit und mit mehr Begeisterung verbunden.

Analog zu den in Abschnitt 2.1 dargestellten Themenfeldern für die Arbeitswelt der Zukunft ergeben sich zusammenfassend vier Themenfelder (Bild 9) für die Bildung bzw. Qualifikation der Zukunft.

Diese Themenfelder stehen in enger Wechselwirkung. In den folgenden Abschnitten werden jeweils die einzelnen Bildungsbereiche in den Blick genommen. Dabei werden jeweils Hemmnisse bzw. Herausforderungen sowie Ansatzpunkte dargestellt. So soll deutlich werden, was jeweils auf Ebene der einzelnen Bildungsbereiche getan werden sollte, um dem Bedarf der Arbeitswelt der Zukunft an gut ausgebildeten Ingenieurinnen und Ingenieuren begegnen zu können.

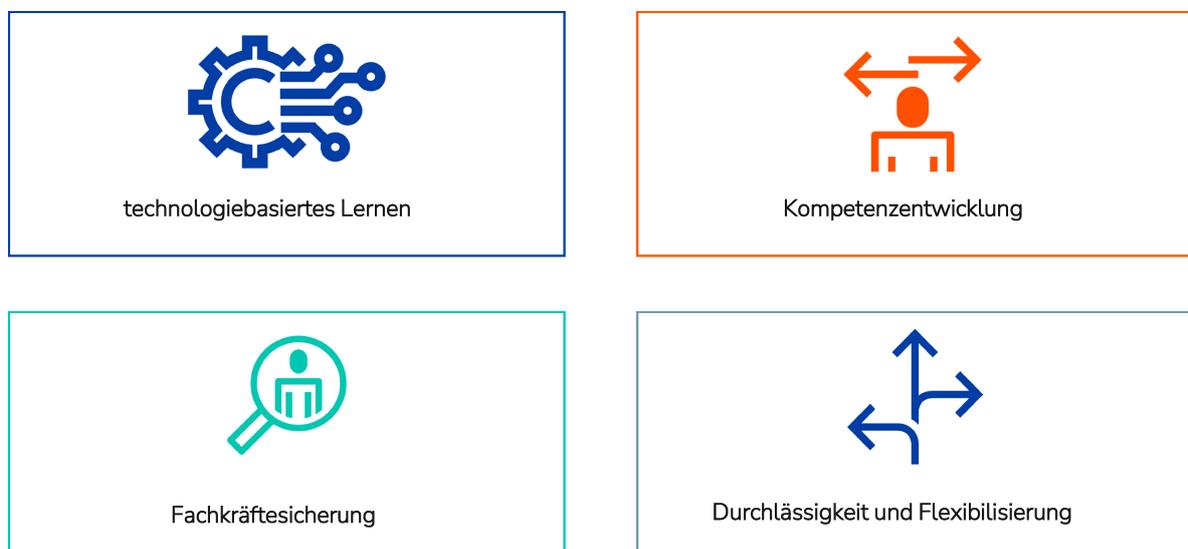


Bild 9. Prägende Themenfelder für die Bildungswelt der Zukunft, Quelle: Eigene Darstellung

3 Frühkindliche und schulische Bildung

3.1 Zukunftsfähiges Bild für MINT-Bildung

Die Welt, in der Kinder heute aufwachsen, ist geprägt von technologischem Wandel und zunehmend komplexen gesellschaftlichen Herausforderungen. Um sie bestmöglich auf die Zukunft vorzubereiten, muss frühkindliche und schulische Bildung über die reine Wissensvermittlung hinausgehen. Neben fachlichen Grundlagen sind Kompetenzen gefragt, die den Umgang mit neuen Technologien erleichtern, kreatives und kritisches Denken fördern und praxisnahe Lösungsansätze ermöglichen. Gleichzeitig muss Bildung Chancengleichheit gewährleisten und alle Lernenden – unabhängig von Geschlecht, Herkunft oder sozialen Voraussetzungen – erreichen.

Besonders die MINT-Fächer spielen hierbei eine zentrale Rolle. Sie sollten nicht nur essenzielles Wissen für eine technologiegetriebene Welt vermitteln, sondern auch den Aufbau von Future Skills (vgl. Abschnitt 2.1) unterstützen, die für den Umgang mit komplexen Problemstellungen unerlässlich sind. Damit Kinder und Jugendliche ihr Potenzial entfalten können, braucht es mehr als klassische Lehrpläne: Interesse und Motivation müssen früh geweckt werden, indem MINT-Inhalte alltagsnah, fächerübergreifend und mit modernen digitalen Werkzeugen vermittelt werden.



Ein zukunftsfähiges Bildungssystem sollte daher sicherstellen, dass Lernen in Kita und Schule nicht nur den bestehenden Fachkräftemangel im Ingenieurbereich adressiert, sondern Kinder und Jugendliche gezielt auf die Anforderungen aktueller Transformationsprozesse wie die Digitalisierung vorbereitet. Dies erfordert u. a. eine

stärkere Integration von MINT-Fächern wie Technik und Informatik in die Bildungs- und Lehrpläne und den sinnvollen Einsatz moderner Technologien. Außerdem müssen didaktische Konzepte stärker auf Anwendungsorientierung und Selbstorganisation ausgerichtet werden, sodass Motivation und Selbstwirksamkeitserfahrungen gesteigert werden können, Kompetenzentwicklung im Bereich von Future Skills besser unterstützt und eine frühzeitige Berufsorientierung ermöglicht wird. Dazu braucht es zum einen gut qualifiziertes pädagogisches Personal. Zum anderen sind dafür entsprechend ausgestattete Werkräume und eine digitale Infrastruktur, die eine zeitgemäße Lehr-/Lernumgebung für alle Lernenden bieten, erforderlich. Durch eine gezielte Verknüpfung dieser Elemente können Lernende mit den Fähigkeiten ausgestattet werden, die sie benötigen, um sich in einer zunehmend technologiegetriebenen Arbeitswelt zu behaupten und aktiv an der Gestaltung der Zukunft mitzuwirken.

Interesse und Motivation für MINT

Angesichts des zunehmenden Fachkräftemangels in MINT-Berufen ist es essenziell, Kinder und Jugendliche frühzeitig für diese Bereiche zu begeistern. Spielerische, forschend-entdeckende Ansätze in der Kita bzw. ein praxisnaher MINT-Unterricht in der Schule macht Fachinhalte greifbar und schafft dabei einen klaren Bezug zu Alltagsanwendungen und verdeutlicht, wie entsprechende Kompetenzen zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen beitragen können (Sevian et al. 2018). Dies fördert nicht nur ein tieferes Verständnis, sondern inspiriert Lernende dazu, sich intensiver mit naturwissenschaftlichen und technischen Fragestellungen auseinanderzusetzen (MINTvernetzt, 2022). Neugier und intrinsische Motivation entfalten sich besonders in interaktiven und spielerischen Lernumgebungen (acatech, Joachim Herz Stiftung 2023). Digital Game-Based Learning (DGBL) verbindet didaktische Konzepte mit spielerischen Mechaniken, um MINT-Themen auf eine immersive Weise zu vermitteln. Durch exploratives Ausprobieren und adaptive Schwierigkeitsgrade werden Lernende intuitiv an komplexe, interdisziplinäre Fragestellungen herangeführt, wodurch sich nicht nur das Ver-

ständnis vertieft, sondern auch das Interesse an MINT gefördert wird (Wang et al. 2022).

Kompetenzentwicklung

Damit Kinder und Jugendliche nicht nur Interesse an MINT-Themen entwickeln, sondern auch langfristig darauf aufbauende Fähigkeiten erwerben, steht die Kompetenzentwicklung im Zentrum eines zukunftsfähigen Bildungssystems. Fachwissen wird gezielt mit Future Skills verknüpft, die den Umgang mit komplexen Problemstellungen erleichtern und eine aktive Teilhabe an der digitalen Welt ermöglichen. Technisches Know-how geht mit analytischem und kritischem Denken, interdisziplinärer Zusammenarbeit und kreativen Lösungsansätzen einher, um Lernende bestmöglich auf die Anforderungen einer technologiegetriebenen Zukunft vorzubereiten (Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V., McKinsey & Company 2021). Projekt- und problemorientiertes Lernen ermöglicht es Lernenden, reale Fragestellungen eigenständig zu analysieren, Hypothesen zu entwickeln und praxisnahe Lösungswege zu erproben (Europäische Kommission 2025).

Parallel dazu wird die Entwicklung digitaler Kompetenzen immer wichtiger. Lernende müssen den sicheren Umgang mit digitalen Werkzeugen, KI und neuen Lerntechnologien erlernen sowie kritische Medienkompetenz (critical technological thinking) erlangen. Adaptive Lernformate, spielerische Ansätze und interaktive digitale Werkzeuge fördern individualisierte Lernprozesse, die selbstgesteuertes Denken, Problemlösung und Teamarbeit stärken. So erwerben Kinder und Jugendliche nicht nur eine solide fachliche Basis, sondern auch die notwendigen digitalen Kompetenzen, um flexibel auf technologische Entwicklungen zu reagieren und kreativ mit den Herausforderungen einer zunehmend digitalisierten Welt umzugehen.

Berufsorientierung

Um Lernende nicht nur für MINT zu begeistern, sondern ihnen auch Perspektiven aufzuzeigen, wie sie das Gelernte in ihrer beruflichen Zukunft nutzen können, müssen Bildungseinrichtungen klare Verbindungen zu möglichen praktischen Handlungs- und Berufsfeldern schaffen. Ziel ist es, Kindern und Jugendlichen frühzeitig aufzu-

zeigen, wie sie ihre naturwissenschaftlichen und technischen Fähigkeiten in der Arbeitswelt einsetzen können. Berufsorientierung sollte fester Bestandteil des schulischen Unterrichts sein, kann aber spielerisch auch schon in der Kita adressiert werden (z. B. Berufe der Eltern nachspielen), um frühzeitig Einblicke in naturwissenschaftliche und technische Berufsfelder zu ermöglichen (Nationales MINT Forum 2021). Besonders in diesen Bereichen entwickeln sich ständig neue Berufsfelder, weshalb es wichtig ist, dass Kinder und Jugendliche verschiedene Optionen erkunden können.

Neben der Adressierung von Berufsfeldern in Kita und Schule sind praxisnahe Erfahrungen durch Kooperationen mit Unternehmen, Hochschulen und außerschulischen Lernorten essenziell. Durch die enge Verzahnung von institutionalisiertem Lernen und realen Berufsfeldern erhalten Kinder und Jugendliche frühzeitig Orientierung und entwickeln ein realistisches Verständnis für mögliche Karrierewege (acatech, Joachim Herz Stiftung 2024). Auch pädagogisches Fachpersonal sollte Einblicke in betriebliche Abläufe z. B. über Betriebspraktika oder -erkundungen erhalten, um Lernende gezielt auf den Übergang in die Arbeitswelt vorzubereiten.



Inklusion und Diversität

Damit alle Kinder und Jugendlichen die gleichen Chancen haben, ihre Potenziale zu entfalten, müssen Kitas und Schulen Vielfalt und individuelle Förderung in den Mittelpunkt stellen. Dabei dürfen in den MINT-Fächern insbesondere Mädchen sowie Kinder mit Migrationshintergrund nicht aus dem Blick geraten. Eine offene und inklusive Lernumgebung, die auf Chancengleichheit, Barrierefreiheit und kulturelle Vielfalt setzt, schafft die Grundlage für eine gerechtere Teilhabe an Bildungs- und Berufswegen. Ein zukunftsgerichtetes Bil-

dungssystem berücksichtigt unterschiedliche Lernvoraussetzungen und reduziert Zugangshürden durch geschlechtersensible Didaktik, gezielte Förderangebote und diversitätsorientierte Lehrkonzepte. Dabei spielen repräsentative Vorbilder eine zentrale Rolle: Der Kontakt mit erfolgreichen Fachkräften aus verschiedenen Berufsfeldern kann bestehende Stereotype aufbrechen und Lernende ermutigen, sich für naturwissenschaftliche und technische Berufsfelder zu interessieren. Durch direkte Einblicke in reale Arbeitswelten, Mentoring-Programme und außerschulische Lernorte wird nicht nur Interesse geweckt, sondern auch langfristige Perspektiven für alle Lernenden eröffnet.

Lernen mit digitalen Tools und KI

Die Bildung der Zukunft sollte das Potenzial moderner Technologien und innovativer Lehrmethoden nutzen. Digitale Werkzeuge sind nicht nur für die Kompetenzentwicklung wichtig, sondern ermöglichen auch interaktive, praxisnahe und individuell anpassbare Lernprozesse, die herkömmliche Unterrichtsformen ergänzen und modernisieren. KI-gestützte adaptive Systeme können Lernende personalisiert unterstützen, indem sie individuelle Stärken und Schwächen analysieren und gezielte Förderangebote ermöglichen. Besonders Technologien wie Virtual Reality (VR), KI und interaktive Simulationen eröffnen neue Wege, um abstrakte Konzepte greifbar zu machen. Beispielsweise lassen sich zusätzlich zu realen Experimenten im Unterricht komplexe naturwissenschaftliche Experimente in virtuellen Laboren sicher und ressourcenschonend durchführen, die sonst nicht möglich wären. Ebenso können KI-unterstützte Programmierumgebungen dabei helfen, Programmierprozesse und die Funktionsweise von Software besser zu verstehen.

Insgesamt sollten innovative Lehrmethoden Kinder und Jugendliche aktiv in den Lernprozess einbinden und eine Lernkultur schaffen, die MINT-Inhalte praxisnah und erlebbar macht.

Um dies effektiv umzusetzen, sind gut ausgebildete Pädagoginnen und Pädagogen unerlässlich. Dies erfordert eine gezielte Anpassung der Ausbildung von pädagogischem Personal, die stärker auf die Herausforderungen moderner

technischer Bildung ausgerichtet sein muss. Gleichzeitig sind Strukturen erforderlich, die eine kontinuierliche Weiterbildung ermöglichen, um pädagogisches Personal auf dem aktuellen Stand technologischer Entwicklungen und didaktisch innovativer Ansätze zu halten. Im Zuge der beschleunigten digitalen Transformation ist es in pädagogischen Berufen wichtig, das im Studium erlangte Wissen im Verlauf des Arbeitslebens weiterzuentwickeln. Nur so können sie innovative Lehrmethoden und moderne Technologien effektiv einsetzen und vermitteln, um in Kita und Schule auf eine digitalisierte Welt vorzubereiten.

3.2 Herausforderungen und Ansatzpunkte für die Erreichung dieses Zukunftsbilds

Die Verwirklichung einer zukunftsorientierten Bildung in Kita und Schule ist mit verschiedenen Herausforderungen verbunden. Strukturelle, didaktische und gesellschaftliche Faktoren erschweren die Umsetzung der zuvor skizzierten Ansätze. Um diese Hemmnisse zu überwinden, bedarf es gezielter Maßnahmen und innovativer Lösungsansätze, die eine nachhaltige Entwicklung des Bildungssystems ermöglichen. Im Folgenden werden zentrale Herausforderungen und mögliche Wege zur Erreichung dieses Zukunftsbildes beleuchtet.

3.2.1 Herausforderung: Bildungssystem und systemische Barrieren

Das deutsche Bildungssystem steht vor vielfältigen Herausforderungen, die die flächendeckende Umsetzung einer zukunftsorientierten Bildung insgesamt sowie der MINT-Bildung im Speziellen erschweren. Ein zentrales Problem ist das Fehlen einer geteilten Vision gelingender (MINT-)Bildung sowie eine strukturierte Verankerung informatorischer und technischer Aspekte in den schulischen Lehrplänen (Gesellschaft für Informatik e.V. 2023) sowie im Bereich der frühkindlichen digitalen und technischen Bildung (Stiftung Kinder forschen 2025).

In der Schule gibt es für klassische MINT-Fächer wie Physik oder Mathematik verbindliche Vorgaben. Während diese Fächer einen zentralen Bestandteil von MINT bilden, fehlt es oft an einer ebenso strukturierten Verankerung der in-

formatischen und technischen Aspekte. Das Fehlen einheitlicher Vorgaben führt zu erheblichen Unterschieden zwischen den Bundesländern und erschwert die systematische Integration von MINT-Inhalten in Bildungs- und Lehrpläne.

Ähnliches lässt sich in Kitas für die MINT- sowie digitale bzw. Medienbildung beobachten: Schwerpunktsetzung auf andere, vermeintlich wichtigere Bildungsbereiche wie beispielsweise Sprache (z. B. im Rahmen des Bundesprogramms „Sprach-Kitas“) und eine bewahrpädagogische Haltung gegenüber neuen Medien erschweren Veränderungen (Hoffmann 2022). Ein weiteres Problem im Bereich der frühkindlichen Bildung ist dabei das Ausblenden der Bedeutung der frühen Jahre für eine erfolgreiche Entwicklung und Bildung von Kindern und damit verbunden ein Mangel an politischer Anstrengung und Finanzierung zur Verbesserung der Rahmenbedingungen im Elementarbereich.

Parallel dazu fehlt es an ausreichend qualifiziertem pädagogischen Personal, um informatische und technische Inhalte fachlich fundiert und methodisch ansprechend zu vermitteln. Viele Schulen stehen vor der Herausforderung, mit begrenztem Personal und fehlenden finanziellen Ressourcen moderne Technologien und Lehrmethoden in den Unterricht zu integrieren. Innovative Ansätze wie der VDIni-Club, Maker-spaces oder Schülerlabore zeigen zwar, wie technisches Lernen gestaltet werden kann, erreichen jedoch häufig nur eine kleine Zielgruppe und bleiben punktuelle Lösungen, die vor allem im Nachmittagsbereich und damit außerhalb der Einrichtungen mit dem Hauptbildungsauftrag greifen.

Auch das föderale Bildungssystem trägt zu den bestehenden Problemen bei. Es ermöglicht zwar regionale Anpassungen, schafft jedoch gleichzeitig große Unterschiede in der MINT-Bildung. Dies wird besonders deutlich am sehr unterschiedlichen und oft unzureichenden Umsetzungsstand interdisziplinärer Verknüpfungen zwischen Informatik, Technik und anderen naturwissenschaftlichen Fächern, was eine umfassende und praxisorientierte Bildung erschwert.

Bildungserfolg wird zunächst im Elternhaus, dann in der Kita gelegt. Was hier misslingt oder versäumt wird, zieht sich weiter in die Schule,

sodass mangelhafte frühkindliche Bildung das Risiko birgt, schon in der Grundschule zu scheitern. Schließlich sind an den Schulabschluss die Optionen für eine Ausbildung bzw. ein Studium geknüpft. So ist bisher das (Fach-)Abitur meist die Voraussetzung zur Aufnahme eines ingenieurwissenschaftlichen Studiums. Die damit verbundene Selektion erschwert die Schließung der Fachkräftelücke, da so bereits früh Potenziale von Schülerinnen und Schülern, die gegebenenfalls Interesse am und Kompetenzen im MINT-Bereich haben, aber z. B. in anderen Hauptfächern zurückbleiben, ungenutzt bleiben.

Ansatzpunkt: Informatik und Technik systematisch und bundesweit in den Bildungs- und Lehrplänen verankern

Ein entscheidender Schritt wäre die Etablierung von „Technik“ und „Informatik“ bzw. „digitale Medien“ als eigene oder integrierte Bildungsbe-reiche in der Kita sowie als Pflichtfächer in allen Schulformen. Dies würde alle Aspekte der MINT-Bildung systematisch in den Bildungs- und Lehrplänen verankern und eine breitere Zielgruppe erreichen. Die Einführung einheitlicher und verbindlicher Bildungsstandards ist hierbei unerlässlich, um eine konsistente Qualität und Vergleichbarkeit von Bildungsmaßnahmen über alle Bundesländer hinweg sicherzustellen. Standards könnten zudem die interdisziplinäre Verknüpfung innerhalb der MINT-Fächer stärken und eine umfassende, praxisnahe Ausbildung ermöglichen. Die Stiftung Kinder forschen hat zur Bundestagswahl 2025 fünf Forderungen zur Stärkung der frühen MINT-Bildung formuliert, darunter die Erhöhung der Bildungsgerechtigkeit durch entsprechende staatliche Unterstützung (ähnlich zum StartChancen Programm für Schulen), die Schließung der Personallücke im Elementarbereich und die Verbindlichkeit und Standardisierung der föderalen Bildungspläne (Stiftung Kinder forschen 2025).

Good Practice „Stiftung Kinder forschen“

Die Stiftung Kinder forschen (ehemals Stiftung Haus der kleinen Forscher) engagiert sich seit 2006 bundesweit für frühe MINT-Bildung bzw. Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und bildet Erzieherinnen und Erzieher sowie Grundschullehrkräfte fort, damit sie Kinder qualifiziert beim Entdecken und

Forschen begleiten können. Darüber hinaus setzt sie sich für eine frühe digitale Medienbildung ein und fordert u. a. einen DigitalPakt Kita. Übergeordnetes Ziel des gemeinnützigen Vereins ist die Förderung von Kompetenzen, die Kinder von Beginn an für die Zukunft und damit einhergehende Herausforderungen stark machen.

Im Schulbereich hat die Kultusministerkonferenz (KMK) 2024 eine grundlegende Neufassung zur „Stärkung der mathematisch-informatisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung“ vorgestellt, die den veränderten Rahmenbedingungen für eine zukunftsorientierte MINT-Bildung Rechnung tragen soll. Der VDI hat sich mit einer Stellungnahme eingebracht. Die Forderungen könnten durch eine enge Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten, beispielsweise aus dem VDI und anderen Organisationen, realisiert werden.

Good Practice „Informatik als Pflichtfach“

In Mecklenburg-Vorpommern und dem Saarland werden fünf bis sechs Pflichtstunden Informatik pro Woche über alle Schulformen der Sekundarstufe I hinweg unterrichtet. Mit seiner Aufstellung der Stundentafeln der Gymnasien aller Bundesländer schafft der Informatik-Monitor Transparenz darüber, wie sich die Stundentafeln der Bundesländer unterscheiden und wie einzelne Bundesländer den Informatikunterricht integriert haben.

<https://informatik-monitor.de/2024-25>

Ansatzpunkt: Pädagogisches Personal gezielt gewinnen

Um eine nachhaltige MINT-Bildung sicherzustellen, muss die Gewinnung neuen pädagogischen Personals in den Fokus rücken. Neben klassischen Ausbildungswegen gilt es, neue Zielgruppen für den Bildungsbereich zu erschließen. Ein Ansatz ist die gezielte Öffnung pädagogischer Berufe für Quereinsteigerinnen und Quereinsteiger (z. B. aus MINT-Berufen), die durch geeignete Qualifizierungswege für die

Arbeit in Kitas und Schulen vorbereitet werden können. Dies würde nicht nur den Personalmangel mindern, sondern auch praxisnahe Perspektiven aus Wirtschaft und Industrie in die Lernräume bringen. Um solche Übergänge attraktiv zu gestalten, sind flexible Zugänge, transparente Qualifizierungsmodelle und begleitende Maßnahmen zur beruflichen Integration entscheidend.

Good Practice Gemeinschaftsprojekt „Werde Informatiklehrerin“

Die Webseite www.informatiklehrerin.de bietet eine Übersicht über verschiedene Einstiegswege in den Beruf sowie Beratungsangebote zur Weiterbildung für bereits tätige Lehrkräfte. Sie dient als Orientierungshilfe zu bundeslandspezifischen Vorgaben und erforderlichen Qualifikationen. „Werde Informatiklehrerin“ ist ein Gemeinschaftsprojekt der Gesellschaft für Informatik e.V., der Didaktik für Informatik der Universität Oldenburg und der #SheTransformsIT-Initiative. Gefördert wird das Projekt von der Carl-Zeiss-Stiftung.

www.informatiklehrerin.de

Ansatzpunkt: Ganztagschulen ausbauen

Ganztagschulen bieten ideale Rahmenbedingungen, um praxisorientierte MINT-Bildung langfristig zu etablieren. Durch die Integration naturwissenschaftlicher oder technischer Projekte in den erweiterten Schulalltag können Schülerinnen und Schüler intensiv und nachhaltig in MINT-Themen eintauchen. Ganztagschulen eröffnen nicht nur mehr Zeit für praktische Anwendungen, sondern auch die Möglichkeit, interdisziplinäre Ansätze umzusetzen, bei denen Technik oder Informatik mit anderen Fächern wie Kunst oder Wirtschaft kombiniert werden. Zur Unterstützung bei der Umsetzung solcher Angebote können Initiativen wie ehrenamtlich geleitete AGs oder Workshops – etwa durch den VDI – beitragen und gleichzeitig das pädagogische Personal entlasten.



Mit Blick auf die MINT-Bildung profitieren vom Ganztags alle Kinder, wenn dieser der Ort ist, an dem Kinder echte Probleme lösen oder Ziele erreichen wollen, für deren Bearbeitung sie MINT-Kompetenzen benötigen und die zu erarbeiten ihnen der Fachunterricht ermöglicht. Darüber hinaus wird den Ganztagschulen auch Bedeutung für die Unterstützung von Kindern und Jugendlichen aus sozial benachteiligten Familien beigemessen, auf deren Unterstützung auch das StartChancen Programm des BMBF abzielt. Bis 2034 sollen an rund 4.000 Schulen bundesweit Basiskompetenzen wie das Lesen, Schreiben und Rechnen, aber auch Zukunftskompetenzen durch Bund-Länder-Initiativen mit einem Fördervolumen von insgesamt rund 20 Mrd. Euro unterstützt werden.

Ansatzpunkt: Zusammenarbeit zwischen non-formalen und formalen Lernorten intensivieren

Wie Musikunterricht und Sportvereine sollen Kinder und Jugendliche auch in Bezug auf MINT-Themen Lernorte außerhalb von Kita und Schule aufsuchen können, an denen sie ihren Interessen nachgehen bzw. an denen Interesse geweckt werden kann. Dafür sollte die Zusammenarbeit gestärkt werden zwischen Kitas bzw. Schulen und außerschulischen Lernorten wie Bibliotheken und Vereinen, Unternehmen, Branchen- und Berufsverbänden sowie Hochschulen als relevante Bildungsorte für eine spätere akademische Ausbildung, die mit spezifischen Angeboten wie Kinder- und Schülerunis bereits Kinder und Jugendliche zu interessieren versuchen.

Good Practice „TechnoTheken“

TechnoTheken in öffentlichen Bibliotheken eröffnen Kindern und Jugendlichen einen niedrigschwelligen Zugang zu Technik und Naturwissenschaften. Durch eine Kombination aus Fachliteratur, Experimentiermaterialien und Mitmachangeboten werden technisches Verständnis gefördert und Neugier geweckt – unabhängig von schulischen Voraussetzungen oder sozialem Hintergrund. Bibliotheken bieten hierfür ideale Voraussetzungen als offene, inspirierende Lernorte. In TechnoTheken können junge Menschen selbstständig experimentieren, programmieren, bauen oder an Technik-Workshops teilnehmen – vom Roboterbau über Coding bis hin zu naturwissenschaftlichen Projekttagen. Der VDI ist beispielsweise am BMBF-geförderten MINT-Cluster openMINTed beteiligt, bei dem u. a. 15 TechnoTheken in Mecklenburg-Vorpommern aufgebaut werden.

<https://openminted.de/technotheken-in-mv/>

Good Practice „Junior Uni Wuppertal“

Die Junior Uni Wuppertal ist eine außerschulische Bildungseinrichtung, die Kindern und Jugendlichen von 4 bis 20 Jahren Kurse in Naturwissenschaften, Technik, Informatik, Kunst, Sprache und Gesellschaft anbietet. In kleinen Gruppen können die Teilnehmenden experimentieren, programmieren, forschen oder kreativ gestalten. Fachkräfte aus Hochschulen und Schulen begleiten die Kurse und vermitteln Inhalte anschaulich und praxisnah. Die Teilnahme ist für die Kinder und Jugendlichen kostenfrei; die Finanzierung erfolgt durch Fördermittel, Spenden sowie Partnerschaften mit Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Die Junior Uni versteht sich als Ergänzung zum formalen Bildungssystem und bietet einen offenen, motivierenden Lernort, der bundesweit als Beispiel für gelungene MINT-Förderung gilt.

<https://www.junioruni-wuppertal.de/>

3.2.2 Herausforderung: Interesse und Berufsorientierung

Eine zentrale Herausforderung liegt darin, dass es nicht ausreichend gelingt, Kinder und Jugendliche für MINT-Berufe zu begeistern. MINT-Themen begeistern im frühen Alter die meisten Kinder noch sehr, werden spätestens in der Schule aber oft sehr abstrakt, theoretisch und wenig alltagsrelevant vermittelt. Das führt dazu, dass Lernende keine intrinsische Motivation entwickeln, sich intensiver mit solchen Fragestellungen zu beschäftigen (Deutsche Telekom Stiftung 2024). Statt technische Inhalte als Chance zu sehen, Probleme zu lösen oder kreative Ideen umzusetzen, bleiben diese im Unterricht oft auf rein theoretische Aspekte beschränkt. Darüber hinaus fehlen Erfolgserlebnisse, die für die Entwicklung von Motivation und Selbstwirksamkeit essenziell sind. Lernende erhalten insbesondere in der Schule selten die Gelegenheit, technische oder naturwissenschaftliche Probleme zu lösen oder ihre eigenen Ideen umzusetzen, wodurch das Potenzial, Begeisterung und Neugier zu wecken, ungenutzt bleibt.

Hinzu kommt der fehlende Bezug zur Lebens- und Arbeitswelt. Viele Kinder und Jugendliche wissen nicht, wie MINT in konkreten Berufen Anwendung findet, und haben keine Vorstellung von den vielfältigen Berufsbildern. Zudem fehlt es an systematischen Ansätzen, um Berufe wie Ingenieurin/Ingenieur, Mechatronikerin/Mechatroniker oder Programmiererin/Programmierer bereits in Kita und Schule vorzustellen. Programme zur Berufsorientierung, die Lernenden aufzeigen, wie MINT-Fähigkeiten in verschiedenen Branchen und bei der Lösung globaler Herausforderungen angewendet werden können, sind häufig unzureichend oder zusammenhangslos.

Zwar gibt es bereits Programme und Projekte, die praxisorientiertes Lernen unterstützen, diese werden jedoch nicht flächendeckend genutzt, da es pädagogischem Personal an Zeit, Kenntnissen und Unterstützung fehlt und die Angebote teilweise nicht niedrigschwellig zugänglich sind. So bleiben externe, non-formale Akteure wie Unternehmen als Bildungspartner oft unterrepräsentiert, obwohl sie wertvolle Einblicke und praxisnahe Lösungen bieten könnten.

Ansatzpunkt: Alltagsnahe Lerninhalte

Die intrinsische Motivation junger Menschen steigt, wenn Lerninhalte an ihre Interessen und alltäglichen Erfahrungen anknüpfen (Deutsche Telekom Stiftung 2024). Praxisnahe Projekte sollten Themen aufgreifen, die sie bereits kennen und nutzen – sei es aus Sport, Musik, Umwelt oder digitalen Technologien. Kinder und Jugendliche könnten beispielsweise erforschen, wie nachhaltige Sneaker entwickelt werden, wie Noise-Cancelling-Kopfhörer funktionieren oder wie sich die Akkulaufzeit eines Smartphones optimieren lässt. Durch solche lebensnahen Fragestellungen wird MINT greifbar und relevant. Solche Projekte fördern eigenständiges Denken, Kreativität und Problemlösungskompetenzen, während sie gleichzeitig reale Herausforderungen aus dem Alltag aufgreifen. Auch in Bezug auf die Berufsorientierung sind alltagsnahe und praxisorientierte Erfahrungen relevant und können vermeintlich abstrakte Berufe, beispielsweise über Videos, anschaulich machen.

Ansatzpunkt: Schüler- und Jugendwettbewerbe

Wettbewerbe bieten eine weitere effektive Möglichkeit, die Motivation und das Interesse zu steigern. Hierbei können praxisnahe Problemstellungen, die z. B. von Unternehmen entwickelt werden, bearbeitet und gelöst werden. Solche Formate fördern nicht nur die fachlichen Fähigkeiten, sondern stärken auch das Selbstbewusstsein der jungen Menschen, indem sie ihre Ergebnisse vor Fachleuten präsentieren können. Die Zusammenarbeit mit Unternehmen und Hochschulen ermöglicht es, die Wettbewerbsaufgaben realitätsnah zu gestalten und die Lernenden auf die Anforderungen der Arbeitswelt vorzubereiten. Eine Herausforderung ist es dabei, Wettbewerbe so zu gestalten, dass breite Zielgruppen angesprochen werden und nicht nur die Kinder und Jugendlichen, die bereits großes Interesse an MINT-Themen haben.

Good Practice „Jugend forscht“

Der bundesweite Nachwuchswettbewerb „Jugend forscht“ fördert seit 1965 junge Talente in den MINT-Fächern. Schülerinnen und Schüler sowie Auszubildende entwickeln eigenständig Forschungsprojekte in Bereichen wie Mathematik, Informatik, Biologie, Chemie,

Physik und Technik. Durch die Präsentation ihrer Ergebnisse vor einer Fachjury stärken die Teilnehmenden nicht nur ihre fachlichen und methodischen Kompetenzen, sondern auch ihr Selbstbewusstsein. Der Wettbewerb wird von Unternehmen, Hochschulen und Forschungsinstitutionen unterstützt, wodurch praxisnahe Aufgabenstellungen und wertvolle Einblicke in die Wissenschafts- und Arbeitswelt ermöglicht werden. Der VDI vergibt jährlich den Preis in der Kategorie „Technik“.

<https://www.jugend-forscht.de/>

Ansatzpunkt: Digital Game-Based Learning (DGBL)

Spielerische Lehr-/Lernansätze fördern sowohl die Motivation als auch den Kompetenzerwerb beim Lernen. Daher finden sich an modernen Lehr-/Lernorten immer mehr didaktische Ansätze des sogenannten Digital Game-based Learning (DGBL). Diese eignen sich besonders für abstrakte und komplexe Lerninhalte, wie sie im MINT-Spektrum vorhanden sind. Auf motivationaler Ebene können DGBL durch Gamification-Elemente (z. B. Belohnungen, Fortschrittsanzeigen) das Engagement der Lernenden und somit den Lerneffekt steigern. Dazu tragen auch die oft kooperativ angelegten Spielelemente bei, die wiederum auf Soft bzw. Future Skills einzahlen, indem sie Teamarbeit und kommunikative Fertigkeiten im Kontext von zu entwickelnden Problemlösungen fördern. Auf Kompetenzebene können DGBL komplexe technische Systeme begreifbar machen, beispielsweise durch Simulationen. Sie ermöglichen es, theoretisches Wissen in einem sicheren, weil virtuellen Rahmen praktisch anzuwenden und mögliche Lösungen für technische Probleme zu erproben. Simulationen sind auch auf motivationaler Ebene besonders wertvoll, da sie es erlauben Fehler zu machen, ohne dass ein realer Schaden entsteht. Nicht zuletzt eine Fehlerkultur im Sinne von Nelson Mandelas Mantra „Ich verliere nie, entweder ich gewinne oder ich lerne“ ist im Ingenieurbereich wichtig. In virtuellen Spielumgebungen, in denen Versuch und Irrtum erprobt werden kann, liegt wiederum Potenzial zur Förderung kritischen Denkens, einem weiteren wichtigen Future Skill.

Ansatzpunkt: Berufsorientierung fördern

Ein zentraler Ansatzpunkt, um das Interesse an MINT-Bildung zu stärken, ist die frühzeitige Verknüpfung mit der Arbeitswelt. Kinder und Jugendliche sollten regelmäßig Gelegenheiten erhalten, naturwissenschaftliche, technische und interdisziplinäre Berufsfelder praxisnah kennenzulernen. Dies kann durch Kooperationen mit Unternehmen, Workshops, Schülerfirmen oder Praktika und Betriebsführungen geschehen. Solche Formate zeigen, wie MINT-Kenntnisse im Berufsalltag angewendet werden, und schaffen realistische Zukunftsaussichten. Niedrigschwellige Strukturen wie fest etablierte Bildungsk Kooperationen, die organisatorische Unterstützung für Kitas und Schulen sowie Unternehmen bieten, können dabei helfen. Ziel sollte es sein, den Zugang zu solchen Programmen für alle Kinder und Jugendlichen unabhängig von ihrer sozialen oder regionalen Herkunft zu erleichtern.

Diese Einblicke müssen nicht nur außerhalb von Kita und Schule stattfinden, sondern können direkt dort integriert werden. Berufsrelevante Inhalte lassen sich mit MINT-Fächern verknüpfen, indem praxisnahe Fragestellungen behandelt und externe Fachkräfte in den Unterricht eingebunden werden. Berufsorientierung kann ab der Schule auch als eigenständiges Fach im Lehrplan verankert werden, sodass Lernende gezielt Zeit haben, sich mit verschiedenen Berufsmöglichkeiten auseinanderzusetzen. Letzteres ist beispielsweise in Schleswig-Holstein umgesetzt.

Good Practice „Wissensfabrik - Unternehmen für Deutschland e.V.“

Die Bildungsinitiative „Wissensfabrik – Unternehmen für Deutschland e.V.“ engagiert sich bundesweit für MINT-Bildung und Unternehmertum bei Kindern und Jugendlichen. In Kooperation mit Unternehmen und Bildungseinrichtungen fördert sie praxisnahe Projekte in Kitas, Schulen und Hochschulen. Programme wie „KiTec – Kinder entdecken Technik“ oder „IT2School“ bringen technische und digitale Themen spielerisch und alltagsnah in den Unterricht. Ziel ist es, Neugier zu wecken, Kompetenzen zu stärken und junge Menschen für Technik, IT und Wirtschaft und entsprechende Berufe zu begeistern. Durch

die enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft erhalten die Teilnehmenden frühzeitig Einblicke in berufliche Perspektiven und zukunftsrelevante Themenfelder.

<https://www.wissensfabrik.de/>

3.2.3 Herausforderung: Ungleichheiten und Barrieren für unterrepräsentierte Gruppen

Vielfalt und Chancengleichheit sind essenziell für eine zukunftsfähige MINT-Bildung. Dennoch bestehen weiterhin strukturelle Hürden, die bestimmte Gruppen, insbesondere Mädchen und junge Menschen mit Migrationshintergrund, benachteiligen und den Zugang zu technischen und naturwissenschaftlichen Berufen erschweren.

Ein wesentliches Problem ist die fehlende Repräsentation von Frauen in technischen Berufen, was dazu führt, dass viele Mädchen sich nicht mit MINT-Fächern identifizieren oder weniger Selbstbewusstsein in diesen Bereichen entwickeln. Studien zeigen, dass Mädchen trotz gleicher oder sogar besserer schulischer Leistungen in Mathematik und Naturwissenschaften ihr eigenes Können in diesen Fächern oft unterschätzen (OECD, 2015). Diese Unsicherheit wird durch stereotype Rollenbilder und eine fehlende Sichtbarkeit weiblicher Vorbilder verstärkt.

Auch der familiäre und soziale Hintergrund spielt eine große Rolle bei der Berufswahl. Kinder und Jugendliche aus Familien ohne akademische oder technische Berufe haben oft weniger Zugang zu MINT-spezifischen Netzwerken. Besonders Kinder mit Migrationshintergrund stoßen häufig auf sprachliche Barrieren oder finden keine Rollenvorbilder in MINT-Berufen. Dies kann dazu führen, dass sie sich mit diesen Berufsbildern nicht identifizieren.

Ansatzpunkt: Role Models und Mentoring-Programme

Role Models und Mentoring-Programme können unterrepräsentierten Gruppen den Zugang zu technischen und naturwissenschaftlichen Berufen erleichtern und ihr Interesse daran stärken. Role Models, die ähnliche Erfahrungen oder

Hintergründe wie die jeweilige Zielgruppe haben, können eine wichtige Inspirationsquelle sein. Sie zeigen, dass Erfolg im MINT-Bereich nicht von außergewöhnlichen Voraussetzungen abhängt, sondern durch Interesse, Ausdauer und die richtige Förderung erreichbar ist. Damit diese Role Models greifbar bleiben, sollten sie als realistische Orientierungshilfen statt als unerreichbare Ausnahmefälle präsentiert werden. Durch persönliche Gespräche und praxisnahe Einblicke in Berufswege kann der Zugang zu inspirierenden Fachkräften erleichtert und eine stärkere Identifikation ermöglicht werden (Gladstone, Cimpian 2021). Hierfür ist es erforderlich, das Unternehmen eingebunden werden, um Kontakt zu Role Models zu ermöglichen.

Good Practice „NRW-Talentscouting“

Das NRW-Talentscouting unterstützt gezielt talentierte Jugendliche aus nicht akademischen Familien. Über 100 Talentscouts an 27 Hochschulen begleiten Schülerinnen und Schüler individuell auf ihrem Bildungsweg. Das Talentscouting bietet insbesondere eine längerfristige persönliche Beratung statt einmaliger Orientierungshilfen und den geförderten Zugang zu Netzwerken in Hochschulen und Unternehmen. Durch den Abbau sozialer Hürden auf Basis individuelle Förderung ermöglicht das Talentscouting jungen Menschen Bildungschancen unabhängig von ihrer Herkunft auszuschöpfen.

<https://www.nrw-talentzentrum.de/index/>

Ein weiteres Potenzial liegt in Peer-Mentoring-Programmen, in denen ältere Schülerinnen und Schüler oder Studierende jüngeren als Vorbilder und Ansprechpersonen dienen. Solche Programme senken Hemmschwellen und schaffen ein unterstützendes Umfeld, in dem Lernende Fragen stellen, eigene Interessen erkunden und langfristige Perspektiven entwickeln können. So kann es beispielsweise hilfreich sein, wenn im Vorfeld einer Kurswahl den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben wird, den Unterricht verschiedener Fächer aus den höheren Jahrgängen probeweise zu besuchen und die älteren Schülerinnen und Schüler dieser Kurse nach ihren Erfahrungen zu fragen.

Good Practice „Cybermentor“

CyberMentor ist das größte Online-Mentoring-Programm in Deutschland, das Mädchen mit einem Interesse an MINT-Fächern fördert. Das Programm wird von der Universität Regensburg und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) koordiniert. Bis zu 800 Schülerinnen der Jahrgangsstufen 5 bis 13 nehmen pro Jahr teil und werden individuell von einer Mentorin begleitet. Diese dient als Vorbild, motiviert und gibt wertvolle Impulse zur Studien- und Berufsorientierung. Der Austausch findet über eine geschützte Online-Plattform statt, die Funktionen wie E-Mail, Chat und Forum bietet und zusätzlich umfangreiche Informationen zu MINT-Themen, Studiengängen und Berufsperspektiven bereitstellt. Seit dem Start im Jahr 2005 hat sich das Programm als äußerst erfolgreich erwiesen: 71 % der ehemaligen Teilnehmerinnen entscheiden sich nach ihrer Teilnahme für ein Studium oder eine Ausbildung in einem MINT-Fach.

<https://cybermentor.de/>

3.2.4 Herausforderung: Rückläufige Kompetenzen und fehlende Zukunftsorientierung

Aktuelle Studien zeigen, dass die Kompetenzen deutscher Schülerinnen und Schüler in zentralen MINT-Bereichen nicht nur stagnieren, sondern im internationalen Vergleich sogar zurückfallen. Die PISA-Studie 2022 zeigte, dass insbesondere die mathematischen Kompetenzen 15-jähriger Jugendlicher in Deutschland auf einem historischen Tiefstand sind (vgl. Abschnitt 2.2; Lewalter et al. 2023). Auch die Ergebnisse der International Computer and Information Literacy Study (ICILS) zeigen, dass die digitalen Kompetenzen deutscher Schülerinnen und Schüler seit 2013 zurückgegangen sind und deutlich hinter den Erwartungen liegen (Eickelmann et al. 2024).

Gleichzeitig sind viele Unterrichtskonzepte weiterhin stark auf reine Wissensvermittlung ausgerichtet, während die gezielte Entwicklung interdisziplinärer Zukunftskompetenzen nur unzureichend gefördert wird. Der Unterricht bleibt

häufig theoretisch und wenig praxisnah, sodass Schülerinnen und Schüler kaum Gelegenheit erhalten, ihr Wissen in realen oder simulationsbasierten Szenarien anzuwenden bzw. den Nutzen des Lernens zu erkennen. Insbesondere die Fähigkeit, mit komplexen Problemstellungen umzugehen, interdisziplinäre Zusammenhänge zu erkennen und technologische Entwicklungen kritisch zu hinterfragen, wird in der aktuellen MINT-Bildung zu wenig gefördert. Nicht zuletzt fehlende Kompetenzen im MINT-Bereich lassen die Schulabbruchquote, insbesondere unter Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund und an Haupt- und Gesamtschulen steigen.

Ansatzpunkt: Personalisiertes Lernen für individuelle Förderung

Adaptive Lernsysteme (auch bezeichnet als intelligente tutorielle Systeme) ermöglichen es, Lerninhalte angepasst an den individuellen Wissensstand und Lernfortschritt der Lernenden bereitzustellen, individuelle Lernpräferenzen zu berücksichtigen und einen personalisierten Lernprozess zu ermöglichen. Dabei können nach Bedarf themenspezifische Tests zu Lerneinheiten generiert werden, mit denen die Lernenden sich selbst überprüfen können. Dies ermöglicht es, an unterschiedliche Lernstände und Lerngeschwindigkeiten gezielt anzuschließen und alle Lernenden an ihrem jeweiligen individuellen Bedarf orientiert zu fördern, beispielsweise im Fach Mathematik.

Good Practice „Adaptives Intelligentes System (AIS)“

Im Rahmen des DigitalPakt Schule wird seit 2022 länderübergreifend an einem Adaptiven Intelligenten System (AIS) zur individuellen Förderung von Schülerinnen und Schülern während und außerhalb des Unterrichts gearbeitet. Mit der KI-gestützten adaptiven Computerlernumgebung werden individuelle Lernpfade auf Basis von Informationen zum jeweiligen Lernstand der Schülerinnen und Schüler zusammengestellt. Sie erhalten Feedback und können durch angepasste Übungen Wissenslücken selbstständig schließen. Die Lehrkräfte wiederum werden vom System über den Lernfortschritt ihrer Schülerinnen und Schüler informiert und er-

halten durch die technische Unterstützung Zeit, sie gezielter zu unterstützen.

Das System befindet sich derzeit in der Entwicklungs- und Erprobungsphase. Ab dem Frühjahr 2025 soll für die Bundesländer eine Basisversion bereitstehen. Bis 2026 soll es Schulen in allen Bundesländern zur Verfügung gestellt werden.

<https://fwu.de/projekte/ais/>

Ansatzpunkt: Virtuelles und digitales Lernen für mehr Anwendungsorientierung

Der gezielte Einsatz von Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und digitalen Laborsimulationen kann MINT-Konzepte praxisnäher und verständlicher vermitteln. Interaktive Simulationen ermöglichen es Lernenden, abstrakte Inhalte anschaulich zu erforschen – etwa durch die Visualisierung mathematischer Modelle oder die Durchführung physikalischer Experimente in virtuellen Laboren. Solche Technologien schaffen eine immersive Lernumgebung, die nicht nur das Verständnis vertieft, sondern auch die Anwendung wissenschaftlicher Prinzipien im digitalen Raum fördert.

Good Practice „VisualMINT“

VisualMINT versteht sich als Bindeglied zwischen digitalem und analogem Lernen. Mit einer intelligenten Lernplattform und Augmented Reality will das Start-up das schulische Experimentieren im MINT-Bereich auf eine neue Ebene heben: Durch die Kombination von digitalen Visualisierungen und einem Experimentierbaukasten werden physikalische Phänomene veranschaulicht und greifbarer gemacht. Aktuell fokussiert sich das Start-up auf Experimente im Bereich der Elektrotechnik. Mit Baukästen und einer AR-App können Schülerinnen und Schüler experimentieren, frei Schaltungen legen und erhalten in Echtzeit Feedback, wenn Fehler auftreten. Material für weitere MINT-Bereiche soll jährlich hinzukommen.

<https://www.visualmint.org>

Ansatzpunkt: Pädagogisches Personal digital und didaktisch stärken

Eine zukunftsfähige MINT-Bildung beginnt bei dem pädagogischen Personal. Um den Rückgang zentraler MINT-Kompetenzen zu stoppen und digitale Fähigkeiten besser zu vermitteln, reicht es nicht aus, allein strukturelle Hürden zu adressieren. Auch die inhaltliche und methodische Weiterentwicklung des Unterrichts ist entscheidend. Pädagogisches Personal muss gezielt auf den Einsatz moderner Technologien und neuer Lehrmethoden vorbereitet werden. Dazu gehören praxisnahe Weiterbildungsangebote, die nicht nur den Umgang mit digitalen Werkzeugen vermitteln, sondern auch zeigen, wie diese sinnvoll in den Unterricht integriert werden können. Das BMBF fördert seit 2023 vier thematische Kompetenzzentren für digitales und digital gestütztes Unterrichten, in denen pädagogisches Fachpersonal und Schulleitungen fort- und weitergebildet werden sollen. Ebenso zielte die „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ des BMBF (2014 bis 2024) darauf ab, pädagogisches Fachpersonal für innovative Lehrkonzepte weiterzubilden und Curricula beispielsweise zu den Themen Digitalisierung und Inklusion weiterzuentwickeln. Darüber hinaus braucht es strukturierte Weiterbildungsangebote, die sich flexibel in den Schulalltag integrieren lassen. Konzepte wie Blended Learning oder praxisorientierte Workshops können dazu beitragen, dass pädagogisches Personal kontinuierlich auf neue technologische Entwicklungen vorbereitet werden. Dazu gehört gegebenenfalls auch Unterstützung für den IT-Support der Schulen, entweder durch eigenes Personal oder durch externe IT-Dienstleister.

Good Practice „Pädagogische Fortbildungsangebote der VDI GaraGe“

Die VDI GaraGe bietet Lehrkräften und anderem pädagogisch arbeitendem Personal und auch Eltern praxisorientierte Fortbildungen, um moderne MINT-Technologien und interdisziplinäre Ansätze gezielt in Lernräumen zu integrieren. In verschiedenen Modulen lernen die Teilnehmenden, digitale und technische Entwicklungen didaktisch aufzubereiten und praktisch anzuwenden. Die Fortbildungsreihe fördert einen sicheren Umgang mit neuen Lehrmethoden und unterstützt dabei, ihre

Kinder und Jugendliche auf eine zunehmend technologiegeprägte Zukunft vorzubereiten. Finanziert wird das Angebot durch die TÜV SÜD Stiftung.

<https://vdi-garage.de/angebote/fortbildung-fuer-eltern-paedagoginnen-und-betreuerinnen>

3.3 Fazit

Zusammenfassend ist es auf frühkindlicher und schulischer Ebene mit Blick auf die rechtzeitige (Interessens-)Bildung und spätere Berufsorientierung im Ingenieurbereich wichtig:

1. **Bundesweit die gleichen Bildungsstandards sowie Bildungs- und Lehrpläne** – insbesondere in Bezug auf Informatik und Technik sowie in Bezug auf überfachliche Kompetenzen (Future Skills) – geltend zu machen, beispielsweise indem Bund-Länder-Initiativen gestärkt werden, um eine integrative MINT-Bildung fest in Kita und Schule zu verankern, anstatt sie lediglich auf Nachmittagsangebote zu beschränken;
2. Kitas und Schule als attraktive Lernorte weiterzuentwickeln und entsprechend auszustatten, sodass dort alltagsrelevante und motivierende Lernerfahrungen gemacht werden können. Ergänzend sollten **Kooperation mit non-formalen Lernorten (Lehr-/Lernlabore, Makerspaces etc.) und Unternehmen** ausgebaut werden;
3. **Pädagogisches Personal in den Bereichen diversitätssensibler sowie technologiegestützter Didaktik aus- und weiterzubilden**, damit alle Kinder und Jugendlichen gleichermaßen Zugang zu guter MINT-Bildung erhalten;
4. **Eltern/Familien in den Bildungs- und Berufsorientierungsprozess zu integrieren**, da sie mit ihren Biografien maßgeblich zu Interessen, Ein- und Vorstellungen ihrer Kinder beitragen.

4 Ingenieurausbildung

4.1 Zukunftsfähiges Bild der Ingenieurausbildung

Heutige Studierende müssen auf eine Welt vorbereitet werden, die von einem beschleunigten technologischen Wandel und zunehmend komplexen gesellschaftlichen Herausforderungen bestimmt ist. Um sie bestmöglich auf diese Zukunft vorzubereiten, ist eine Ingenieurausbildung gefragt, die ein ganzheitliches und zukunftsgerichtetes Verständnis des Ingenieurberufs vermittelt, das technische Expertise mit überfachlichen transformativen Kompetenzen und interdisziplinären Arbeitsformen verknüpft.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Transformation der Ingenieurausbildung in Deutschland: Der bisher vorrangig fachbezogene Fokus wird sich hin zu einem ganzheitlicheren Ansatz der Ingenieurausbildung entwickeln, der Absolventinnen und Absolventen hervorbringt, die nicht nur über technisches Wissen verfügen, sondern besser in der Lage sind, kollaborativ und interdisziplinär zu arbeiten und innovative Lösungen zu entwickeln.

Als Reaktion auf die Industrie 5.0 wird die Ingenieurausbildung zukünftig disruptives Denken stärker fördern müssen, um Studierende auf unvorhergesehene Herausforderungen und neue Technologien vorzubereiten. Eine zukunftsfähige Ingenieurausbildung sollte in der Lage sein, Offenheit für neue Fragestellungen und Motivation für lebenslanges Lernen zu fördern. Formate wie Problem-Based Learning, Challenge-Based Learning, Projektwochen und praxisnahe Projekte, bei denen reale Wertschöpfungsprozesse analysiert werden, unterstützen eigenverantwortliches Lernen und die Entwicklung der genannten transformativen Kompetenzen (vgl. Abschnitt 2.1). Die Integration von innovativen Lernformaten bietet eine Antwort auf die zunehmende Komplexität im Berufsfeld. Im internationalen Vergleich hat Deutschland diesbezüglich Aufholbedarf und muss gezielte Maßnahmen ergreifen, um die Anschlussfähigkeit zu erhalten und eine zeitgemäße Ingenieurausbildung zu bieten (vgl. Abschnitt 4.2.2).

Auch technologiebasierte Ansätze wie KI-gestütztes Lernen, Augmented Reality, virtuelle

Labore oder Gamification können, wenn sie didaktisch sinnvoll genutzt werden, zu einer anwendungsorientierten Lehre beitragen und helfen, innovative Denk- und Arbeitsweisen zu entwickeln.

Die zunehmende Komplexität globaler Herausforderungen erfordert eine größere Interdisziplinarität der Studiengänge. Ansätze wie Integrated Engineering Education (IEE) verbinden ingenieurwissenschaftliche Disziplinen und fördern den Dialog mit Industrie und benachbarten Wissenschaftsfeldern.

In diesem Zusammenhang stellt Ruth Graham, die zu Engineering Education forscht, die Relevanz der Anpassung von Studienprogrammen an den technologischen Fortschritt (Automatisierung, Digitalisierung, KI, Data Analytics) heraus und sieht Länder wie die USA und Schweden im Vorteil, u. a., weil diese Länder bereits mehr digitale Lerninhalte integrieren und die Lehre stärker anwendungsorientiert und interdisziplinär ausrichten. Ebenso wichtig sei die Öffnung der Ingenieurausbildung Richtung Diversität und Inklusion – auch hier seien die USA und Schweden mit speziellen Programmen Vorreiter zur Integration von Frauen und ethnischen Minderheiten (u. a. Graham 2018).



Mit Blick auf den Fachkräftemangel sollte die Ingenieurausbildung in der Zukunft stärker darauf abzielen, Frauen sowie Menschen mit Migrationshintergrund und Bildungsbenachteiligte besser einzubinden. Die bestehende Unterrepräsentation dieser Zielgruppen in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern beschränkt nicht nur individuelle Chancen, sondern entzieht zugleich wertvolle Talente und damit Potenziale, die für technologische Fortschritte essenziell

sind (Europäische Kommission 2025). Deshalb ist es wichtig, die Bedürfnisse dieser Zielgruppen in der Konzeption der Studiengänge und in Informationsangeboten und Studieneinstiegsphasen zu berücksichtigen und sie gezielt anzusprechen. Dies gelingt durch (1) Förderung der Selbstwirksamkeit durch inklusive Ansprache und Rollenvorbilder, (2) Kontextualisierung fachlichen Wissens in Bezug auf gesellschaftliche und berufliche Relevanz sowie (3) stärkeren Praxisbezug durch kollaborative und spielerische Lehransätze. Solche Maßnahmen stärken die Integration von Theorie und Praxis und fördern lösungsorientiertes, interdisziplinäres Arbeiten.

Die Verbesserung der Durchlässigkeit zwischen beruflicher und akademischer Bildung ist zentral, um Zugänge zum Ingenieurberuf flexibler zu machen. Akkumulierbare Zertifikate auf Bachelor-Niveau (Certificates of Basic Studies, CBS; Diplomas of Basic Studies, DBS) sowie die systematische Anrechnung beruflicher Kompetenzen und extern erworbener Microcredentials auf Ingenieurstudiengänge spielen dabei eine wichtige Rolle.

Ein außercurriculares oder transdisziplinäres Angebot von Microcredentials als Element im Studium wird ein vielseitiges Lernen unterstützen. Auf diese Weise können beispielsweise Spezialisierungen im Rahmen des Studiums erworben und dokumentiert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Bedeutung von Microcredentials im Rahmen des Studiums und der wissenschaftlichen Weiterbildung weiter zunehmen wird, um auf neue Anforderungen z. B. im Hinblick auf neue Forschungsmethoden oder KI. Microcredentials als bedarfsgerechte und kompetenzorientierte Lehrformate erlauben eine schnelle Anpassung an sich wandelnde Anforderungen.

Angesichts der zunehmenden Bedeutung von KI in der Ingenieurwissenschaft ist davon auszugehen, dass zukünftig der Erwerb grundlegender KI-Kompetenzen fester Bestandteil der meisten Studiengänge sein wird. Dies umfasst den reflektierten Umgang mit KI-Tools, ein Verständnis für ihre Funktionsweise sowie die Fähigkeit, ihre Einsatzmöglichkeiten und Grenzen zu bewerten.

4.2 Herausforderungen und Ansatzpunkte für die Erreichung dieses Zukunftsbilds

Die Verwirklichung einer zukunftsorientierten Ingenieurausbildung ist mit verschiedenen Herausforderungen verbunden. Institutionelle, technologische und gesellschaftliche Faktoren erschweren die Umsetzung der zuvor skizzierten Ansätze. Um diese Hemmnisse zu überwinden, bedarf es gezielter Maßnahmen und innovativer Lösungsansätze, die eine nachhaltige Entwicklung der Ingenieurausbildung im Hochschulbereich ermöglichen. Im Folgenden werden zentrale Herausforderungen und mögliche Wege zur Erreichung dieses Zukunftsbildes beleuchtet.

4.2.1 Herausforderung: Hürden bei der Gestaltung bzw. Überarbeitung von Studiengängen

Viele Ingenieurstudiengänge sind stark auf technische Inhalte ausgerichtet und berücksichtigen überfachliche Kompetenzen nur in geringem Maße. Zudem besteht die Notwendigkeit, neue Anforderungen an Fach- und Methodwissen, die sich aus neuen Schlüsseltechnologien wie KI, Wasserstoff, Klimatechnologien, aber auch aus neuen Entwicklungen wie der Kreislaufwirtschaft oder der Mobilitätswende ergeben, schneller zu integrieren (vgl. Abschnitt 2.1). Somit ist es erforderlich, in der Ingenieurausbildung Curricula methodisch und inhaltlich auf die Arbeitswelt der Zukunft auszurichten.

Dies ist jedoch eine große Herausforderung. Auch wenn eine derartige Veränderung in Hochschulen als notwendig erkannt wird, steht das Selbstverständnis und die Sozialisation der Professorinnen und Professoren tiefgreifenden Reformen oft entgegen. Die Fokussierung auf das jeweils eigene wissenschaftliche Spezialgebiet wird in den Fachbereichen und Instituten für wichtiger erachtet, als sich mit Fragen der Gestaltung innovativer und interdisziplinärer Lehre zu beschäftigen. Die Integration von transdisziplinären Ansätzen und die Förderung von Integrated Engineering, bei dem mehrere ingenieurwissenschaftliche Disziplinen zusammenarbeiten, ist dadurch erschwert (van den Beemt et al. 2020). Die deutsche Ingenieuraus-

bildung genießt zudem international bisher einen hohen Ruf. Auch dies führt dazu, dass an bestehenden Strukturen festgehalten wird und wenig Offenheit für Neues sowie eine geringe Risikobereitschaft mit Blick auf notwendige Veränderungen vorhanden ist.

Die Transformation der Ingenieurausbildung erfordert umso mehr eine Anpassung der Studiengangs(weiter)entwicklung. Die Einführung innovativer Lernmethoden sowie neuer und interdisziplinärer Inhalte und entsprechende curriculare Änderungen werden oft durch zeitintensive Abstimmungsprozesse innerhalb der Hochschulen ausgebremst. Die Entwicklung praxisnaher Unterrichtsinhalte in Zusammenarbeit mit Unternehmen wird durch die langwierigen und unflexiblen Zyklen bei der Studiengangentwicklung und -überarbeitung erschwert. Auch mit Blick auf die Anerkennung von neu konzipierten Abschlüssen durch andere Hochschulen, Kammern und Verbände stellen sich komplexe Fragen. Eine ähnliche Hürde stellen langwierige Akkreditierungsprozesse dar. Praxisorientierte Lehrformate sind zudem schwer zu akkreditieren, da sich eine konsequente Kompetenzorientierung nicht so einfach mit den derzeit bestehenden Leistungskatalogen abbilden lässt (Chen et al. 2021).

Ansatzpunkt: Kooperation unterstützt die Anpassung von Curricula und Studienangeboten

Um eine flexible Anpassung von Curricula und Studienangeboten an Kompetenzbedarfe der Wirtschaft im Kontext von Transformationsprozessen wie Kreislaufwirtschaft oder Energiewende ermöglichen zu können, sollten Hochschulen die Zusammenarbeit mit der regionalen Wirtschaft oder mit anderen Hochschulen der Region stärken.

Um Studierende auf die komplexen Anforderungen der Zukunft vorzubereiten, sollte die Ingenieurausbildung modulare Einstiegs- und Vertiefungsphasen bieten, die Orientierungsphasen und vielfältige Wahlmöglichkeiten bieten. Durch hochschulübergreifende Kooperationen und interdisziplinäre Ansätze wird der Austausch zwischen Disziplinen und Institutionen gefördert, was ein dynamisches Lernumfeld schafft. Hochschulen können sich gegenseitig bei der Anpassung

ihrer Studienangebote ergänzen, Synergien gezielt nutzen oder jeweils aufeinander abgestimmt unterschiedliche Schwerpunkte setzen. Durch den Austausch mit regionalen Unternehmen können Qualifizierungsbedarfe der Wirtschaft frühzeitig erkannt werden und innovative, interdisziplinäre Studienangebote (ebenso wie Weiterbildungsangebote für Fachkräfte) in direkter Abstimmung mit aktuellen Fragestellungen der regionalen Wirtschaft entwickelt werden.

Good Practice „Profilschwerpunkt ‚Nachhaltige Produkte und Prozesse‘, Hochschule Bielefeld“

Mit der Studienreform im Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik an der Hochschule Bielefeld (HSBI) wurden umfassende curriculare Änderungen mit den 14 Profilschwerpunkten durchgeführt. Zielsetzung ist, interdisziplinär über Studiengangsgrenzen hinaus zusammenzuarbeiten. Im Wintersemester 2025/26 wird z. B. der Profilschwerpunkt „Nachhaltige Produkte und Prozesse“ in Zusammenarbeit von vier Studiengängen („Regenerative Energien“, „Wirtschaftsingenieurwesen“, „Mechatronik“ und „Apparative Biotechnologie“) eingeführt. Motivation ist die Stärkung der Entwicklung von Nachhaltigkeit und Circular Economy im gesamten Fachbereich.

Die Basis und Inhalte für den neuen Profilschwerpunkt „Nachhaltige Produkte und Prozesse“ basieren auf den Erkenntnissen aus dem Bachelor-Studiengang „Regenerative Energien“, insbesondere dem Modul „Zirkuläre Wertschöpfung nach C2C“, sowie der Zusammenarbeit des Instituts für Technische Energie-Systeme (ITES) der HSBI mit verschiedenen Partnern, wie den Innovationsnetzwerken der Region OWL, VDI OWL e.V., Kreis Lippe, TH OWL, Smart Recycling Factory Pohlsche Heide, Fraunhofer IOSB-INA, im Forschungsprojekt CirQualityOWL plus. Die enge Verknüpfung von Forschung, Lehre und den praktischen Anwendungen der Wirtschaft tragen zum Gelingen und der fachlichen Tiefe des Profilschwerpunkts bei.

<https://www.cirqualityowl.de/qualifizierung/>
<https://www.hsbi.de/iium>

Ansatzpunkt: Flexibilisierung von Akkreditierungsprozessen

Mehr Flexibilität in den Prozessen der Anpassung von Studiengängen an geänderte Anforderungen sowie neue Lerninhalte und -formate zu ermöglichen, ist eine große Herausforderung, da auch strukturelle Rahmenbedingungen angesprochen sind. Ein möglicher Ansatzpunkt ist eine systematische Analyse dieser strukturellen Innovationshemmnisse. Dabei sollte untersucht werden, wie es in anderen Disziplinen (beispielsweise den Wirtschaftswissenschaften) gelingt, Curricula laufend auf einem aktuellen und innovativen Stand zu halten und wie dies in den Ingenieurwissenschaften in unterschiedlichen Hochschulformen (u. a. auch in dualen Studiengängen oder in privaten Hochschulen) und in anderen europäischen Ländern sowie international gelingt. Zu klären wäre dabei, welche Spielräume im Rahmen eines akkreditierten Studiengangs gegeben sind, um curriculare und methodische Anpassungen vorzunehmen und wie eine stärkere Kompetenzorientierung im Rahmen von Akkreditierungen berücksichtigt werden kann. Ebenso sollte geprüft werden, wie die gegenseitige Anerkennung von Abschlüssen zwischen den Hochschulen und bei Unternehmen und Kammern gestärkt werden kann und wie gegebenenfalls Akkreditierungsprozesse beschleunigt werden könnten. Ein enger Austausch zwischen Unternehmen, Kammern und Hochschulen könnte bürokratische Hürden abbauen und den Aufbau nachhaltiger Partnerschaften erleichtern.

Des Weiteren sollten erfolgreiche Modelle der Kooperation von Hochschulen in hochschulübergreifende Studienangeboten untersucht werden und Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit Fakultätentagen oder Initiativen wie HAW-tech oder 4ING geprüft werden, um daraus Best Practices für eine innovative Studienganggestaltung in den Ingenieurwissenschaften abzuleiten. Ein enger Austausch, beispielsweise in Qualitätszirkeln zur Studiengangentwicklung, könnte eine hohe Qualität sicherstellen und gleichzeitig die Anerkennung erleichtern.

Good Practice „European Accreditation of Engineering Programs“

Der Ansatz des European Accreditation of Engineering Programms (EUR ACE) zur Anerkennung von Hochschulabschlüssen zielt darauf ab, die Qualität von Ingenieurstudiengängen europaweit zu sichern und zu fördern. Durch ein standardisiertes Akkreditierungsverfahren stellt EUR ACE sicher, dass Studiengänge bestimmte Qualitätskriterien erfüllen und international vergleichbar sind. Die Akkreditierung ermöglicht es Absolventinnen und Absolventen, ihre Qualifikationen in verschiedenen europäischen Ländern leichter anerkennen zu lassen. Gleichzeitig unterstützt EUR ACE die Mobilität von Studierenden und Fachkräften innerhalb Europas. Der Ansatz trägt dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der Ingenieurberufe auf europäischer Ebene zu stärken und eine hohe Fachkompetenz zu gewährleisten.

<https://www.enaee.eu/eur-ace-system/>

4.2.2 Herausforderungen bei der Implementierung anwendungsorientierter Lehr-/Lern-Methoden

Befragungen unter Studierenden sowie Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteigern zeigen, dass die Vermittlung von Soft Skills häufig im Studium vernachlässigt wird und dann mit erhöhtem Aufwand zu Karrierebeginn vertieft werden muss (VDI Young Engineers 2025).



Kompetenzorientierte und anwendungsnahe Lehr-/Lernkonzepte wie Problem-Based Learning (PBL) oder Challenge-Based Learning (CBL) haben sich international als effektiv und rich-

tungsweisend für die Vermittlung von Soft Skills und Future Skills in der Ingenieurausbildung erwiesen. Sie werden jedoch in Deutschland nur begrenzt eingesetzt.

Es ist eine erhebliche Herausforderung, komplexe und gesellschaftlich relevante Lernarrangements in die Ingenieurausbildung zu integrieren. Dabei hindern insbesondere strukturelle und institutionelle Barrieren, mangelnde Ressourcen sowie fehlende Nähe zur beruflichen Praxis (Lindsay et. al. 2021).

Good Practice „TUM-Projektwochen“

Die Projektwochen der Technischen Universität München (TUM) bieten Studierenden die Möglichkeit, in interdisziplinären Teams an aktuellen und zukunftsweisenden Themen zu arbeiten. Im Wintersemester 2024/25 standen rund 40 verschiedene Projektwochen zur Auswahl, die sich mit Bereichen wie KI und Digitalisierung, Kreativität und Design, Unternehmertum, Gesundheit, Soziales und Nachhaltigkeit beschäftigten. Beispielsweise arbeiteten Studierende im „GovTech Design Lab“ gemeinsam mit Partnern aus der Praxis an der Schnittstelle von Technologie und öffentlicher Verwaltung, um Lösungen für gesellschaftliche Herausforderungen zu entwickeln. Dieses hochschulweit angelegte Format bietet die Möglichkeit, zunächst in einem kleinen Rahmen neue Lehrformate zu erproben und alle Beteiligten an entsprechende Veränderungsprozesse heranzuführen.

<https://www.tum.de/en/studies/degree-programs/key-skill-programs/project-weeks>

Eine erfolgreiche Integration moderner Lehrensätze in die Ingenieurausbildung würde einen grundlegenden Umbau der traditionellen Studiengangstruktur erfordern. Die Curricula sind bisher oft stark modularisiert und fokussieren auf die Vermittlung von Fachwissen in klar abgesteckten Themenbereichen. Im Gegensatz dazu behandeln Lehr-/Lernkonzepte wie PBL oder CBL häufig fachübergreifende Problemstellungen, die nicht in die klassische Modulstruktur passen. Zudem orientieren sich viele Studiengänge an festen Prüfungsplänen, die für kompetenzorientierte Lehr-/Lernkonzepte nur

unzureichend geeignet sind. Durch PBL und CBL werden neben Fachwissen auch übergreifende Kompetenzen wie Teamarbeit, Kreativität, Problemlösungsfähigkeit und Reflexionsvermögen vermittelt. Diese multidimensionalen Lernergebnisse sind schwer standardisiert zu messen. Herkömmliche Prüfungsformate wie Klausuren und mündliche Prüfungen werden Lernleistungen, die im Rahmen von PBL und CBL erbracht werden, nicht gerecht, da sie in der Regel Wissen abfragen und nicht den Zuwachs an Kompetenzen erfassen. Es fehlen validierte Bewertungsinstrumente, die sowohl individuelle Beiträge als auch die Qualität der Teamarbeit fair und transparent berücksichtigen.

Menschzentrierte Lehr-/Lernkonzepte wie PBL und CBL erfordern eine aktive Moderation durch Lehrende, die als Begleiter und Unterstützer des Lernprozesses agieren, anstatt als reine Wissensvermittler. Viele Hochschullehrende sind fachlich hochqualifiziert, haben jedoch wenig Erfahrung mit partizipativen Lehrmethoden. Es fehlt an institutionalisierten Weiterbildungsprogrammen und Freiräumen, die es Lehrenden ermöglichen, sich gezielt auf diese Anforderungen vorzubereiten. Ohne adäquate Unterstützung bleibt der Einsatz von PBL und CBL oft Stückwerk oder wird gar nicht erst erprobt, da Lehrende unsicher in der Umsetzung sind. Auch hinsichtlich der Bewertung von Lernleistungen besteht ein Schulungsbedarf (Mann et al. 2021).

Ein effektives PBL- oder CBL-Setting erfordert einen höheren Ressourceneinsatz, insbesondere in Form von:

- **Personalkapazitäten:** Die Planung und Durchführung von PBL- und CBL-Projekten erfordert mehr Vorbereitungszeit. Da diese Lernformate außerdem auf kleine Gruppen und intensive Betreuung ausgelegt sind, müssen Hochschulen gegebenenfalls mehr Lehrende sowie Tutorinnen und Tutoren einsetzen.
- **Infrastruktur:** Weiter müssen geeignete Räume und digitale Tools für kollaboratives Arbeiten bereitgestellt werden. Da PBL häufig praxisorientierte Projekte umfasst, benötigen Studierende Zugang zu Werkstätten, Laboren und Testumgebungen, in denen sie ihre Lösungen entwickeln, testen und präsentieren können.

- **Kooperationen:** PBL und CBL leben von praxisnahen und realistischen Problemstellungen. Hierfür ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Unternehmen notwendig. Solche Kooperationen sind in Deutschland jedoch oft nicht systematisch etabliert. Unternehmen sehen in der Einbindung von Studierenden und Hochschulen in ihre Projekte häufig noch einen zusätzlichen Aufwand, statt darin die Potenziale für Innovation, eigenes Lernen und Fachkräftebindung zu erkennen (siehe Abschnitt 5.2). Insofern ist auch die Kooperation mit Unternehmen eine Herausforderung und erfordert Bereitschaft und Aufwand auf beiden Seiten (Leijon et al. 2021). Darüber hinaus arbeiten auch Fachbereiche innerhalb der Hochschulen häufig nicht optimal zusammen, sodass innovative Ansätze oder interdisziplinäre Projektformate nicht breit etabliert werden können.

Ansatzpunkte für die Einführung einer neuen Lernkultur für mehr problem- und projektorientiertes Lernen

Voraussetzung für die Implementierung von neuen Lehr-/Lernformaten, die mehr Praxisorientierung, Interdisziplinarität und problem- oder projektbezogene Aufgabenstellungen ermöglichen, ist in jedem Fall ein Mentalitätswandel bei Hochschulverantwortlichen, Lehrenden und Studierenden. Ein solcher Wandel wird nicht ohne Widerstände von statten gehen. Lehrende, die über viele Jahre traditionelle Vorlesungen gehalten haben, sind nicht immer bereit, ihre Rolle zu überdenken. Sie sehen PBL und CBL oft als zusätzliche Belastung. Auch Studierende sind häufig an konventionelle Lernmethoden gewöhnt. Ohne eine gezielte Veränderung der Lehr- und Lernkultur bleiben solche Ansätze schwer zu etablieren (Chen et. al. 2021).

Entsprechend ist es erforderlich, dass Hochschulleitungen und Politik Rahmenbedingungen schaffen, um die Umsetzung von PBL/CBL-Formaten zu unterstützen. Dies bedeutet nicht, dass klassische Lehrmethoden komplett ersetzt werden sollen. Vielmehr geht es um ein gutes Zusammenspiel und einen zielgerichteten Einsatz der jeweils passenden Lehrmethode. Eine Methodenvielfalt in den Lehrmethoden und eine Offenheit gegenüber dem Einsatz innovativer

Methoden sollte daher in der Hochschulstrategie oder im Hochschulprofil verankert sein. Entsprechend sollten konkrete Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende wie Weiterbildungs- oder Beratungsangebote für die Umgestaltung der Lehre, Schaffung zeitlicher Freiräume für die Ausarbeitung der Lehrkonzepte, Beratung zum Einsatz geeigneter digitaler Tools für kollaboratives Arbeiten und gegebenenfalls auch Unterstützung beim Aufbau von Kooperationen mit Unternehmen von der Hochschule vorangetrieben werden.

Weiterbildungsangebote für Lehrende sollten an international wegweisende, innovative Lehrkonzepte angeschlossen. So sollen Lehrende die Möglichkeit erhalten, sich mit neuen didaktischen Ansätzen und einer damit verbundenen veränderten Rolle als Lehrende vertraut zu machen. Eine neue Lehrkultur bedeutet auch, individuelle und institutionelle Widerstände und Unsicherheiten aufzulösen. Weiterbildungen können ein Ansatzpunkt sein, indem sie Lehrenden zeigen, wie sie ihre Rolle von der reinen Wissensvermittlung hin zur Moderation und Begleitung von Lernprozessen entwickeln können und wie sie Projekte in Etappen gliedern, Zeitmanagement betreiben und Herausforderungen so gestalten können, dass sie sowohl praxisorientiert als auch mit den fachlichen Lernzielen vereinbar sind. Der Umgang mit technischen und digitalen Hilfsmitteln will ebenfalls gelernt sein. Weiterbildungen helfen, Lehrende auf die Integration zukunftsweisender Technologien vorzubereiten und sinnvoll in PBL- und CBL-Szenarien einzusetzen.

Good Practice „Universität Maastricht: EDLAB - Centre for Teaching & Learning“

Die Universität Maastricht hat als eine der ersten Universitäten weltweit Problem-Based Learning (PBL) in all ihren Studiengängen eingeführt. Studierende arbeiten in kleinen Gruppen von 10 bis 15 Personen zusammen, um reale, praxisnahe Probleme zu lösen. Ergänzt wird das PBL-Modell durch die Integration digitaler Technologien und ein modernes Blended-Learning-Konzept. Die Universität setzt auf eine partizipative Implementierung ihres Lehr-/Lernkonzepts. Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der Lehrmethoden wird seit 2015 durch das „EDLAB – Centre for Teaching &

Learning“ der Universität unterstützt. EDLAB bietet Lehrenden Ressourcen und Schulungen, um die Qualität der Lehre zu steigern und innovative Bildungsprojekte umzusetzen.

<https://www.maastrichtuniversity.nl/education/edlab>

Wie bereits dargestellt, stellt die konsequente Umsetzung von projekt- und problembasierten Lernformaten hohe Anforderungen an personelle Kapazitäten und räumliche und infrastrukturelle Ressourcen und an Unternehmenskooperationen. Einzelne Hochschulen stoßen bei der Schaffung der für PBL/CBL-Formate geforderten Rahmenbedingungen schnell an Grenzen. Daher sollte überlegt werden, wie in Hochschulverbänden Synergien geschaffen werden können, beispielsweise durch die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur oder durch regionale IT- oder Weiterbildungszentren, über die Unterstützung bereitgestellt werden kann. Auch die Kooperation mit Unternehmen könnte über hochschulübergreifende regionale Vernetzungsstrukturen unterstützt werden.

PBL und CBL ermöglichen es, dass Studierende praxisnah und zukunftsorientiert ausgebildet werden. Dies steigert die Attraktivität der Studiengänge, was gerade im internationalen Wettbewerb um Studierende und Fachkräfte ein entscheidender Vorteil ist. Langfristig fördern solche Maßnahmen nicht nur die Qualität der Lehre, sondern auch die Reputation der Hochschulen als innovativer Bildungsstandort (vgl. González-Pérez, Ramírez-Montoya 2022).

Good Practice „EuroTeQ Collider der EuroteQ Engineering University“

Der EuroTeQ Collider ist ein Challenge-Based-Learning-Programm, bei dem Studierende aus sechs führenden technischen Universitäten (TU München, TU Dänemark, TU Eindhoven, École Polytechnique Paris, TU Prag, TU Tallinn) in internationalen und interdisziplinären Teams an realen gesellschaftlichen Herausforderungen arbeiten. Sie entwickeln innovative Lösungen zu Themen wie Nachhaltigkeit und Digitalisierung, inspiriert von den UN-Nachhaltigkeitszielen. Dabei kooperieren sie mit Industriepartnern und ande-

ren Bildungseinrichtungen. Auch der VDI ist als Partner beteiligt.

<https://euroteq.eurotech-universities.eu/>

4.2.3 Herausforderung: Fehlende Durchlässigkeit, mangelnde zielgruppen-gerechte Beratungsangebote und hohe Abbruchquoten

Ein großes Problem in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen liegt darin, dass es nicht ausreichend gelingt, Studieninteressierte für die Entscheidung zum Ingenieurstudium zu begeistern und Studienanfängerinnen und -anfänger im Studium zu halten. Dies zeigt sich beispielsweise bei den in den Ingenieurwissenschaften sehr hohen Studienabbruchquoten und im niedrigen Frauenanteil. Die Studienabbruchquoten in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen an Universitäten liegt seit Jahren ziemlich konstant, aber hoch bei 35 % insgesamt (Elektrotechnik 44 %, Informatik 42 %, Maschinenbau 33 %) (Heublein et al. 2022). Die Abbruchquote bei Studentinnen ist nicht signifikant höher oder niedriger als bei Studenten, sie liegt lediglich etwas höher bei aus dem Ausland stammenden Studierenden (Klöpping et al. 2017, S. 22f.). Häufig erfolgt der Studienabbruch bereits früh, im 1. oder 2. Semester, oder aber kurz vor Erreichung des Bachelorabschlusses (5. Semester) (ebd., S. 22). Ebenso finden aber auch Hochschul- und Fachwechsel statt, wobei die Studienlage nicht darlegt, wohin der Hochschul- und Fachwechsel erfolgt und ob Studierende in ein anderes ingenieurwissenschaftliches Fach oder eine ganz andere Disziplin wechseln (ebd., 2017). Diese Aspekte sollten bei der Bewertung der Zahlen berücksichtigt werden. Nicht jeder Studienabbruch ist als Misserfolg zu verstehen, sondern dahinter kann sich eine individuell sinnvolle Uorientierung verbergen.

Die Erfahrung der Expertinnen und Experten aus der Hochschule zeigt, dass sich das gesellschaftlich-soziale Umfeld und die Mentalität der Studienanfängerinnen und -anfänger in den letzten Jahren sehr stark gewandelt hat. Die veränderten Erwartungen und Bedürfnisse der Zielgruppe müssen in der Gestaltung von Stu-

dienangeboten und Beratungsangeboten berücksichtigt werden, um Motivation und Interesse zu wecken.



Bei jungen Menschen wird die Studienentscheidung oft durch den Wunsch nach einer sinnstiftenden Tätigkeit beeinflusst. Auf dieser Grundlage werden interdisziplinär angelegte Studiengänge, die sich querschnittlich mit gesellschaftlich relevanten Themen wie Nachhaltigkeit beschäftigen oder sehr anwendungsorientiert ausgerichtet sind, als attraktiver wahrgenommen als das klassische ingenieurwissenschaftliche Studium. Insbesondere Frauen wählen eher interdisziplinäre oder anwendungsorientierte Studienangebote (vgl. Mitchell et al. 2021).

Eine umfassende Studie des Bayerischen Staatsinstituts für Hochschulforschung und Hochschulplanung (IHF) untersuchte 2011, was Hochschulen gegen Studienabbrüche im MINT-Bereich tun können. Hier wurden zahlreiche Lösungsansätze aus einzelnen Hochschulen vorgestellt. Dazu gehörten neben gezielten Unterstützungs- und Betreuungsprogrammen auch Maßnahmen, um studienabbruchgefährdete Studierende auf Gruppen- und Individualebene kontinuierlich zu identifizieren, sowie eine MINT-Koordinationsstelle auf Hochschul- oder Fakultätsebene, die Maßnahmen gegen den Studienabbruch begleitete und evaluierte (Gensch, Kliegl 2011).

Zu klären wäre darüber hinaus, inwiefern gegebenenfalls auf hochschulpolitischer Ebene Anreize geschaffen werden können, sich um diese Aspekte stärker zu kümmern. Je nach Bundesland bestehen unterschiedliche Modelle bezüglich der Finanzierung der Hochschulen, wobei in unterschiedlichem Ausmaß auch die Zahl der Absolventinnen und Absolventen oder die Zahl

der Studienanfängerinnen und -anfänger Berücksichtigung bei der Festlegung von Budgets finden. Hier wäre zu klären, welche Finanzierungsmodelle oder anderen Anreize Hochschulen motivieren, sich gezielt um die Unterstützung von studienabbruchgefährdeten Studierenden zu kümmern.

Ein weiteres Problem ist, dass ausländische Studierende in englischsprachigen Studiengängen oft nicht gut in die Hochschule integriert werden bzw. ein größerer Betreuungsaufwand besteht, damit dies gelingt. Die steigende Zahl an ausländischen Studierenden ist somit für Hochschulen auch eine Herausforderung. Wenn es nicht gelingt, die ausländischen Studierenden zu unterstützen, ist ein Studienabbruch wahrscheinlicher. Zudem gehen sie nach dem Studienabschluss gegebenenfalls wieder zurück in ihr Heimatland und fehlen somit auf dem deutschen Arbeitsmarkt. Um den zusätzlichen Aufwand, den bedarfsgerechte Betreuungs- und Sprachangebote für ausländische Studierenden erfordern, in der Hochschulfinanzierung zu berücksichtigen, sind einzelne Länder wie Bayern und Baden-Württemberg dazu übergegangen, Studiengebühren für ausländische Studierende zu erheben.

Good Practice „FIT - Förderung internationaler Talente zur Integration in Studium und Arbeitsmarkt“

Das FIT-Programm des DAAD unterstützt deutsche Hochschulen dabei, internationale Talente für ein Studium in Deutschland zu gewinnen und ihren Studienerfolg sowie die Integration in den deutschen Arbeitsmarkt zu fördern. Es umfasst Maßnahmen zur Studienzuvorbereitung, -erfolgssicherung und Employability-Steigerung sowie den Aufbau von Netzwerken zur Arbeitsmarktintegration.

<https://www.daad.de/de/infos-services-fuer-hochschulen/weiterfuehrende-infos-zu-daad-foerderprogrammen/fit/>

Insgesamt sollte die Frage, wie Studieninteressierte für ein ingenieurwissenschaftliches Fach motiviert und in der Studieneingangsphase besser unterstützt werden können, mehr in den Fokus rücken.

Ansatzpunkt: Beratungs- und Unterstützungsangebote

Ansatzpunkte liegen in der zielgruppengerechten Gestaltung der Beratungsangebote zur Studiengangwahl sowie in Unterstützungsangeboten zum Studieneinstieg.

Beratungsangebote sollten darauf ausgerichtet sein, einen guten Überblick über die in einzelnen Studiengängen geforderten Kompetenzen zu schaffen. Dabei sollten Erwartungen an das Studium besprochen werden, und es sollte transparent gemacht werden, welche Fachrichtungen am besten geeignet sind, die individuellen Interessen abzudecken. Auch sollten Studienorientierungsangebote an den Interessen der jungen Menschen orientiert sein, beispielsweise indem sie entlang von Querschnittsthemen wie Nachhaltigkeit (Anwendungsorientierung und Interdisziplinarität) ausgerichtet sind.

Da Anforderungen im Fach Mathematik von Studieninteressierten oft als Hürde angesehen werden und ein häufiger Grund für den Studienabbruch sind, sollte möglichst früh kommuniziert werden, in welchem ingenieurwissenschaftlichen Studium Mathematik auf welchem Niveau und mit welcher Gewichtung angesiedelt ist. Zudem sollte transparent dargestellt werden, welche ergänzenden Unterstützungsmöglichkeiten eine Hochschule bietet, die eigenen Kompetenzen dahingehend weiterzuentwickeln.

Bei der Beratung für Masterstudiengänge sollte die Frage nach gewünschten Tätigkeitsfeldern gestellt werden, um gegebenenfalls die Entscheidung für eine Fach- oder Führungslaufbahn vorzubereiten oder alternative Entwicklungswege zum Masterstudium aufzuzeigen.

Für die Begleitung in der Studieneinstiegsphase sollten Hochschulen Angebote wie Study-Start-Programme oder Mentoring-Programme vorhalten, die es einerseits ermöglichen, sich im Studium sozial eingebunden zu fühlen und andererseits einen Austausch mit älteren Studierenden oder Berufstätigen ermöglichen. Orientierung im Studium zu erhalten und sich über Sinn und Ziele des Studiums auszutauschen. Auf diese Weise kann einem Studienabbruch vorgebeugt werden. Um die Integration interna-

tionaler Studierender zu unterstützen, sollten Berührungspunkte zwischen deutschsprachigen und englischsprachigen Studiengängen geschaffen werden, beispielsweise durch ein Buddy-Programm oder durch gemeinsame Projektphasen.

Good Practice „STARTplus intensiv“

Das STARTplus intensiv-Programm der HAW Hamburg erleichtert den Einstieg in die Bachelorstudiengänge Fahrzeugbau, Flugzeugbau und Mechatronik. Es kombiniert ein intensives Mathematiktraining im ersten Semester mit einem Tutorium für Lernstrategien und Zeitmanagement, wovon besonders Studierende mit unsicheren Mathematikkenntnissen oder Orientierungsbedarf im Hochschulalltag profitieren sollen. Das Programm stärkt den Studienerfolg gezielt durch fachliche und organisatorische Unterstützung.

https://www.haw-hamburg.de/fileadmin/TI-FF/PDF/HAW_Hamburg_TI_StartPlus_intensiv_Flyer_Online.pdf

Bedacht werden sollte auch, dass Studienabbrecherinnen und -abrecher weiterhin potenzielle Fachkräfte sind und auch ihnen gute Beratungs- und Übergangsangebote gemacht werden sollten. So ist ein Studiengangwechsel, beispielsweise in ein eher interdisziplinär ausgerichtetes Fach oder von einer Universität zu einer Fachhochschule oder auch ein Übergang in eine technische Ausbildung dann attraktiv, wenn bereits erbrachte Studienleistungen auf den neuen Studiengang oder die Ausbildung angerechnet werden können.

Ansatzpunkt: Flexiblerer Umgang mit Bildungskarrieren

Mit Blick auf die Durchlässigkeit für ein Studium ohne Abitur sind insbesondere Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) ein Vorbild. Neben der Möglichkeit, dort mit Fachabitur ein ingenieurwissenschaftliches Studium aufzunehmen, erkennen HAW vermehrt eine abgeschlossene Berufsausbildung plus mehrjährige Berufserfahrung im technischen Bereich als Hochschulzugangsberechtigung an. Teilweise hängt die Zulassung auch an zusätzlichen vorab

zu absolvierenden Vorprüfungen, beispielsweise zu Mathematikkenntnissen. Aber auch für bisher Fachfremde besteht immer häufiger die Möglichkeit, ein ingenieurwissenschaftliches Studium aufzunehmen.

Good Practice „Studieren ohne Abitur“

Das Online-Portal studieren-ohne-abitur.de erleichtert beruflich Qualifizierten den Zugang zur Hochschulbildung. Es bietet eine detaillierte Übersicht der Zugangsregelungen in allen 16 Bundesländern, einen Studiengang-Check mit über 9.000 passenden Angeboten und individuelle Orientierungshilfen. Durch strukturierte Informationen und praktische Tools ermöglicht das Portal eine gezielte Studienwahl u. a. im ingenieurwissenschaftlichen Bereich und senkt Hürden für nicht-traditionelle Studierende.

studieren-ohne-abitur.de

4.2.4 Herausforderungen durch Entwicklungen im Bereich KI

Durch die Entwicklungen im Bereich der KI werden sich in allen Fachgebieten Veränderungen und Anpassungsbedarf in Bezug auf Lerninhalte und Lernmethoden ergeben.

Viele Hochschulen und Fakultäten haben sich hier bereits auf den Weg gemacht. Allerdings sind die Entwicklungen sehr dynamisch, sodass sich laufender Anpassungsbedarf ergibt. Zudem sind Lernangebote zu KI-Themen noch nicht durchgängig in Studiengänge integriert und es fehlen entsprechende Qualifikationen bei den Lehrenden, um den Umgang mit KI und die Bedeutung von KI für das spezifische Fachgebiet zu vermitteln. Auch für den Einsatz von KI in der Lehre sind viele Lehrende nicht ausreichend didaktisch und methodisch vorbereitet. Eine weitere Herausforderung ist Unsicherheit in Bezug auf regulatorische Rahmenbedingungen im Umgang mit KI, wie das Thema Datenschutz. So stuft die europäische KI-Verordnung (EU AI Act) den Bildungsbereich als Hochrisikogebiet ein und formuliert auf dieser Grundlage besondere Bedingungen für den dortigen Einsatz von KI.

Ansatzpunkte zum Umgang mit KI

Das Ausbilden einer Grundkompetenz zum Umgang mit KI muss zukünftig in jeden Studiengang einbezogen werden. Dies kann entweder integriert in fachliche Curricula oder durch überfachliche Module erfolgen.

Studierende müssen angeleitet werden, sinnvoll mit KI-Tools zu arbeiten. Sie müssen ein Bewusstsein zum Umgang mit KI entwickeln und reflektieren können, was sie damit machen können und wo Grenzen liegen. Curricula sind somit in zweierlei Hinsicht anzupassen: In Bezug auf Kenntnisse zum Einsatz von KI in der jeweiligen Fachdisziplin (beispielsweise wie Maschinen KI-gesteuert bestimmte Fertigungsprozesse unterstützen) und in Bezug auf die Nutzung von KI in Lern- und Arbeitsprozessen, also auf der Ebene überfachlicher Kompetenzen. Dies betrifft beispielsweise die Fähigkeit, die Funktionsweise von Sprachmodellen zu verstehen und Sprachmodelle für die Bearbeitung von Aufgaben einzusetzen. Es sollte dabei kritisch reflektiert werden, in welchen Bereichen eines Studiums jeweils die Integration von KI sinnvoll ist und wo nicht, weil der Einsatz von KI-Tools gegebenenfalls der Entwicklung von Kompetenzen entgegensteht.

Um hier geeignete Lösungen zu finden, ist bildungswissenschaftliche und fachdidaktische Forschung dazu gefordert, wie sich die Interaktion mit KI bzw. die Einbindung von KI-Tools auf Lehr- und Lernprozesse auswirkt und welche didaktischen Konzepte zur Vermittlung kritischer KI-Kompetenzen geeignet sind.

Damit Hochschulen sich in der Breite für die Anforderungen im Bereich KI aufstellen können, unterstützt das Hochschulforum Digitalisierung Hochschulen die Entwicklung einer organisationsübergreifenden KI-Strategie oder von KI-Leitlinien (Tobor 2024). Zudem werden Weiterbildungsangebote für Hochschullehrende im Bereich KI benötigt, um KI in die Lehre bringen zu können.

Good Practice „KI-Campus“

Der KI-Campus ist eine digitale Lernplattform für KI, deren Aufbau vom BMBF in Deutschland gefördert wurde. Die Plattform bietet kostenlose Online-Kurse, Videos, Podcasts

und weitere Lernressourcen rund um KI-Themen, insbesondere für Studierende, aber auch für Berufstätige und Interessierte, die ihr Wissen in diesem Bereich erweitern möchten. Zahlreiche Angebote des KI-Campus sind so gestaltet, dass Lehrende an Hochschulen diese unkompliziert in bestehende Lehrveranstaltungen integrieren können. Dabei können die durchgängig offen lizenzierten Bildungsressourcen (OER) des KI-Campus direkt auf Lernplattformen wie Moodle eingebunden werden oder eigene Lehrkonzepte aufbauend auf den KI-Campus-Modulen entwickelt werden.

<https://ki-campus.org/>

4.3 Fazit

Zusammenfassend ist es für die Ingenieurausbildung an den Hochschulen wichtig:

1. Einen ganzheitlichen Ansatz zu verfolgen und das **interdisziplinäre Lehren und Lernen** zu fördern. Neben fundiertem technischem Wissen sind Soft Skills, transformative Kompetenzen und die Fähigkeit zur Zusammenarbeit über Fachgrenzen hinweg essenziell. Entsprechend sollte Kompetenzorientierung in Lehr- und Prüfungsformaten mehr Gewicht bekommen.
2. Innovative Lehrmethoden wie Problem-Based Learning und Challenge-Based Learning zu stärken und Theorie mit der Praxis zu verknüpfen. **Kooperationen mit Unternehmen und praxisnahe Projekte** bereiten Studierende gezielt auf die Anforderungen des Berufslebens vor.

3. **Technologiebasiertes Lernen zu implementieren.** Digitale Lernformate, KI-gestütztes Lernen, Augmented Reality und virtuelle Labore ermöglichen Anwendungsorientierung und fördern kreative Problemlösungskompetenzen. Grundlegende KI-Kenntnisse sollten verpflichtender Bestandteil aller Studiengänge sein.
4. Unterschiedliche Bildungsbiografien und Lebenssituationen zu berücksichtigen, um individuelle Lernpfade zu ermöglichen. **Microcredentials und akkumulierbare Zertifikate verbessern Möglichkeiten der akademischen Weiterbildung sowie die Durchlässigkeit zwischen akademischer und beruflicher Bildung.** Studiengänge sollten Studierenden Wahlmöglichkeiten und Spezialisierungen bieten.
5. Das Ingenieurstudium attraktiver zu gestalten und die Betreuung zu verbessern, um **mehr Studienanfängerinnen und -anfänger anzuziehen und Abbruchquoten zu reduzieren.** Dabei sollten Frauen als Zielgruppe besser in den Blick genommen und durch geeignete Angebote angesprochen werden. Für Menschen mit Migrationshintergrund und für bildungsbenachteiligte Zielgruppen sollten gezielt Unterstützungsangebote gemacht werden. Dazu müssen auch politische Rahmenbedingungen so gesetzt werden, dass eine gute Betreuungsrelation erzielt werden kann. Zudem sollten die Interessen junger Menschen bei der Gestaltung von Studiengängen berücksichtigt werden.

Nur durch eine umfassende Transformation der Ingenieurausbildung kann sichergestellt werden, dass Absolventinnen und Absolventen optimal auf Herausforderungen der zukünftigen Arbeitswelt in der Industrie 5.0 vorbereitet sind.

5 Weiterbildung und lebenslanges Lernen

5.1 Zukunftsbild des lebenslangen Lernens und der Weiterbildung im Ingenieurbereich

Das Zukunftsbild von lebenslangem Lernen und Weiterbildung im Ingenieurbereich schließt an das Zukunftsbild der Arbeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren (vgl. Abschnitt 2.1) an.

Aus beschleunigten Transformationsprozessen und sich entsprechend verändernden Arbeitsanforderungen ergeben sich für Beschäftigte zwei Herausforderungen in Bezug auf ihre Kompetenzentwicklung: Zum einen müssen sie sowohl in Forschung und Entwicklung als auch in der industriellen Praxis immer wieder neues, spezialisiertes Fachwissen, z. B. im Hinblick auf Einsatz von neuen Technologien, erwerben und anwenden. Hierfür wird auch der Begriff Re-Skilling verwendet. Zum anderen müssen sie sich auf neue Arbeitsformen, Geschäftsmodelle und Lösungsansätze einstellen können und diese auch selbst mit entwickeln, das heißt, sie müssen in der Lage sein, Veränderungsprozesse aktiv zu gestalten und lösungsorientiert, kreativ, flexibel und interdisziplinär zusammenzuarbeiten (World Economic Forum 2025). Der Diskurs um Future Skills betrifft folglich auch Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer.



Um ein lebenslanges Lernen zu ermöglichen, benötigen Unternehmen in der Zukunft lernfreundliche und kollaborationsorientierte Arbeitsumgebungen, das heißt Rahmenbedingungen, die es ermöglichen, Lernen und Arbeiten zu verbinden. Dafür sollten Freiräume zum gezielten Wissens- und Kompetenzaufbau sowie Organisationsformen gegeben sein, die Netzwerkbildung, Selbstorganisation und Peer-Learning

ebenso wie eine Kultur zum offenen Umgang mit Fehlern im Unternehmen unterstützen. Entsprechend werden sich Unternehmen in Zukunft verstärkt darauf ausrichten, Kompetenzen als „Shared Expertise“ in Abteilungs- und Projektteams zu bündeln. Dadurch kann Wissen kollaborativ eingebracht werden, während sich die Kompetenzen verschiedener Disziplinen optimal ergänzen und ein gegenseitiger Lernprozess innerhalb der Teams möglich wird (Ehlers 2020). Dabei werden zwei Bereiche von Kompetenzentwicklung im Blick behalten, die beide relevant für den Ingenieurberuf sind: Entwicklung fachlicher, insbesondere technischer Kompetenzen und Entwicklung von Schlüssel- bzw. Zukunftskompetenzen.

Um dem Fachkräftemangel zu begegnen, ist Durchlässigkeit zwischen beruflicher Praxis und formaler Bildung ein wichtiger Aspekt des Zukunftsbilds für lebenslanges Lernen. Alle Akteure im Bereich der Ingenieurbildung – Hochschulen als Akteure der Ingenieur-ausbildung und akademischen Weiterbildung, Anbieter betrieblicher und beruflicher Weiterbildung sowie die Unternehmensbereiche, die mit Personalrekrutierung und -entwicklung befasst sind, sollten daher in der Zukunft Verfahren und Strukturen etablieren, die Kompetenzorientierung neben Abschlussorientierung (u. a. Ehlers 2020; González-Pérez, Ramírez-Montoya 2022) eine Bedeutung beimessen, Durchlässigkeit zwischen beruflicher Praxis und formaler Bildung ermöglichen und flexible Lern- und Karrierewege erlauben.

Das heißt, dass Hochschulen in der Zukunft stärker darauf eingestellt sein sollten, als Anbieter akademischer Weiterbildung akkumulierbare Zertifikate (auf Bachelor-Niveau als Certificates of Basic Studies und auf Master-Niveau als Diplomas of Basic Studies) zu ermöglichen (z. B. Fernuniversität Hagen), die von berufstätigen Studierenden je nach Bedarf absolviert und kombiniert werden können. Sie sollten weiter Strukturen etablieren, die es ermöglichen, beruflich erworbene Kompetenzen auf Ingenieurstudiengänge anzurechnen und Microcredentials als Format zu nutzen, um gezielten Wissensaufbau im Sinne von Spezialisierung im Studium oder in der anlassbezogenen Weiter-

bildung zu ermöglichen und nach außen hin zu dokumentieren (Rentzsch 2023). In diesem Zusammenhang ist es wichtig, den Fokus nicht nur auf Deutschland zu legen, sondern auch auf EU- bzw. transnationale Programme, um Microcredentials in strategischen technischen Themenfeldern zu stärken (Europäische Kommission 2025).

Für Unternehmen ergibt sich daraus, dass statt – oder zusätzlich zu – Abschlusszeugnissen Kompetenznachweise (z. B. in Form von Portfolios oder digital gestützten Kompetenzfeststellungsverfahren) bei der Personalauswahl und -entwicklung in den Vordergrund treten können. So können z. B. auch Fachkräfte aus dem Ausland, die zwar fachlich gut qualifiziert sind, aber keinen in Deutschland anerkannten Abschluss nachweisen können, eingestellt werden, und es besteht ein guter Überblick darüber, welche Kompetenzen im Arbeitsleben entwickelt wurden und wo gegebenenfalls gezielt weitere aufgebaut werden sollten.

Insgesamt wird die Zukunft der Weiterbildung und des lebenslangen Lernens durch eine viel stärkere Verbreitung digitaler Tools und insbesondere von generativer KI geprägt sein und technologiebasiertes Lernen eine viel größere Rolle spielen als heute. Digitale Angebote wie MOOCs, Videotutorials, Lernapps, Plattformen für kollaboratives Lernen oder digital verfügbare Open Educational Resources (OER) haben Lehren und Lernen bereits verändert und werden auch in der Zukunft das lebenslange Lernen entscheiden prägen.

Der Einsatz von generativer KI bietet darüber hinaus grundlegend neue Möglichkeiten für das Lernen und Lehren, indem KI zur Analyse und Erfassung von Kompetenzen, zur Generierung von Lerninhalten und Lernpfaden oder zur gezielten Auswahl von an den individuellen Bedarfen orientierten Lernangeboten genutzt werden kann, wie folgende Nutzungsszenarien, die bisher eher prototypisch erprobt und in einzelnen innovativen Projekten bereits genutzt werden, verdeutlichen (Hübsch et. al. 2024, S. 20):

KI-basierte Kompetenzerfassungs- und Empfehlungssysteme werden eingesetzt, um individuelle Kompetenzen und Berufsbilder bzw. die damit verbundenen Kompetenzanforderungen abzugleichen und auf dieser Basis passgenaue

Bildungswege vorzuschlagen und anzubieten. Sprachmodelle werden dabei genutzt, um auf Basis individueller Qualifikationen, Kompetenzen, beruflicher Ziele sowie Lernpräferenzen individuell passende Bildungsangebote zu identifizieren (ebd. S. 28).

Aus den auf Bildungsplattformen verfügbaren Kursbeschreibungen können mit KI-Unterstützung Metadaten generiert werden. Dabei entstehen standardisierte Beschreibungen der Kompetenzen entlang einheitlicher Taxonomien. Durch Interoperabilität der Metadatenformate und Vernetzung von Weiterbildungsplattformen wird eine gezielte, plattformübergreifende Suche und Auffindbarkeit von Weiterbildungsangeboten in der Zukunft ermöglicht, was die Transparenz auf dem bisher oft sehr heterogenen und unüberschaubaren Weiterbildungsmarkt deutlich verbessert.

Lehrende und auch Lernende erhalten durch die Nutzung von Sprachmodellen sehr viel einfacher Zugang zu Expertenwissen. Sehr komplexe Themen und aktuelle Erkenntnisse aus der Forschung werden mit wenig Aufwand gut verständlich aufbereitet, dabei wird Wissen aus verschiedenen Fachgebieten zusammengeführt, wodurch ein umfassendes und vernetztes Verständnis beim Lernenden ermöglicht wird. Gerade für Berufstätige ist dies eine gute Option, sich gezielt über aktuelle technologische Entwicklungen und Themen zu informieren, sehr spezifisches Wissen anzureichern oder ein interdisziplinäres Verständnis zu entwickeln. In diesem Zusammenhang ist ein Verständnis über die Funktionsweise von Sprachmodellen und der kritische Umgang damit eine zunehmend wichtige Kompetenz, z. B., um zu verstehen, welche Risiken bei deren Nutzung bestehen, wie diese minimiert werden können und wie sie, z. B. durch geeignete Prompts, sinnvoll und gezielt genutzt werden können (ebd. S.20).

Mithilfe von Sprachmodellen können auch Trainings zum Einüben von Softs Skills unkompliziert bereitgestellt werden. So können z. B. Konfliktgespräche für Führungskräfte oder Kundengespräche für Vertriebsmitarbeitende simuliert und geübt werden. Dabei ist eine Anpassung der Lernsituation an den jeweiligen Lernfortschritt möglich, sodass sich Lernende mit immer komplexeren Szenarien auseinandersetzen kön-

nen. Für internationale Arbeitskontexte und zum Spracherwerb können die Simulationen auch einfach in unterschiedliche Sprachen übersetzt werden (ebd. S. 22). In Verbindung mit Virtual Reality könnten Sprachmodelle immersive Erfahrungswelten erschaffen, die das Einüben von Handlungsabläufen ermöglichen.

5.2 Herausforderungen und Ansatzpunkte für die Erreichung dieses Zukunftsbilds

Die Verwirklichung einer zukunftsorientierten Weiterbildung und einer Kultur des lebenslangen Lernens ist mit verschiedenen Herausforderungen verbunden. Bürokratische Faktoren, der Weiterbildungsmarkt sowie die exponentielle technologische Transformation erschweren die Umsetzung der zuvor skizzierten Ansätze. Um diese Hemmnisse zu überwinden, bedarf es gezielter Maßnahmen und innovativer Lösungsansätze, die eine nachhaltige Entwicklung des Weiterbildungssystems ermöglichen. Im Folgenden werden zentrale Herausforderungen und mögliche Wege zur Erreichung dieses Zukunftsbilds beleuchtet.

5.2.1 Herausforderung: Fehlende Transparenz und Orientierung auf dem Weiterbildungsmarkt

In der Nationalen Weiterbildungsstrategie der Bundesregierung (2022, S.8) wird festgestellt: „Hürden für mehr Weiterbildungsengagement – insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen genauso wie von weiterbildungsinteressierten Personen – sind (...) mangelnde Transparenz, aber gerade auch fehlende Zeit und finanzielle Möglichkeiten für die Organisation und Planung von Weiterbildung.“

Die mangelnde Transparenz ist u. a. darin begründet, dass der Weiterbildungsmarkt in Deutschland sehr heterogen ist. Für die berufliche und betriebliche Weiterbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren kommen Angebote der akademischen Weiterbildung von Hochschulen und Angebote privatwirtschaftlicher Weiterbildungsanbieter ebenso wie öffentlich geförderte Weiterbildungsmaßnahmen infrage. Zudem gibt es inzwischen einige internationale digitale Weiterbildungsplattformen wie Udacity, Coursera, Udemy, edX. Oft fällt es aber schwer,

sich über das Spektrum der Angebote, die genauen Inhalte, die Lernvoraussetzungen, die Qualität und gegebenenfalls die Fördermöglichkeiten einen Überblick zu verschaffen.

Für Unternehmen – und insbesondere für KMU (die in Deutschland dominieren) – kommt hinzu, dass die aktuell beschleunigten und umfassenden gesellschaftlichen, ökologischen, ökonomischen und technologischen Transformationsprozesse zu sich sehr schnell verändernden Arbeitsprozessen und Aufgaben führen. Oft ist dabei für Führungskräfte im Unternehmen schwer im Vorfeld bestimmbar, welche neuen Kompetenzen eine Ingenieurin oder ein Ingenieur in einem Unternehmen zukünftig braucht und welche gegebenenfalls in Zukunft automatisiert übernommen werden können.

Ansatzpunkt: Transparenz- und Orientierungsangebote stärken

Ein Ansatzpunkt ist die Stärkung von Informations- und Orientierungsangeboten. Ein strukturierter Zugang zu Informationen über Weiterbildungsangebote, Möglichkeiten der finanziellen Förderung sowie Beratungsangeboten hilft Unternehmen und Weiterbildungsinteressierten, gezielt passende Angebote zu identifizieren und den Zugang zu erleichtern.

Good Practice „Weiterbildungsplattform mein NOW“

Die Bundesagentur für Arbeit hat im Januar 2024 die Weiterbildungsplattform „mein NOW“ gelauncht. Die Plattform versteht sich als nationales Onlineportal für berufliche Weiterbildung und bietet Weiterbildungsinteressierten und Unternehmen die Möglichkeit zu Beratung, Online-Assessments und zur gezielten, bundesweiten Suche von Weiterbildungsangeboten in unterschiedlichen Branchen. Dabei ist das Portal mit anderen Weiterbildungsplattformen verknüpft, z. B. mit hoch+weit, dem Informationsportal der Hochschulrektorenkonferenz (HRK), in dem staatliche und staatlich anerkannte deutsche Hochschulen ihre Weiterbildungsangebote darstellen, und mit verschiedenen Portalen auf der Ebene der Bundesländer.

<https://mein-now.de/>

Dabei entwickelt sich aktuell das Angebot an digital gestützten, teils KI-basierten Verfahren zur Kompetenz- oder Bedarfserfassung und zu Empfehlungssystemen sehr schnell weiter. Dies kann Weiterbildungs-interessierten und Unternehmen bei der Identifikation von Weiterbildungsbedarfen und der Auswahl passender Angebote helfen. Hier entstehen sowohl Angebote kommerzieller Dienstleister also auch öffentlich geförderte, kostenfrei nutzbare Angebote. Allerdings unterscheidet sich hier sehr, was die einzelnen Angebote leisten, welche Zielgruppen sie adressieren und welche Qualität sie haben. Insofern wird sich auch auf dieser Ebene der Bedarf nach Übersicht und Transparenz ergeben, z. B., indem Empfehlungssysteme übersichtlich nach ihrer Ausrichtung und ihren Möglichkeiten vorgestellt werden.

Eine Zusammenstellung innovativer Angebote findet sich z. B. als Ergebnis des Innovationswettbewerbs INVITE, der vom BMBF gefördert wird.

Good Practice „Innovationswettbewerb INVITE“

Mit dem Innovationswettbewerb INVITE fördert das BMBF bildungstechnologische Innovationen, die die Suche nach passfähigen Weiterbildungsangeboten erleichtern, die Nutzerorientierung von Weiterbildungsplattformen stärken und das Angebot KI-unterstützter Weiterbildungsangebote vergrößern. Auf der Webseite kann sich über die geförderten Projekte informiert und die von ihnen entwickelten Prototypen erkundet werden. Auf diese Weise wird das Spektrum der Möglichkeiten für zukünftige digitale Unterstützungsangebote zur Orientierung im Weiterbildungsbereich gut sichtbar. Die in Abschnitt 4.1. beschriebenen Anwendungsfelder von KI für die Unterstützung von Lernprozessen werden damit gut veranschaulicht.

<https://www.invite-tool-check.de/html/de/Prototypen.php>

5.2.2 Herausforderung: Freiräume für Weiterbildung fehlen und bedarfsgerechte Weiterbildungsangebote sind nicht verfügbar

Oft ist es für Unternehmen und Beschäftigte eine Herausforderung, Freiräume für Weiterbildung zu schaffen, wenn einerseits Termindruck im betrieblich Arbeitsalltag besteht und gleichzeitig Mitarbeitende Familie und Beruf miteinander vereinbaren müssen. Außerdem ergeben sich oft sehr spezifische Qualifikationsbedarfe, beispielsweise um sich auf einen neuen Geschäftsprozess, eine neue Führungsaufgabe oder eine Innovation im Unternehmen auszurichten. Ein umfassend konzipiertes Weiterbildungsprogramm „von der Stange“ trifft hier oft nur teilweise den Bedarf und kostet viel Zeit.

Ansatzpunkte: Individualisierte Angebote

Insgesamt kommt es darauf an, möglichst flexible und bedarfsgerechte Weiterbildungsangebote – im Kontrast zu starren Qualifizierungsangeboten – aufzusetzen, die anwendungsorientiert und auf Zukunftskompetenzen ausgerichtet sind. Bewährt haben sich hochschulische Weiterbildungskonzepte, die es ermöglichen, unterschiedliche Formate flexibel und modular zu kombinieren, sodass Berufstätige je nach Bedarf und zu verschiedenen Zeiten Weiterbildungsbausteine absolvieren können, die sich aber auch zu einem Zertifikat oder sogar einem Studienabschluss aggregieren lassen. Zunehmend verbreitet sind dabei Microcredential-Formate, die Lerninhalte orientiert am beruflichen Alltag und damit nahe an der Lebenswelt der Beschäftigten anbieten und gleichzeitig einen Nachweis des Gelernten ermöglichen. Damit besteht die Möglichkeit, an kleinen, auf spezifische Bedarfe zugeschnittenen Lerneinheiten teilzunehmen und die erworbenen Kompetenzen zertifizieren zu lassen.

Good Practice „School of Advanced Professional Studies (SAPS)“

Die School of Advanced Professional Studies (SAPS) ist ein gemeinsames Angebot der TH Ulm und der Universität Ulm. Die SAPS bietet Lernformate unterschiedlicher Niveaus und unterschiedlichen Umfangs, die alle mit ECTS-Punkten unterlegt sind (von Microcre-

dentials (1–2 ECTS) und Microcredential-Reihen (10 ECTS) über Zertifikatskurse (3–9 ECTS) bis hin zu Certificates of Advanced Studies (ab 10 ECTS) und Diplomas of Advanced Studies (ab 30 ECTS). So können Lerneinheiten modular und bedarfsgerecht kombiniert werden.

<https://wissenschaftliche-weiterbildung.org/>

Good Practice „Engineers 4 Europe Learning Platform“

Die Engineers4Europe Learning Platform bietet speziell für Ingenieurinnen und Ingenieure entwickelte Online-Kurse zu unternehmerischen, digitalen und nachhaltigen Fähigkeiten. Ziel ist es, Arbeitnehmende im Ingenieurbereich fit für zukünftige Herausforderungen zu machen. Die Inhalte wurden unter Beteiligung des VDI und mit führenden Universitäten erstellt und von Erasmus+ gefördert.

<https://engineers4europe.eu/engineers4europe-learning-platform>

Ansatzpunkt: Anwendungsorientiertes Lernen ermöglichen

Berufsbegleitende Weiterbildungsangebote, die learning on the job bzw. Problem- oder Challenge-Based Learning integrieren, sind eine Möglichkeit, gezielt an den konkreten Problemen des Unternehmens zu arbeiten und zugleich den Kompetenzerwerb zu ermöglichen. Idealerweise sollten Unternehmen dafür Strukturen schaffen, die Kollaboration, Selbstorganisation und Peer-Learning ermöglichen. Fragen einer lern- und fehlerfreundlichen Gestaltung von Arbeitsprozessen und Organisationsstrukturen sind also eng mit der Frage nach lebenslangem Lernen und Kompetenzentwicklung verbunden, stehen hier aber nicht im Fokus.

Anwendungsorientiertes Lernen bzw. Problem-Based Learning spielt für die Transformation der Ingenieurausbildung eine wesentliche Rolle (vgl. Abschnitt 4).

Ein möglicher Weg ist die Einbindung von Studierenden zur Bearbeitung betrieblicher Problemstellungen. Studierende entwickeln dabei in Zusammenarbeit mit Unternehmen Lösungen

für reale betriebliche Herausforderungen. Solche curricular verankerten betrieblichen Realprojekte ermöglichen beiden Seiten, also auch den Unternehmen, ein praxisnahes Lernen. So kann der Einsatz von Studierenden in Projekten neue Impulse bieten und Chancen für das lebenslange Lernen im Unternehmen eröffnen. Dafür müssen die Unternehmen Freiräume schaffen und Offenheit für Studierende zeigen. Denkbar wären auch gemeinsame Netzwerke von Hochschulen und Unternehmen, in denen Studierende an Projekten für verschiedene Firmen arbeiten. Wichtig ist, den Betreuungsaufwand für KMU gering zu halten. Oft sind projektbezogene Lehrveranstaltungen mit punktuellen Unternehmensbesuchen praktikabler als klassische Praktika.

Good Practice „Digital Learning Campus“

Ein Ansatz, der verschiedene für die zukünftige Arbeitswelt und Weiterbildung relevante Aspekte zu integrieren versucht, ist der Digital Learning Campus (DLC). Dafür werden an unterschiedlichen Standorten in Schleswig-Holstein Lernorte angebaut, an denen in Präsenz und digital Lernen und Kollaboration mit digitalen Technologien ermöglicht wird. Die DLC-Lernorte sind offen für alle Bürgerinnen und Bürger und bieten ihnen Zugang zu Zukunftstechnologien – von KI über Robotik, VR und AR, Avatar-Entwicklung, Film- und Videoproduktion bis hin zum Programmieren. Um Wissenstransfer und Vernetzung zu ermöglichen, wirken an den Lernorten verschiedene Akteure zusammen: Hochschulen arbeiten mit weiteren Partnern aus der Zivilgesellschaft (wie etwa Stiftungen, Verbänden und Vereinen), kommunal getragenen Bildungseinrichtungen (z. B. Volkshochschulen, Museen, Bibliotheken), aus dem Bereich der Berufsbildung (Berufsbildungszentren, berufsbildende Schulen) sowie Unternehmen zusammen. So sollen neuartige Kooperationen zwischen unterschiedlichen Akteuren und Nutzergruppen und offen zugängliche innovative Bildungsmöglichkeiten entstehen. Anwendungsorientiertes Lernen und die Arbeit an konkreten Projekten sollen das Interesse an Zukunftstechnologien und den Aufbau von Future Skills fördern.

<https://dlc.sh/>

Ansatzpunkt: Weiterbildung gezielt stärken

Neben der Gewinnung zusätzlicher Fachkräfte darf auch die Qualifizierung bestehender Fachkräfte nicht vernachlässigt werden, um Kenntnisse im Umgang mit neuesten Technologien und einer digitalisierten Arbeitswelt bei Beschäftigten aktuell zu halten. Daher werden umfassende Re-Skilling-Programme benötigt, um Unternehmen bei der Qualifizierung ihrer vorhandenen Fachkräfte zu unterstützen.

Lösungsansätze wurden auf EU-Ebene bereits entwickelt: So gibt es inzwischen mehrere Initiativen, um digitale und technologische Kompetenzen zu stärken. Dazu gehören etwa die European Digital Academy (EDA), die von der EU finanziert grundlegendes Wissen über aufkommende Technologien für Bürgerinnen und Bürger sowie für Unternehmen zugänglich machen soll. Die kürzlich gelaunchte EIT Digital (d)Academy soll wiederum als digitale Kompetenzplattform helfen, den Fachkräftemangel in Europa zu beseitigen. Sie bietet nicht nur modulare, branchenorientierte Kurse in Bereichen wie Cybersicherheit oder Datenanalyse, sondern setzt zudem einen KI-basierten Algorithmus für ein kompetenzbasiertes Job-Matching ein.

Im STEM Education Strategic Plan der Europäischen Kommission (2025) wird anerkannt, dass sich verschiedene EU-Initiativen bereits mit den bestehenden Qualifikationszielen im MINT-Bereich befassen, aber es wird gefordert, deren Umsetzung zu verstärken und zu straffen. Dazu sollen auf EU-Ebene grundlegende Maßnahmen ergriffen werden, die bildungsbereichsübergreifend angelegt sind, beispielsweise um strategische Ziele zu definieren und Qualifikationsbedarfe zu erheben. Für den Bereich der Weiterbildung wird gefordert, Unternehmens- und gesellschaftliche Bedarfe in Berufs- und Hochschulbildung stärker zu berücksichtigen, indem transnationale Programme und Kurse, die mit Microcredentials zertifiziert werden, angeboten werden. Weiter sollen in sogenannten Skills Academies Up- und Re-Skilling umgesetzt und Plattformen für digitales immersives Lernen und Training genutzt werden, um innovative Möglichkeiten für lebenslanges Lernen zu schaffen. Somit sind nationale Re-Skilling-Programme auch eine Forderung der europäischen Bildungspolitik.

5.2.3 Herausforderung: Gewinnung von Fachkräften

Die Gewinnung von Fachkräften wird für die Unternehmen der Zukunft eine zunehmend größere Herausforderung. Unternehmen müssen Mitarbeitende auf einem immer enger werdenden Fachkräftemarkt rekrutieren und ihnen gute Arbeits- und Entwicklungsmöglichkeiten anbieten, um sie auch zu halten. Unternehmen sind somit mehr denn je gefordert, Fachkräfte zielgruppenspezifisch anzusprechen, Hürden beim Einstieg zu minimieren und sich als attraktiver Arbeitgeber zu präsentieren.

Bei der Fachkräftegewinnung müssen Unternehmen daher auch den internationalen Fachkräftemarkt in den Blick nehmen. Die Einstellung von ausländischen Fachkräften ist für viele Firmen noch kein gängiger Weg und es bestehen organisatorische, sprachliche und kulturelle Hürden sowie Unsicherheit über die Bewertung der im Ausland erworbenen Qualifikationen.



Gleichzeitig müssen Unternehmen ihrerseits Konzepte entwickeln, um Mitarbeitende oder Bewerberinnen und Bewerber, die nicht alle Voraussetzungen für eine Position erfüllen, gezielt fördern zu können, beispielsweise durch berufsbegleitende Weiterbildungsangebote.

Ansatzpunkt: Durchlässigkeit von Bildungs- und Karrierewegen stärken

Die Flexibilisierung von Bildungs- und Karrierewegen und eine Stärkung der Kompetenzorientierung wurde bereits als weiterer Ansatzpunkt der Fachkräftesicherung angesprochen. Eine wichtige Zielgruppe sind dabei Personen, die aus ihrer bisherigen Bildungs- und Berufsbiografie umfangreiche Kompetenzen mitbringen, ohne allerdings über einen entsprechenden an-

erkannten Abschluss zu verfügen – sei es aufgrund von Migration oder unterbrochenen Bildungswegen. Durch gezielte Weiterqualifizierung, die auf ihren vorhandenen Kenntnissen aufbaut, soll ihnen der Weg in eine Fachkrafttätigkeit ermöglicht werden.

Die Verbesserung von Verfahren zur Anerkennung beruflich und auch außerberuflich erworbener Kompetenzen für ein Hochschulstudium ist hier ein wichtiger Ansatzpunkt. Dies bietet die Möglichkeiten, auf bestehendes Wissen aufzubauen und somit zügig und effizient einen Studienabschluss zu erreichen.

Good Practice „Anrechnungsverfahren an der Frankfurt University of Applied Science (UAS)“

An der Frankfurt UAS besteht die Möglichkeit, einen Antrag auf individuelle Anrechnung außerhochschulisch erworbener Kompetenzen zu stellen. Die einzelnen Schritte der Verfahren zur Anrechnung sind an der Frankfurt UAS im sogenannten AAEK-Verfahren (AAEK steht für Anrechnung Außerhochschulisch Erworbener Kompetenzen) beschrieben. Bei der Erstellung des Portfolios erfolgt zuerst eine Beschreibung der Kompetenzen und Kenntnisse, die angerechnet werden sollen, anschließend eine Reflexion dieser Kompetenzen in Form einer vergleichenden Gegenüberstellung mit den Lernergebnissen der Modulbeschreibungen sowie ein Nachweis der Kompetenzen in Form von Präsentationen, Publikationen, Tätigkeitsdarstellungen, Stellenbeschreibungen, Beurteilungen, Zielvereinbarungen, „Arbeitsproben“, Zertifikaten und Teilnahmebescheinigungen usw. im Sinne einer Sammlung authentischer Belege und persönlicher Reflexionen bzw. Erläuterungen, die das Bestehen bestimmter Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen dokumentieren.

<https://www.frankfurt-university.de/de/studium/bewerbung-und-einschreibung/anrechnungsverfahren/>

Ansatzpunkt: Kontakt zu Studierenden aufbauen

Die in Abschnitt 4 skizzierten Ansätze, nach denen Hochschulen in ihren Studiengängen Projekte in Unternehmen einbinden, bieten Unternehmen auch die Möglichkeit, Studierende und damit potenzielle Absolventinnen und Absolventen kennenzulernen und sich ihnen als Unternehmen vorzustellen. Insofern ergibt sich für beide Seiten ein Nutzen: Studierende können an echten Problemen arbeiten und ein Unternehmen „von innen“ kennenlernen, Unternehmen erhalten durch die Zusammenarbeit mit den Studierenden Lösungen für konkrete Probleme und lernen in der Zusammenarbeit selbst auch dazu. Außerdem können sie gezielt Kontakte zu Studierenden aufbauen und sich diesen als potenzieller Arbeitgeber präsentieren.

Ansatzpunkt: Unterstützung bei der Gewinnung und Integration ausländischer Absolventinnen und Absolventen und Fachkräfte

Es gibt zahlreiche öffentliche Förderangebote zur Integration und Sprachförderung für Menschen aus dem Ausland. Um es Unternehmen leichter zu machen, sich auf den Weg zu begeben, internationale Fachkräfte einzustellen, wäre eine staatliche Förderung wünschenswert, die es ermöglicht, diese Mitarbeitenden für die Zeit des Spracherwerbs freizustellen. Zudem wäre denkbar, hochschulische Angebote aufzubauen, die internationale Studierende bzw. Hochschulabsolventinnen und -absolventen internationaler Studiengänge bei ihrem Übergang ins Berufsleben in Deutschland unterstützen.

Good Practice „VDI-Xpand“

Kern des Projekts VDI-Xpand, Building Bridges for Migrant Engineers, das von den VDI Bezirksvereinen Aachen, Bochum, Köln, Münsterland und Ostwestfalen-Lippe pilothaft durchgeführt wird, ist ein Mentoring-Programm für zugewanderte Ingenieurinnen und Ingenieure und für internationale Studierende in höheren Semestern. Mentorinnen und Mentoren sollen Kontakte vermitteln und ihr Wissen über den deutschen Arbeitsmarkt zur Verfügung stellen. Auf diese Weise soll ein

Berufseinstieg in Deutschland für die Zielgruppe erleichtert werden.

<https://www.vdi.de/netzwerke-aktivitaeten/vdi-xpand>

5.3 Fazit

Zusammenfassend ist es für das lebenslange Lernen im Ingenieurbereich wichtig:

1. Transparenz zu schaffen über für den Ingenieurbereich relevante **Informations- und Weiterbildungsplattformen sowie Empfehlungssysteme**, sodass sich verschiedene Zielgruppen (Weiterbildungsinteressierte und KMU) gut zurechtfinden können.
2. Im Bereich der Rekrutierung und Qualifizierung von Fachkräften die **Kompetenzorientierung gegenüber einer bisher starken Abschlussorientierung zu stärken**, um eine

größere Durchlässigkeit und Flexibilität von Bildungs- und Karrierewegen zu erreichen. Dazu gehört z. B. die **Anerkennung beruflich erworbener Kompetenzen** zu stärken, flexible Bildungsformate auszubauen, die bedarfsgerechte Weiterbildung ermöglichen und modular kombinierbar sowie zertifizierbar sind.

3. Um auch internationale Fachkräfte und Hochschulabsolventinnen und -absolventen zu gewinnen bzw. zu halten, sollten **Unterstützungsangebote für KMU zur Integration dieser Zielgruppen** ausgebaut werden und Hochschulen sollten die Integration ihrer international Studierenden fokussieren und geeignete Angebote machen.

Darüber hinaus bleibt nach wie vor das Ziel bestehen, gezielt **Frauen in Führungspositionen bringen** und dies auch sichtbar zu machen, so dass es positive Rollenvorbilder für Mädchen und junge Frauen gibt.

6 Handlungsempfehlungen

Entlang der skizzierten Herausforderungen, Ansatzpunkte und guten Beispiele, die über die verschiedenen Bildungsbereiche hinweg skizziert wurden, lassen sich übergreifend einige Kernthemen herausarbeiten, auf die im Folgenden im Sinne von Handlungsbedarfen noch einmal eingegangen wird. Sie dienen der Mobilisierung der verschiedenen an Bildungsprozessen beteiligten Akteure und bieten nicht zuletzt dem VDI mit seiner Vision einer „Zukunft Deutschland 2050“ einen Rahmen zur Weiterentwicklung von Themen im Bereich der Qualifikation für morgen.

Interesse für technische Themen wecken und technische Bildung stärken

Damit technische Themen von Beginn an Breitenwirkung erreichen – genauso wie die Fächer Sport und Musik – müssen für alle Lernenden über die gesamte Bildungskette hinweg jeweils geeignete Lernangebote gemacht werden, so dass Interesse an Technik geweckt und gefördert werden kann. Bildungsakteure müssen dafür von Beginn an motivierende Lernerfahrungen schaffen, in denen Technik als Lösung alltagsbezogener Probleme altersgerecht thematisiert wird und eine Kultur des Ausprobierens und Experimentierens ohne Angst vor Fehlern herrscht. Dafür müssen

- didaktische Ansätze zur Vermittlung von MINT-Themen in eine verpflichtende Aus- und Weiterbildung von pädagogischem Personal integriert werden,
- Akteure der frühkindlichen, schulischen und außerschulischen Bildung intensiv zusammenarbeiten. Das Konzept der „Offenen Ganztagschule“ kann hierfür einen guten Rahmen bilden.

Aktivitäten zur Gewinnung und Unterstützung von ingenieurwissenschaftlichem Nachwuchs ausweiten

Im Bereich der Gewinnung und Unterstützung von ingenieurwissenschaftlichem Nachwuchs sollten bisher wenig vertretene Zielgruppen verstärkt adressiert werden. Diesen Zielgruppen sollten Angebote gemacht werden, die nicht nur

Interesse und Motivation stärken, sondern zugleich Unterstützungsmöglichkeiten für das Studium und den Berufseinstieg im Ingenieurbereich bieten. Daher sollten folgende Angebote weiter ausgeweitet und öffentlich gefördert werden:

- Mentoring-Programme, Netzwerkarbeit oder Formate zur Vorstellung von Role Models für angehende bzw. junge Ingenieurinnen,
- Unterstützungsangebote zum Berufseinstieg für internationale Studierende oder Fachkräfte aus dem Ausland und
- Zielgruppenspezifische Angebote im Bereich von MINT-spezifischer Studien-, Berufsberatung, Karriereberatung.

Stärkung digitaler und technischer Kompetenzen

Mit Blick auf aktuelle technische Entwicklungen wie Data Analytics und KI sollten folgende Punkte zur Stärkung digitaler und technischer Kompetenzen auf hochschulpolitischer Ebene berücksichtigt werden:

- Informatik und Technik sollen jeweils als eigenes Fach in Bildungs- und Lehrpläne aufgenommen werden oder als interdisziplinär zu verstehendes und praxisorientiertes Fach in einer Kombination aus Technik und Informatik Einzug erhalten,
- die Stärkung von Mathematik-Kompetenzen – als Basis für das Verständnis von komplexen Datenmodellen – muss mehr in den Fokus genommen werden, z. B. durch einen Preis für innovative didaktische Konzepte für Schulen und Hochschulen zur Verbreitung von innovativen, anwendungsorientierten und individualisierten Lernangeboten.
- Die (Weiter-)Entwicklung von KI-Kompetenzen muss auf allen Ebenen des Bildungssystems gefördert werden. Dazu bedarf es der Integration KI-bezogener Lerninhalte in den schulischen Unterricht, die Curricula von Studiengängen sowie in Fortbildungsangebote für pädagogisches bzw. Lehrpersonal in

Kitas, Schulen, Hochschulen und in der Weiterbildung, um auf allen Ebenen ein umfassendes Verständnis über KI-Technologien, ihren Anwendungsgebieten sowie ihren ethischen und gesellschaftlichen Risiken zu entwickeln.

Lehr- und Lernprozesse mit digitalen Technologien unterstützen

Lernen *über* Technik sollte in einer digitalen Gesellschaft mit dem Lernen *mittels* Technik bzw. Technologie einhergehen. Dafür müssen

- Bildungsorganisationen zur daten- und rechtsicheren Nutzung von KI-basierten Technologien beraten und geschult werden. Hier haben sich die Anforderungen durch die europäische Verordnung zu KI (AI Act) erhöht. Entsprechend müssen Beratungsangebote aufgebaut und modellhaft Use-Cases für eine mit geltenden Regelungen konforme und zugleich pragmatische Verwendungsweise bereitgestellt werden. Hierfür ist auch zu klären, wie die Umsetzung des EU-Rechts auf nationaler Ebene sinnvoll ausgestaltet werden kann.
- Es muss Bildungsforschung gefördert werden zur Frage, wie sich die Interaktion mit KI bzw. die Einbindung von KI-Tools auf Lehr- und Lernprozesse auswirken.
- Pädagogisches Personal muss methodisch und didaktisch aus- und weitergebildet werden, um innovative Lehrmethoden, die durch neue Technologien eröffnet werden, didaktisch sinnvoll umsetzen zu können.
- Der Einsatz adaptiver Lernsysteme bzw. intelligenter tutorielle Systeme sollte Lernenden individuelle Lernpfade eröffnen, um Kompetenzen bedarfsgerecht und interessenbasiert auf- und ausbauen können.

Entwicklung von Zukunftskompetenzen

Aufgrund der bestehenden Transformationsherausforderungen gewinnen neben Fachkompetenzen auch fachübergreifende Kenntnisse und Fertigkeiten an Relevanz. Sogenannte Future Skills, unter denen Kompetenzen wie kritisches Denken, Kreativität, Problemlösefähigkeit, Innovationskompetenz etc. subsumiert werden,

müssen in den Curricula und didaktischen Konzepten aller Bildungsinstitutionen Platz bekommen und messbar gemacht werden. Um diese zu gewährleisten, müssen innovative Lehrformate, die kollaborativ, anwendungsorientiert und interdisziplinär gestaltet sind, zum Einsatz kommen und Curricula entsprechend angepasst werden. Zugleich ist es wichtig, das Bildungssystem zu einem lernenden System zu machen und einen Rahmen zu schaffen, der eine Anpassungsfähigkeit an sich wandelnde Bedingungen ermöglicht. Es muss dauerhaft möglich sein, Curricula, Lehrpläne und Prüfungsordnungen flexibel an neue gesellschaftliche Herausforderungen oder neue methodische Erkenntnisse (z. B. zum Umgang mit KI) anzupassen. Nur so wird es möglich sein, auch auf zukünftige – heute noch nicht absehbare – Transformationsprozesse zu reagieren.

Dafür müssen

- Innovationshemmnisse bei der **Neuentwicklung und Überarbeitung von Studiengängen** analysiert und Barrieren abgebaut werden werden;
- **anwendungsorientierte Ansätze** wie Problem-Based Learning ein stärkeres Gewicht bekommen – und zwar über alle Bildungsbereiche hinweg von der MINT-Bildung über die Ingenieurausbildung bis hin zur Weiterbildung;
- für die einzelnen Bildungsbereiche **Good Practices**, die erfolgreich innovative Lehrmodelle eingeführt haben, gesammelt, untersucht und **in die Breite getragen werden**;
- **Vernetzungsstrukturen geschaffen werden**, um innovationsfreudige Akteure sichtbar zu machen und Interessierte in den Austausch zu bringen und
- insbesondere Hochschulen dazu gebracht werden, mehr zu kooperieren; dazu sollte die Teilnahme an bzw. **Zusammenarbeit mit Fakultäten(tagen), Fachbereichstagen, Initiativen von 4ing oder in regionalen Verbänden** angeregt werden.
- die **gegenseitige Anerkennung von Abschlüssen vereinfacht werden**, z. B. zwischen beruflicher und akademischer Ausbil-

zung. Dazu müssen Abschlüsse systematisch mit standardisierten Kompetenzbeschreibungen hinterlegt sein und Verfahren für Anerkennungsprozesse besser ausgearbeitet werden.

Bildungswege und Übergänge flexibilisieren

Im Sinne der anzustrebenden Durchlässigkeit des Bildungssystems sollten die Bildungswege und -übergänge möglichst umfassend flexibilisiert werden. Das bedeutet

- für Schulen, dass Ansatzpunkte entwickelt werden sollten, um die Zahl der Schülerinnen und Schüler zu senken, die die Schule ohne Abschluss verlassen. Entsprechende Maßnahmen müssen bereits in der Kita und Grundschule ansetzen, denn Versäumnisse in diesen frühen Phasen lassen sich später nur mühsam ausgleichen und somit gehen Schülerinnen und Schüler auf dem Weg in eine technische Ausbildung oder ein Fachabitur verloren.
- für Hochschulen, dass sie Studienorientierungsangebote zum Studieneinstieg und Unterstützungsangebote während des Studiums im Ingenieurbereich verbessern sollten, um Studienabbrüchen vorzubeugen.

Für die Stärkung der Durchlässigkeit zwischen beruflicher Bildung und Hochschule ist ein enges Zusammenspiel der Akteure beider Bereiche sowie von Verbänden, Vereinen und der Bildungspolitik der Länder gefordert, um gesetzliche Grundlagen sowie strukturelle Rahmenbedingungen zu prüfen und bei Bedarf anzupassen. Wichtige Ziele sollten dabei sein:

- Lern- und Prüfungsleistungen systematisch mit standardisierten Kompetenzbeschreibungen zu unterlegen und in Abstimmung zwischen Hochschule und Berufsbildung Verfahren für Anerkennungsprozesse besser auszuarbeiten.
- den Zugang zu einem Studium im Ingenieurbereich zu vereinfachen, insbesondere für diejenigen, die zwar kein Abitur aber z. B. einen Meister-/Technikerabschluss haben – auch hierfür braucht es eine transparente Darstellung der eine Hochschulreife erset-

zenden Kompetenzen einerseits und ein besseres Anrechnungssystem andererseits.

- Umgekehrt sollten Anerkennungsmöglichkeiten hochschulischer Leistungen in der Berufsausbildung z. B. in Form von klarer Verkürzung der Ausbildungsdauer gestärkt werden. Dies kann Studienabbrecherinnen und -abbrechern aus dem Ingenieurbereich den Übergang in eine technische Berufsausbildung erleichtern.
- Für die Stärkung der Durchlässigkeit zwischen Beruf und Hochschule sollte im Bereich weiterbildender Studienangebote der Ausbau flexibel kombinierbarer und akkumulierbarer Zertifikate gefördert werden (auf Bachelor-Niveau als Certificates of Basic Studies und auf Master-Niveau als Diplomas of Basic Studies), die von berufstätigen Studierenden je nach Bedarf absolviert und kombiniert werden können, um lebenslanges Lernen flexibel zu gestalten.
- für die Fort- und Weiterbildung sollten Möglichkeiten verbessert und umgesetzt werden, in beruflicher Weiterbildung erworbene Kompetenzen auf Ingenieurstudiengänge anzurechnen und Microcredentials als Format für das lebenslange Lernen zu nutzen. Auf diese Weise kann im Studium oder in der anlassbezogenen Weiterbildung ein gezielter Wissensaufbau im Sinne von fachlicher Spezialisierung dokumentiert werden.

Unterstützung bei der Berufsorientierung und beim Berufseinstieg

Mit Blick auf den steigenden Fachkräftemangel im Ingenieurbereich gilt es, junge Menschen bei der Berufswahl und beim Berufseinstieg zu unterstützen. Dafür müssen

- Berufsorientierung in schulische Lehrpläne aufgenommen und dadurch bereits systematisch in die Schule integriert werden (als Querschnittsthema mit eigenem Unterrichtsmaterial),
- über Social Media oder interaktive Portale technische Berufe erlebbar gemacht werden (z. B. über veranschaulichende Videos, Interviews mit Ingenieurinnen und Ingenieuren in

ihrem Arbeitsumfeld, Spiele, in denen typische Arbeitsvorgänge simuliert werden etc.)

- junge Frauen als Role Models in der Ausbildungs-/Studieneinstiegsphase (z. B. Mentorinnen-Programme) sichtbar sein und es sollten Vernetzungs- und Austauschformate für junge Frauen gestärkt werden,
- junge Menschen mit Migrationshintergrund, deren Einmündungschancen in eine Ausbildung im Vergleich zu deutschen Schulabgängerinnen und -abgängern deutlich niedriger sind, strukturell in Ausbildungswege integriert,
- Angebote der Berufsorientierung ausgerichtet sein an Querschnittsthemen wie Nachhaltigkeit, sodass Sinnhaftigkeit und Relevanz für gesellschaftliche Problemstellungen von Ingenieurstudiengängen bzw. technischen Ausbildungen deutlich und die Interessen der sogenannten Generation Z getroffen werden und
- Übergänge von Studienabbrecherinnen und -abbrechern in eine technische Ausbildung durch spezifische Beratungs- und Informationsangebote erleichtert werden.

Bezüglich der Berufsorientierung und Stärkung von im Ingenieurbereich bisher unterrepräsentierten Zielgruppen hat der VDI bereits diverse Formate und Programme etabliert.

Für den Bereich der Weiterbildung und des lebenslangen Lernens ist es wichtig, vor dem Hintergrund der großen Vielfalt von Bildungsformaten und inhaltlichen Angeboten, Transparenz und Orientierung für Weiterbildungsinteressierte und für Unternehmen, die ihre Mitarbeitenden qualifizieren möchten, zu bieten.

- Hier werden in Zukunft KI-Empfehlungssysteme, die die Kompetenzerfassung und Bedarfsermittlung unterstützen und auf dieser Basis geeignete Bildungsangebote empfehlen, wichtig werden. Der Einsatz von entsprechenden KI-Empfehlungssystemen spe-

ziell für den Ingenieurbereich sollte erprobt und gefördert werden.

- Weiter sollte Transparenz geschaffen werden über Fördermöglichkeiten für berufliche und betriebliche Weiterqualifizierung, beispielsweise durch die Bundesanstalt für Arbeit. Gerade für KMU ist die Finanzierung oft eine Herausforderung und Finanzierungsmöglichkeiten sind unbekannt.

Bündelung von Maßnahmen in einer umfassenden Weiterbildungsstrategie

Um den Fachkräftemangel und dem hohen Transformations- und damit Qualifizierungsdruck zu begegnen, sollte auf Bundesebene eine umfassende Weiterbildungsstrategie gestartet werden, die verschiedene konkrete Fördermaßnahmen (einzelne wurden auch weiter oben schon angesprochen) bündelt. Elemente einer solchen Strategie könnten sein:

- ein umfassendes Re-Skilling-Programm für Beschäftigte im Ingenieurbereich zu Qualifizierung im Bereich hochinnovativer Technologien und KI,
- Förderprogramme für lebenslanges Lernen für unterschiedliche Zielgruppen, u. a. für ältere Beschäftigte (im Falle dieser Zielgruppe gegebenenfalls auch in Verbindung mit Konzepten für eine freiwillige Weiterarbeit über das Rentenalter hinaus),
- Initiativen zur Stärkung von Microcredentials (in Abstimmung mit Initiativen der EU) sowie zum Aufbau akademischer weiterbildender Zertifikatsangebote,
- Maßnahmen zur Verbesserung von Anrechnungsmöglichkeiten zwischen beruflicher Aus- und Weiterbildung sowie von Hochschulen,
- Maßnahmen, die die Transparenz und Orientierungsmöglichkeiten im Weiterbildungsbe-
reich verbessern.

Liste der Expertinnen und Experten

Dipl.-Ing. (FH) Andre Abrath, Geschäftsführer
BREWA wte GmbH

Friderike Birenheide, Geschäftsführerin VDI Ga-
raGe gGmbH

Dipl.-Ing. Walter Brand, Geschäftsführer HANS
BRAND S.r.l., Vorsitzender VDI INT

Prof. Dr. Frank Bünning, Dekan der Fakultät Hu-
manwissenschaften, Berufs- und Betriebspäda-
gogik, Otto-von-Guericke-Universität Magde-
burg

Prof. Dr. Ulf-Daniel Ehlers, Professur für Bil-
dungsmanagement und lebenslanges Lernen,
Duale Hochschule Baden-Württemberg

Michael Fritz, Geschäftsführer Initiative für Zu-
kunftsbildung gGmbH

Dipl.-Polit. Holger Gottesmann, Konzernausbil-
dungsleitung TÜV NORD Group

Prof. Dr. Uwe Groth, Geschäftsführer Dr. Groth
& Partner Personal- und Unternehmensbera-
tung

M.Sc. Karolin Grozinger, Young Professional,
Netzwerk der VDI Young Engineers

Dipl.-Ing. Torsten Habicht, Geschäftsführer HTG
Ingenieurbüro für Bauwesen GmbH

Prof. Dr.-Ing. Rainer Herpers, Direktor des Insti-
tute of Visual Computing, Hochschule Bonn-
Rhein-Sieg & Abteilung Informatik und Data
Science, Promotionskolleg NRW

Dipl.-Ing. (FH) Bodo Ikinge, Geschäftsführer
Bodo Ikinge Career Coaching

Prof. Dr.-Ing. Kira Kastell, Präsidentin Hoch-
schule Hamm-Lippstadt

Prof. Dr. Antonia Kesel, Leiterin B-I-C, Studien-
gangsleitung Internationaler Studiengang Bio-
nik (BA) und Bionik: Mobile Systeme (MA),
Hochschule Bremen

Dipl.-Ing. (BA) Christian Könitzer, Inhaber
CHRISTIAN KÖNITZER CONSULTING

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Müller, Geschäftsführen-
der Vizepräsident für Studium und Lehre, Lehr-
stuhlinhaber Baumechanik, Technische Univer-
sität München

RA Susanne Müller, stellvertretende Abtei-
lungsleiterin Bildung, Bundesvereinigung der
Deutschen Arbeitgeberverbände e.V.

Dr. Jochen Neese, Gründer und Geschäftsführer
PMCI Executive Consulting GmbH

Dipl.-Kfm. Andreas Oehme, Geschäftsführer
Westdeutscher Handwerkskammertag

Prof. Dr. Axel Plünnecke, Leiter Cluster Bildung,
Innovation, Migration, Institut der deutschen
Wirtschaft Köln e.V.

Ulrike Schmidt, Geschäftsführerin LizzyNet
gGmbH

Dr. Sarah Schönbrodt, Assistenzprofessorin für
Mathematikdidaktik, Universität Salzburg

M.Sc. Rica Schulz, Bosch Home Comfort Group

Prof. Dr. Hans-Gerd Servatius, Mitgründer und
Inhaber Competivation Consulting

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Spix, IBK Planungsgesell-
schaft mbH

FlorianWabnitz, Studierender, Netzwerk der
VDI Young Engineers

Prof. Dr. Tim Warszta, Leiter Westküsteninstitut
für Personalmanagement, Fachhochschule
Westküste

Prof. Dr. Michael Weyrich, Direktor Institut für
Automatisierungstechnik und Softwaresysteme,
Universität Stuttgart

Für den VDI e.V.

Dr. Bitu Fesidis, Gesamtleitung Initiative „Zu-
kunft Deutschland 2050“, VDI e.V.

Dr. Thomas Kiefer, Bereichsleiter Beruf, Bildung
und Netzwerke, VDI e.V.

Autorinnenteam

Das Impulspapier wurde durch ein Autorinnenteam aus dem Institut für Innovation und Technik (iit) der VDI VDE Innovation & Technik GmbH ausgearbeitet. Das Team umfasste die folgenden Personen:

- Dr. Kaley Lesperance
- Dr. Astrid Sänger
- Dr. Scarlet Schaffrath
- Dr. Katia Tödt

Die Aufgabe des Autorinnenteams war die Literaturrecherche, die Recherche von Best-Practice-Beispielen, die Verschriftlichung der Ergebnisse der Gespräche mit Expertinnen und Experten und die inhaltliche Abstimmung mit dem VDI e.V. für die fachliche und textliche Ausarbeitung.

Die in Abschnitt 6 formulierten Handlungsempfehlungen werden durch den VDI e.V. verantwortet.

Schrifttum

acatech, Joachim Herz Stiftung (2023) *MINT Nachwuchsbarmeter 2023* [online]. Verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/mint-nachwuchsbarmeter-2023/> (abgerufen am 24.03.2025).

acatech, Joachim Herz Stiftung (2024) *MINT Nachwuchsbarmeter 2024* [online]. Verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/mint-nachwuchsbarmeter-2024/> (abgerufen am 24.03.2025).

Anger, C., Betz, J., Geis-Thöne, W. & Plünnecke, A. (2023) *MINT-Herbstreport 2023: Mehr MINT-Lehrkräfte gewinnen, Herausforderungen der Zukunft meistern* [online]. Verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/studien/christina-anger-julia-betz-wido-geis-thoene-axel-pluennecke-mehr-mint-lehrkraefte-gewinnen-herausforderungen-der-zukunft-meistern.html> (abgerufen am 18.12.2024).

Anger, C., Betz, J. & Plünnecke, A. (2024) *MINT-Herbstreport 2024: MINT- FÖRDERUNG DER SCHLÜSSEL ZU INNOVATION UND WACHSTUM*. [online]. Verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/studien/christina-anger-julia-betz-axel-pluennecke-mint-foerderung-der-schluesel-zu-innovation-und-wachstum.html> (abgerufen am 11.03.2025).

Anger, C., Geis-Thöne, W. & Plünnecke, A. (2021) *Bildungsmonitor 2021: Bildungschancen stärken – Herausforderungen der Corona-Krise meistern, Studie im Auftrag der Initiative Neue Soziale Marktwirtschaft (INSM)*, Institut der deutschen Wirtschaft Köln [online]. Verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/studien/christina-anger-wido-geis-thoene-axel-pluennecke-bildungschancen-staerken-herausforderungen-der-corona-krise-meistern.html> (abgerufen am 24.03.2025).

Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung (2024) *Bildung in Deutschland 2024: Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zu beruflicher Bildung* [online], Bielefeld, wbv Publikation. Verfügbar unter <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.3278/9783763977451> (abgerufen am 24.03.2025).

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022) *Nationale Weiterbildungsstrategie. Fortführung und Weiterentwicklung*. [online] Ver-

fügbare unter https://www.bmas.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Aus-Weiterbildung/nws-fortfuehrung-und-weiterentwicklung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 24.03.2025).

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2024) *Weiterbildungsverhalten in Deutschland 2022: Ergebnisse des Adult Education Survey - AES-Trendbericht* [online]. Verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/DE/1/26667_AES-Trendbericht_2022.html (abgerufen am 24.03.2025).

Bundesregierung (2024) *Neue Wege zur Fachkräftegewinnung* [online], Bundesregierung. Verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/fachkraefteeinwanderungsgesetz-2182168> (abgerufen am 24.03.2025).

Chen, J., Kolmos, A. & Du, X. (2021) "Forms of implementation and challenges of PBL in engineering education: a review of literature", *European Journal of Engineering Education*, Vol. 46, No. 1, S. 90–115.

Chiu, T. K. F. & Li, Y. (2023) "How Can Emerging Technologies Impact STEM Education?", *Journal for STEM Education Research*, Vol. 6, No. 3, S. 375–384.

Destatis Statistisches Bundesamt (2021) *Kauffrau für Büromanagement 2019 meistgewählter Ausbildungsberuf bei Frauen* [online]. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemittelungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_16_p002.html#:~:text=Der%20h%C3%A4ufigste%20Ausbildungsberuf%20unter%20den%20neu%20abgeschlossenen%20Ausbildungsvertr%C3%A4gen,einem%20Anteil%20von%206%2C5%20%25%20die%20erste%20Wahl (abgerufen am 24.03.2025).

Destatis Statistisches Bundesamt (2024a) *Frauenanteil in der technischen Forschung und Entwicklung binnen zehn Jahren von 11 % auf 18 % gestiegen* [online]. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemittelungen/Zahl-der-Woche/2024/PD24_17_p002.html (abgerufen am 24.03.2025).

Destatis Statistisches Bundesamt (2024b) *Niedriger Frauenanteil in technischen Studienfächern* [online]. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Bevoelkerung-Arbeit-Soziales/BildungKultur/Studienfachrichtungen.html> (abgerufen am 24.03.2025).

Deutsche Telekom Stiftung (2024) *Was motiviert zum MINT-Lernen? Eine qualitativ-quantitative SINUS-Studie unter 10- bis 16-Jährigen*, Deutsche Telekom Stiftung [online]. Verfügbar unter <https://www.telekom-stiftung.de/sites/default/files/files/dts-sinus-studie-mint-motivation-zusammenfassung.pdf> (abgerufen am 24.03.2025).

Die Techniker (2024) *Internationale Fachkräfte: Die häufigsten Berufe und Länder* [online]. Verfügbar unter <https://www.tk.de/firmenkunden/service/fachthemen/ausland/internationale-fachkaefte-haeufigste-berufe-und-laender-2161596?tkcm=aaus> (abgerufen am 24.03.2024).

Eder, S., Brüggemann, M. & Kratzsch, J. (2017) *Kinder im Mittelpunkt: Frühe Bildung und Medien gehören zusammen: Positionspapier der GMK-Fachgruppe Kita* [online]. Verfügbar unter https://www.gmk-net.de/wp-content/t3archiv/fileadmin/pdf/gmk_medienbildung_kita_positionspapier.pdf (abgerufen am 24.03.2025).

Ehlers, U.-D. (2020) *Future Skills: Lernen der Zukunft - Hochschule der Zukunft*, Wiesbaden, Heidelberg, Springer VS.

Eickelmann, B., Casamassima, G., Drossel, K. & Fröhlich, N. (2024) *ICILS 2023 im Überblick: Zentrale Ergebnisse, Entwicklungen über ein Jahrzehnt und mögliche Entwicklungsperspektiven* [online], Münster, New York, Waxmann. Verfügbar unter <https://www.waxmann.com/index.php?elD=download&buchnr=4941> (abgerufen am 24 März 2025).

Europäische Kommission (2025) *A STEM Education Strategic Plan: Skills for competitiveness and innovation* [online]. Verfügbar unter https://education.ec.europa.eu/sites/default/files/2025-03/STEM_Education_Strategic_Plan_COM_2025_89_1_EN_0.pdf (abgerufen am 24.03.2025).

Europäisches Parlament (2022) *Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty Eurostat 2022* [online]. Verfügbar unter [\[des/STUD/2021/697184/EPRS_STU\\(2021\\)697184_EN.pdf\]\(https://www.europarl.europa.eu/RegData/etu-des/STUD/2021/697184/EPRS_STU\(2021\)697184_EN.pdf\) \(abgerufen am 25.03.2025\).](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etu-</p></div><div data-bbox=)

Eurostat (2022) *Students enrolled in tertiary education by education level, programme orientation, sex and field of education* [online]. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/educ_uoe_enrt03__custom_13164484/bookmark/table?lang=de&bookmarkId=9a84dd45-76c2-4d7e-8839-956528c65aeb (abgerufen am 24.03.2025).

Federkeil, G., Hachmeister, C.-D. & Hüscher, M. (2024) *CHECK - Studium der Ingenieurwissenschaften & IT: Wie entwickeln sich Studierendenzahlen, Neueinschreibungen und Abschlüsse?* [online]. Verfügbar unter <https://www.che.de/download/check-ingenieur/> (abgerufen am 24.03.2025).

Friedrichs-Liesenkötter, H. (2019) ‚Wo Medienbildung draufsteht, steckt nicht unbedingt Medienbildung drin‘: Eine Dokumentenanalyse von Bildungsplänen und Curricula in Ausbildung und Studium zur frühkindlichen Medienbildung und -erziehung, *medienimpulse*, Vol. 57, No. 1 [online]. Verfügbar unter <https://journals.univie.ac.at/index.php/mp/article/view/mi1318/1461> (abgerufen am 24.03.2025).

Gensch, K. & Kliegl, C. (2011) *Studienabbruch - was können Hochschulen dagegen tun? Bewertung der Maßnahmen aus der Initiative "Wege zu mehr MINT-Absolventen"*, München, Bayerisches Staatsinst. für Hochschulforschung und Hochschulplanung IHF.

Gesellschaft für Informatik e.V. (2023) *In Deutschland erhalten zu wenige Schülerinnen und Schüler Informatikunterricht* [online], Berlin. Verfügbar unter <https://gi.de/meldung/informatikmonitor2324> (abgerufen am 24.03.2025).

Gladstone, J. R. & Cimpian, A. (2021) "Which role models are effective for which students? A systematic review and four recommendations for maximizing the effectiveness of role models in STEM", *International Journal of STEM Education*, Vol. 8, No. 1, S. 59.

González-Pérez, L. I. & Ramírez-Montoya, M. S. (2022) "Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review", *Sustainability*, Vol. 14, No. 3, S. 1493.

- Graham, R. (2018) *Global state of the art in engineering education* [online]. Verfügbar unter <https://rhgraham.org/resources/Global-state-of-the-art-in-engineering-education---March-2018.pdf> (abgerufen am 08.10.2024).
- Graham, R. (2024) *International approaches to engineering education. Präsentation beim Kick-off-Workshop der Topic Force Qualifikation der VDI-Zukunftsinitiative 2050*, Düsseldorf.
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022) *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*, Deutsche Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung [online]. Verfügbar unter https://doi.org/10.34878/2022.05.dzhw_brief (abgerufen am 24.03.2025).
- Hoffmann, B. (2022) "Bewahrpädagogische Strömung der Medienpädagogik", in Sander, U., Gross, F. von & Hugger, K.-U. (Hg.) *Handbuch Medienpädagogik*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–9.
- Hübsch, T., Vogel-Adham, E., Vogt, A. & Wilhelm-Weidner, A. (2024) *Sprachgewandt in die Zukunft: Large Language Models im Dienst der beruflichen Weiterbildung. Ein Beitrag der Digitalbegleitung im Rahmen des Innovationswettbewerbs INVITE*, Berlin, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.
- Kerst, C. & Meier, D. H. (2024) *Bildung und Qualifikation als Grundlage der technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2024 1* [online]. Verfügbar unter https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Studien/2024/Stu-DIS_01_2024.pdf (abgerufen am 24.03.2025).
- Klöpping, S., Scherfer, M., Gokus, S., Dachsberger, S., Krieg, A., Wolter, A., Bruder, R., Ressel, W. & Umbach, E. (Hg.) (2017) *Studienabbruch in den Ingenieurwissenschaften. Empirische Analyse und Best Practices zum Studienerfolg*, München, Herbert Utz Verlag [online]. Verfügbar unter https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Studienabbruch_Web-1.pdf (abgerufen am 25.03.2025).
- Leijon, M., Gudmundsson, P., Staaf, P. & Christersson, C. (2021) "Challenge based learning in higher education – A systematic literature review", *Innovations in Education and Teaching International*, Vol. 59, No. 5, S. 609–618.
- Lewalter, D., Diedrich, J., Goldhammer, F., Köller, O & Reiss, K (Hg.) (2023) *PISA 2022: Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland*, Münster, New York, Waxmann.
- Lindsay, E. D., Hadgraft, R. G., Boyle, F. & Ulseth, R. (2023) "Disrupting Engineering Education", in Johri, A. (Hg.) *International Handbook of Engineering Education Research*, New York, Taylor & Francis, S. 115–133.
- Lorenz, R., Yotyodying, S., Eickelmann, B. & Endberg, M. (2021) *Schule digital – der Länderindikator 2021: Erste Ergebnisse und Analysen im Bundesländervergleich* [online]. Verfügbar unter <https://www.telekom-stiftung.de/sites/default/files/files/Laenderindikator-2021-Bericht.pdf> (abgerufen am 24.03.2025).
- Mann, L., Chang, R., Chandrasekaran, S., Codrington, A., Daniel, S., Cook, E., Crossin, E., Cosson, B., Turner, J., Mazzurco, A., Dohaney, J., O'Hanlon, T., Pickering, J., Walker, S., Maclean, F. & Smith, T. D. (2021) "From problem-based learning to practice-based education: a framework for shaping future engineers", *European Journal of Engineering Education*, Vol. 46, No. 1, S. 27–47.
- Master, A., Meltzoff, A. N., & Cheryan, S. (2021). Gender stereotypes about interests start early and cause gender disparities in computer science and engineering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(48).
- McKinsey & Company (2024) *Diversity Matters Even More* [online]. Verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2024/2024%20-%2003%20-%2006%20diversity%20matters/diversity-matters-even-more%20europe.pdf> (abgerufen am 24.03.2025).
- MINTvernetzt (2022) *Lernen im Kontext – ein wichtiger Baustein für MINT+: Was gibt es für Konzepte von "Kontextualisiertem Lernen", welche Methoden wurden von der Forschung begleitet und wo gibt es trotzdem noch Herausforderungen?* [online]. Verfügbar unter <https://www.mint-vernetzt.de/wissenschaftsbeitrag/lernen-im-kontext-ein-wichtiger-baustein-fur-mint/> (abgerufen am 24.03.2025).

Mitchell, J. E., Nyamapfene, A., Roach, K. & Tilley, E. (2021) "Faculty wide curriculum reform: the integrated engineering programme", *European Journal of Engineering Education*, Vol. 46, No. 1, S. 48–66.

Nationales MINT Forum (2021) *Attraktivität der beruflichen MINT-Bildung stärken: Empfehlungen des Nationalen MINT Forums* [online]. Verfügbar unter https://www.nationalesmintforum.de/fileadmin/medienablage/content/themen/arbeitsgruppen/12_berufliche_Bildung/Empfehlungen_Berufliche_Bildung_Final.pdf (abgerufen am 24.03.2025).

OECD (2015) *The ABC of Gender Equality in Education* [online]. Verfügbar unter https://www.oecd.org/en/publications/the-abc-of-gender-equality-in-education_9789264229945-en.html (abgerufen am 24.03.2025).

OECD (2020) *OECD Lernkompass 2030: OECD-Projekt Future of Education and Skills 2030 - Rahmenkonzept des Lernens* [online]. Verfügbar unter <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/oecd-lernkompass-2030-all> (abgerufen am 24.03.2025).

OECD (2021) *Continuing Education and Training in Germany (Getting Skills Right)* [online], Paris, OECD Publishing. Verfügbar unter https://www.oecd.org/en/publications/continuing-education-and-training-in-germany_1f552468-en.html (abgerufen am 24.03.2025).

OECD (2023) *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education* [online], Paris, OECD Publishing. Verfügbar unter https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i_53f23881-en.html (abgerufen am 24.03.2025).

Rat der Europäischen Union (2022) *Empfehlung des Rates über einen europäischen Ansatz für Microcredentials für lebenslanges Lernen und Beschäftigungsfähigkeit* [online]. Verfügbar unter <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9790-2022-INIT/de/pdf> (abgerufen am 24.03.2025).

Rentzsch, R. (2023) *Microcredentials auf Hochschulniveau: Ansätze zum Umgang mit einem bildungspolitischen Trend*, Berlin, Hochschulrektorenkonferenz.

Schwippert, K., Kasper, D., Eickelmann, B., Goldhammer, F., Köller, O., Selter, C. & Steffensky, M. (2024) *TIMSS 2023. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich*, Münster, New York, Waxmann.

Sevian, H., Dori, Y. J. & Parchmann, I. (2018) "How does STEM context-based learning work: what we know and what we still do not know", *International Journal of Science Education*, Vol. 40, No. 10, S. 1095–1107.

Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. & McKinsey & Company (2021) *Future Skills 2021* [online]. Verfügbar unter <https://www.stifterverband.org/medien/future-skills-2021> (abgerufen am 24.03.2025).

Stiftung Haus der kleinen Forscher (2017) *Wie nutzen Erzieherinnen und Erzieher digitale Geräte in Kitas?* – Eine repräsentative Telefonumfrage [online]. Verfügbar unter https://www.stiftung-kinder-forschen.de/fileadmin/Redaktion/Ansatz_und_Wirkung/Wissenschaftliche_Begleitung/Studien_und_Expertisen/S_Wie_nutzen_Erzieher_digitale_Ger%C3%A4te__2017_.pdf (abgerufen am 18.03.2025).

Stiftung Haus der kleinen Forscher (2018) *MINT-Bildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung: Positionspapier, initiiert von der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“* [online]. Verfügbar unter <https://www.stiftung-kinder-forschen.de/ueber-uns/positionen/> (abgerufen am 24.03.2025).

Stiftung Kinder forschen (2025) *Frühe MINT-Bildung stärken:*

Fünf Forderungen zur Bundestagswahl 2025 [online]. Verfügbar unter <https://www.stiftung-kinder-forschen.de/ueber-uns/positionen/> (abgerufen am 25.03.2025).

Textor, M. (2024). *Erziehungs- und Bildungspläne*. Verfügbar unter <https://www.kindergartenpaedagogik.de/fachartikel/bildung-erziehung-betreuung/erziehungs-und-bildungsplaene/> (abgerufen am 26.03.2025).

Tobor, J. (2024) *Blickpunkt – Leitlinien zum Umgang mit generativer KI*. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung.

van den Beemt, A., MacLeod, M., van der Veen, J., van de Ven, A., van Baalen, S., Klaassen, R. &

Boon, M. (2020) "Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support", *Journal of Engineering Education*, Vol. 109, No. 3, S. 508–555.

van den Broeck, L., Craps, S., Beagon, U., Naukarinen, J. & Langie, G. (2022) "Lifelong learning as an explicit part of engineering programmes: what can we do as educators?", *Towards a new future in engineering education, new scenarios that european alliances of tech universities open up*. Barcelona, 19.-22. September 2022. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya; BarcelonaTech (UPC), S. 774–781.

VDI e.V. (2025): VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: „Auswirkung generativer KI auf die Arbeit in Ingenieurberufen“, VDI-Studie 2025-04 <https://www.vdi.de/auswirkung-generativer-ki>

VDI e.V. (2024) *Deutschlands Wirtschafts- und Innovationssystem im internationalen Vergleich: Metastudie und Perspektive des VDI zur Situation im Jahr 2023*, VDI, Blaue Papiere [online]. Verfügbar unter <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783949971884> (abgerufen am 24.03.2025).

VDI e.V., Institut der Deutschen Wirtschaft e.V. (2024) *VDI-/IW-Ingenieurmonitor 2024/I: Der regionale Arbeitsmarkt in den Ingenieurberufen* [online]. Verfügbar unter <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-iw-ingenieurmonitor-1-quartal-2024> (abgerufen am 24.03.2025).

VDI e.V., Institut der Deutschen Wirtschaft e.V. (2025) *VDI-/IW-Ingenieurmonitor 2024/III: Der regionale Arbeitsmarkt in den Ingenieurberufen* [online]. Verfügbar unter

<https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-iw-ingenieurmonitor-3-quartal-2024> (abgerufen am 24.03.2025).

VDI Young Engineers (2025) Umfrage im Rahmen des Projekts „Innovation@Risk“ [online] Verfügbar unter <https://www.vdi.de/aktivitaeten/netzwerke/young-engineers/innovation-at-risk>

Vieira, E. L. (2024) "Engineering Education in Industry 5.0: Competency Development and Learning Environment Strategies - A Systematic Review", *Asean Journal of Engineering Education*, Vol. 8, No. 1, S. 10–18.

Wang, L.-H., Chen, B., Hwang, G.-J., Guan, J.-Q. & Wang, Y.-Q. (2022) "Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis", *International Journal of STEM Education*, Vol. 9, No. 1.

World Economic Forum (2025) *Future of Jobs Report 2025: Insight Report* [online]. Verfügbar unter <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/> (abgerufen am 24.03.2025)

World Economic Forum & McKinsey & Company (2025) *Europe in the Intelligent Age: From Ideas to Action* [online]. Verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/high%20tech/our%20insights/europe%20in%20the%20intelligent%20age%20from%20ideas%20to%20action/europe-in-the-intelligent-age-from-ideas-to-action.pdf> (abgerufen am 24.03.2025).

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Seit mehr als 165 Jahren gibt der VDI wichtige Impulse für den technischen Fortschritt. Mit seiner einzigartigen Community und seiner enormen Vielfalt ist er Gestalter, Wissensmultiplikator, drittgrößter technischer Regelsetzer und Vermittler zwischen Technik und Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Er motiviert Menschen, die Grenzen des Möglichen zu verschieben, setzt Standards für nachhaltige Innovationen und leistet einen wichtigen Beitrag, um Fortschritt und Wohlstand in Deutschland zu sichern. Der VDI gestaltet die Welt von morgen – als Schnittstelle zwischen Ingenieurinnen und Ingenieuren, Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. In seinem einzigartigen multidisziplinären Netzwerk mit rund 130.000 Mitgliedern bündelt er das Wissen und die Kompetenzen, die nötig sind, um den Weg in die Zukunft zu gestalten.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Zukunft Deutschland 2050
ZD2050@vdi.de
www.vdi.de

ISBN 978-3-911670-19-7 | E-ISBN 978-3-911670-20-3